

Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції

Materials of the 17th international scientific and practical conference

**СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТА ІННОВАЦІЙНІ
ТЕХНОЛОГІЇ НА ТРАНСПОРТІ**

**MODERN INFORMATION AND INNOVATION
TECHNOLOGIES IN TRANSPORT**

MINTT – 2025

Збірник матеріалів конференції

**28–30 травня 2025 року
Одеса, Україна**

**May 28–30, 2025
Odesa, Ukraine**

Організатори конференції:

- МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
- ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ
- ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
- НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
- ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
- НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КПІ»
- ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОФІЗИКИ І РАДІАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НАН УКРАЇНИ
- ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА
- НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
- НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»
- ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
- ПІВДЕННИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ І МОН УКРАЇНИ
- ГДИНСЬКИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
- КЛАЙПЕДСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ЛИТВА)
- БАТУМСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ (ГРУЗІЯ)
- ПЕКІНСЬКИЙ ЄВРАЗИЙСЬКИЙ МІЖНАРОДНИЙ ЦЕНТР ЕКОНОМІЧНОГО І КУЛЬТУРНОГО ОБМІНУ (КНР)
- КРЮІНГОВА КОМПАНІЯ «MARLOW NAVIGATION» (КІПР)

Програмний комітет:

Бідюк П. І. – д.т.н., проф. (Україна);
Блінцов В. С. – д.т.н., проф. (Україна);
Букетов А. В. – д.т.н., проф. (Україна);
Варбанець Р. А. – д.т.н., проф. (Україна);
Винокурова О. А. – д.т.н., проф. (Україна);
Рубель О.Є. – д.е.н., проф. (Україна);
Вюгар Беюкага огли Садигов – к.т.н., доц.,
(Азербайджан);
Гнатушенко В. В. – д.т.н., проф. (Україна);
Ластовська О. – к.т.н., доц. (Польща);
Куклін В. М. – д.ф.-м.н., проф. (Україна);
Литвиненко В. В. – д.т.н. (Україна);

Любіч О.О. – д.е.н., проф. (Україна);
Мальцев А. С. – д.т.н., проф. (Україна);
Мельнік І. В. – д.т.н., проф. (Україна);
Осадчий С. І. – д.т.н., проф. (Україна);
Піпченко О. Д. – д.т.н., доц. (Україна);
Прохоренко Є. М. – д.т.н. (Україна);
Проценко В. О. – д.т.н. (Україна);
Рева О. М. – д.т.н., проф. (Україна);
Савченко О. Г. – д.ф.-м.н., проф. (Україна);
Хайбин Ю. – директор ПСМЦЕКО (КНР);
Харченко В. П. – д.т.н., проф. (Україна);
Цимбал М. М. – д.т.н., проф. (Україна);
Янутенене Й. – д.т.н., проф. (Литва).

Організаційний комітет:

голова	Гусев Віктор Миколайович – ректор Херсонської державної морської академії;
заступник голови	Бень Андрій Павлович – проректор з науково-педагогічної роботи;
члени комітету:	Настасенко Валентин Олексійович – професор кафедри транспортних технологій та механічної інженерії; Носов Павло Сергійович – к.т.н., завідувач кафедри суднових комп'ютерних систем та мереж; Петровський Андрій Валерійович – вчений секретар конференції, к.т.н., начальник відділу технічної інформації; Врублевський Роман Євгенович – відповідальний секретар конференції, доцент кафедри суднових технічних систем і комплексів Радул Тетяна Олексіївна – технічний секретар конференції, фахівець II категорії відділу технічної інформації Онишко Дмитро Миколайович – технічний спеціаліст конференції, старший викладач кафедри суднових комп'ютерних систем та мереж

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

У збірнику представлено матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», яка відбулася у м. Одеса 28–30 травня 2025 р. і була присвячена актуальним питанням застосування сучасних інформаційних та інноваційних технологій у транспортній галузі.

Матеріали збірника розраховані на викладачів та студентів вищих навчальних закладів, фахівців науково-дослідних установ та підприємств.

Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2025) [Збірник матеріалів XVI Міжнародної науково-практичної конференції (28–30 травня 2025 р., м. Одеса)]. – Одеса: Херсонська державна морська академія, 2025. – 440с.

Conference organizers:

- MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
- KHERSON STATE MARITIME ACADEMY
- KHERSON NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
- ADMIRAL MAKAROV NATIONAL UNIVERSITY OF SHIPBUILDING
- NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF UKRAINE «KPI»
- INSTITUTE OF ELECTROPHYSICS AND RADIATION TECHNOLOGIES OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
- V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY
- NATIONAL AVIATION UNIVERSITY
- NATIONAL UNIVERSITY «ODESA MARITIME ACADEMY»
- ODESSA NATIONAL MARITIME UNIVERSITY
- SOUTHERN SCIENTIFIC CENTER OF NAS OF UKRAINE AND MES OF UKRAINE
- GDYNIA MARITIME UNIVERSITY (POLAND)
- KLAIPĖDA UNIVERSITY (LITHUANIA)
- BATUMI STATE MARITIME ACADEMY (GEORGIA)
- BEIJING EURASIAN INTERNATIONAL CENTRE FOR ECONOMIC AND CULTURAL EXCHANGE (PRC)
- CREWING COMPANY «MARLOW NAVIGATION» (CYPRUS)

Program Committee:

P. Bidiuk – DScTech., Professor (Ukraine);
V. Blintsov – DScTech., Professor (Ukraine);
A. Buketov – DScTech., Professor (Ukraine);
R. Varbanets – DScTech., Professor (Ukraine);
O. Vynokurova – DScTech., Professor (Ukraine);
Viuhar Beiukaha Sadyhov – Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Azerbaijan);
V. Hnatushenko – DScTech., Professor (Ukraine);
O. Rubel – DSc in Economics, Professor, (Ukraine);
O. Lastowska – Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Poland);
V. Kuklin – Dr. of Physics and Math, Professor (Ukraine);
V. Lytvynenko – DScTech., Professor (Ukraine);

O. Liubich O. O. – DSc in Economics, Professor, (Ukraine);
A. Maltsev – DScTech., Professor (Ukraine);
I. Melnik – DScTech., Professor (Ukraine);
S. Osadchyi. – DScTech., Professor (Ukraine);
O. Pipchenko – DScTech., Associate Professor (Ukraine);
E. Prokhorenko – DScTech. (Ukraine);
V. Protsenko – DScTech. (Ukraine);
O. Reva – DScTech., Professor (Ukraine);
O. Savchenko – Dr. of Physics and Math, Professor (Ukraine);
Yu. Khaibyn – Director of BEICECE(PRC);
V. Kharchenko - DScTech., Professor (Ukraine);
M. Tsymbal – DScTech., Professor (Ukraine);
Y. Yanutenene – DScTech., Professor (Lithuania).

Organizing Committee:

Head	Victor Husiev – Rector of Kherson State Maritime Academy;
Deputy Head	Andrii Ben – Vice Rector for Research;
Committee members:	Valentyn Nastasenکو – Professor of the Department of Transport Technologies and Ship Repair. Pavlo Nosov – Head of the Department of Ship Computer Systems and Networks; Andrii Petrovskyi – Scientific Secretary of the Conference, Head, Department of Technical Information; Roman Vrublevskyi – Secretary in charge of the Conference, Associate Professor of the Department of Ship Technical Systems and Complexes Tetiana Radul – Technical Secretary of the Conference, specialist of the II category of the technical information department; Dmytro Onyshko – Technical Specialist of the Conference, senior lecturer at the Department of Ship Computer Systems and Networks

The author is responsible for the accuracy of the stated facts, quotes and other information.

The collection presents the proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference «Modern Information and Innovation Technologies in Transport», which took place in Odesa on May 28–30, 2025 and was devoted to topical issues of modern information and innovation technologies in transport sector.

The materials of proceedings are designed for teachers and students of higher educational institutions, specialists of research institutions and enterprises.

Modern Information and Innovation Technologies in Transport (MINTT – 2025) [proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference, May 28–30, 2025, Odesa]. – Odesa: Kherson State Maritime Academy, 2025. – 440 p.

ПЕРЕДМОВА

Шановні колеги!

Ви тримаєте в руках збірку тез доповідей Сімнадцятої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT-2025)», метою якої є аналіз та узагальнення нових теоретичних і прикладних результатів щодо застосування сучасних інформаційних та інноваційних технологій у транспортній галузі. Конференція проходить, на базі старішого морського навчального закладу нашої держави — Херсонської державної морської академії. У зв'язку з тимчасовим переміщенням нашого навчального закладу, у цьому році конференція проходить у м. Одеса, в будівлях Одеського державного аграрного університету. В організації та роботі конференції беруть участь провідні науково-дослідні та навчальні заклади України, Польщі, Литви, Канади, Йорданії, Грузії та інших країн зарубіжжя.

Основним завданням конференції є обговорення широкого кола нових наукових і практичних результатів застосування сучасних інформаційних технологій на транспорті; обмін ідеями та пошук нових пріоритетних напрямків наукових досліджень; встановлення та розвиток нових контактів у сфері наукового співробітництва між навчальними закладами, науковими установами та підприємствами України та зарубіжжя. Одна з особливостей конференції — залучення молодих науковців до розробки найбільш актуальних напрямків наукових досліджень у транспортній галузі.

Програмою конференції передбачено проведення пленарного засідання та робота фахівців у секціях: інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень у транспортній галузі; тренажерні системи та людський фактор на транспорті; контроль, діагностика і прийняття рішень при управлінні рухомими об'єктами; безпека судноплавства; системний аналіз та математичне моделювання складних об'єктів; проблеми надійності та енергозбереження, екологічна безпека та ресурсозберігаючі технології; компетентнісний підхід в підготовці фахівців транспортної галузі, проблеми впровадження «зеленого» транспорту: джерела та накопичувачі енергії, новітні матеріали, безпека експлуатації.

Ми впевнені, що досить широка проблематика наукових праць конференції буде сприяти не тільки плідному аналізу та обговоренню вищезазначених питань, а й обміну ідеями та думками, пошуку пріоритетних напрямків наукових досліджень, встановленню нових контактів у сфері наукового співробітництва фахівців галузі, залученню молодих науковців до участі у вивченні найбільш актуальних напрямків досліджень у транспортній галузі.

У листопаді 2022 р. м. Херсон було звільнено від російських окупантів, але військова агресія росії проти України ще триває, і постійні обстріли нашого міста не вщухають. Тому, як і в минулі роки, ми вимушені обмежитися лише електронним форматом видання збірки тез. У цьому році конференція проходитиме змішаному форматі: очно у м. Одеса та одночасно у вигляді відео конференції.

Маємо сподівання, що конференція буде успішною і успадкує всі кращі риси науково-практичних конференцій MINTT минулих років.

Організатори щиро дякують усім учасникам конференції та сподіваються, що MINTT-2025 стане добрим продовженням зустрічей та спілкування, початок яких покладено на попередніх конференціях. Висловлюємо свою щирю подяку всім авторам доповідей за порозуміння та співпрацю з організаторами.

Бажаємо всім нових наукових ідей та досягнень, плідної роботи, нових відкриттів!

З повагою, Організаційний та Програмний комітети.

OREWORD

Dear colleagues!

We bring to your attention the proceedings of the 17th International Scientific and Practical Conference «Modern Information and Innovation Technologies in Transport (MINTT –2025)», which aims to analyze and summarize new theoretical and applied results in employing modern information and innovation technologies in transport. The conference is held on the basis of Kherson State Maritime Academy, the oldest maritime institution of our country. Due to the temporary relocation of our educational institution, this year's conference is being held in Odesa, on the premises of Odesa State Agrarian University. Leading research and educational institutions from Ukraine, Poland, Lithuania, Canada, Georgia, Jordan and other countries participate in the organisation and work of the conference.

The main task of the conference is to discuss a wide range of new scientific and practical results of modern information technologies application in transport; exchange ideas and search for new priority areas of research; establish and develop new contacts in scientific cooperation among educational institutions, research institutions, enterprises of Ukraine and abroad. Distinctive features of the conference include active involving of young scientists in developing the most relevant areas of research in transport.

The conference program includes a plenary session and work of experts in the following sections: intelligent decision support systems in the transport industry; simulator systems and human factor in transport; control, diagnostics and decision-making in managing moving objects; safety of navigation; system analysis and mathematical modelling of complex objects; reliability and energy saving, environmental safety and resource-saving technologies; competency-based approach in training transport industry professionals; implementing «green transport»: energy sources and storage devices, latest materials, operational safety.

We are confident that the conference papers will contribute to fruitful analysis and discussion of the above issues, exchange of ideas and opinions, search for priority areas of research, establishment of new contacts in scientific cooperation, attraction of young scientists to studying the most relevant areas of research in the transport industry.

In November 2022, Kherson has been liberated from the russian occupiers, but russia's military aggression against Ukraine still lasts, and the constant shelling of our city does not abate. Therefore, the same as last year, we are forced to publish the proceedings in an electronic format. This year's conference will be held in a blended form: in person in Odesa and via video conference.

We hope that the conference will be successful and will inherit all the best features of the past years' MINTT conferences.

Organizers are sincerely thankful to all participants of the conference and hope that MINTT–2025 will become a new platform for meetings and communication commenced at previous conferences. We express our sincere gratitude to all authors of reports for their understanding and cooperation with organizers.

We wish everyone new scientific ideas and achievements, fruitful work, new discoveries!

Respectfully, Organizing and Program Committees.

СЕКЦІЯ:
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ

SECTION:
INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS
IN THE TRANSPORT INDUSTRY

НАУКОВИЙ ПОШУК ТА ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ

Абрамов Г. С.¹, Куклін В. М.², Нагрибельний Я. А.¹, Шаповалова О.О.²

¹Херсонська державна морська академія
(Україна)

²Харківський національний економічний університет
(Україна)

Вступ. Стихійно виниклі бажання людей усвідомити світ, у якому живуть, поступово сформували вчену спільноту, що самодіяльно взяла на себе працю вивчення і тлумачення явищ і подій. Схильні до цікавості та роздумів люди, здебільшого шукали причини подій та явищ, намагаючись не залучати для їх пояснення божественність та містику. Зрозуміло, що в цих людей ці пошуки супроводжувалися бажанням отримати соціальні переваги серед свого оточення. Так з'явилася каста жерців, стурбованих контролем над суспільством, серед яких було безліч дуже освічених і талановитих людей. Розуміючи, що люди не схильні довіряти і погоджуватися з подібними, вони передали функції вищих управителів суспільством і природою різним богам, залишивши за собою право бути посередниками, і право тлумачити божественні наміри і вказівки.

У минулі століття вчені через свою роз'єднаність і складність комунікації працювали наодинці або зі своїми учнями. Часу в них для збору матеріалу, необхідного для роздумів та зіставлень було достатньо. Обговорювалися з колегами лише проміжні та остаточні результати. Така тривала робота та обговорення в основному тільки з подібними до них високоосвіченими і знаючими матеріал колегами формувало їх стійкий авторитет і пов'язувало обговорювані теми досліджень з їх персоналіями [1]. При отриманні результатів досліджень їхній пріоритет був забезпечений як публікаціями великих багатосторінкових робіт, що містять закінчені розробки та сформульовану теорію, так і поінформованістю їх колег, видатних учених і фахівців. Саме сформований у такий спосіб авторитет дозволив внести їхні імена до історії науки.

На даний час кількість людей, причетних до наукових досліджень, зросла на багато порядків. Окрім університетів з'явилися наукові установи, корпоративні лабораторії, багаторазово зросло фінансування різних наукових програм (грантів), які отримали фінансову та матеріальну підтримку влади та громадських структур. Зростання чисельності вчених та дослідників різного ґатунку створило новий ритм роботи, характер якої також змінився. Тепер всі поспішають, публікуються навіть незначні результати досліджень із двох причин, по-перше, треба встигнути це зробити раніше за інших і, по-друге, публікації потрібні для звітності про виконану роботу. Недовіра чиновників до декларованої зайнятості науковців уже сягає абсурду, бо від останніх вимагають писати звіт про характер діяльності кожні дві години робочого часу. Крім того, публікації мають бути занесені до наукометричних баз, небезкорисливо створених чиновниками, нібито для підтвердження якості наукових досліджень. Причому це підтвердження фактично ґрунтується на увазі до цих робіт наукової громадськості та цілком задовольняє чиновників, стурбованих кількісною оцінкою результатів наукової роботи. Те, що серед наукової громадськості дуже малий відсоток великих учених, думка яких справді цінна, не береться до уваги. Це подібно до того, що результати оцінюються думкою натовпу, залу для глядачів, а не думкою кваліфікованих експертів. У таких умовах важко, і навіть неможливо довго вивчати обраний предмет досліджень, вникаючи у виявлені його деталі. Це можуть собі дозволити хіба що університетські працівники, які отримують утримання за роботу зі студентами, при цьому наукова робота, незважаючи на формальні вимоги до її виконання, фактично не оплачується і є лише щось на кшталт хобі.

Метою дослідження є залучення уваги до проблеми інтеграції сучасного штучного інтелекту у науку. Обговорюється структура наукового пошуку в науковому середовищі людства (інституті науки) та проводяться порівняння та аналогії з організацією таких досліджень за участю мовних нейронних мереж та мереж Колмогорова-Арнольда на етапах збору інформації, вирішення безлічі приватних завдань. Останні необхідні для визначення кількісних і якісних залежностей між змінними і елементами поставленого завдання,

Обговорюється найскладніший етап синтезу отриманої інформації та створення закінченої теорії, узгодженої з базою даних і знань існуючої науки.

Основна частина.

Аналіз і синтез. І до цього дня існує два підходи до вивчення світу. Перший заснований на аналізі явищ і множить їх опис на дедалі дрібніші деталі та зокрема, захарашуючи ними наукові журнали. При цьому схильні до аналізу вчені часто не усвідомлюють, що, опиняючись у такій науковій тусовці, яка займається модними науковими напрямками, що змінюються час від часу, вони позбавляють себе пріоритету в розроблених за їх участю наукових теоріях та відкриттях. Бо коли окрему наукову теорію створює безліч вчених, віддати комусь пріоритет у її створенні більш ніж важко [2]. Хоча М. Азбель[3] справедливо зазначав, що «так само, як західний бізнес, не одержимий жодними ідеалістичними міркуваннями, завалює споживача чудовими товарами, так само і прагматична, можливо, навіть не дуже симпатична, західна наука з приголомшливою швидкістю вирішує завдання, сама можливість вирішення яких 10–20 років тому й не снилася нікому з нас». Другий підхід заснований на синтезі великої кількості експериментів, спостережень, опублікованих праць та приватних думок колег і, звичайно, і на результатах тривалих роздумів маститих учених.

Проблема лише в тому, чи багато знайдеться серед учених людей, здатних відірватися від гонки, що заохочується чиновниками, за досягненнями в кількості визнаних наукометричними базами статей, і здатних до того ж взятися за синтез великого обсягу даних і знань. Чиновникам ці дані полегшують, як їм здається, контроль за діяльністю науковців. Поки нечисленні оглядові роботи лише частково вирішують це завдання, дуже рідко представляючи остаточно сформульовану і закінчену теорію. Тим не менш і раніше, і тепер знаходяться вкрай нечисленні вчені, які беруться за завдання синтезу попередньо опублікованих робіт на цю тему, додаючи власні публікації з нерозроблених питань, збираючи дані експериментів та спостережень. Саме ця частина їх здатна створити закінчену і ясно сформульовану теорію явищ і процесів. Це підхід, форма вивчення світу, характерний лише для вчених з великим досвідом, широко освічених у багатьох галузях науки. Справа в тому, що така діяльність із синтезу зібраних за багато років відомостей про явище або про процес тільки тоді принесе відчутний результат, якщо в зібраному просторі знань вдається побачити раніше не помічені закономірності. Так виявляли нові закони природи генії. Вважали, що талант досягає мети, яка виявляється недоступною для звичайного дослідника, хоч вона в останнього перед очима. Геній здатний виявити мету, яку ніхто не бачить. Тобто ця мета постає перед генієм лише перед зібраною ним внаслідок тривалих та значних зусиль мозаїкою даних та уявлень.

Парадигма наукового пошуку. Збирання знань за допомогою експериментів і спостережень є основою освоєння навколишнього світу, межі усвідомлення якого розширюються саме в такий спосіб. Не менш важливим є аналіз отриманого фактичного, а також розрахункового матеріалу. Але для набуття знайденим даним, фактам і знанням завершеної форми теорій необхідний їхній синтез. У структурі наукового пошуку можна виділити кілька етапів.

Етапи формування закінченої наукової теорії. Перший етап — формулювання проблеми при зростанні обсягу інформації, що відповідає їй, і кількості учасників її досліджень. Зауважимо, що саме критична маса дослідників, стурбованих вирішенням завдань у рамках цієї проблеми, провокує у науковій спільноті інтерес та формує моду на ці заняття.

Другий етап — поява лідерів наукових груп, які намагаються узагальнити та обговорити знайдений та отриманий матеріал. Вони формулюють питання, передбачають відповіді на них, і беруть участь у розв'язанні безлічі проміжних завдань, пояснюють деталі досліджуваного явища чи процесу. Так склалося, що наукове співтовариство у своїй масі лише постачає фактичний і розрахунковий матеріал схильним до узагальнення знань деяким вченим, які формулюють свої здогади і висновки. Завжди у наукових колективах перебуває неформальний лідер, здатний як узагальнити отримані колективом дані, а й він (вона) часто формулює і визначає напрями досліджень. Виявити цих лідерів не важко, бо

вони пишуть остаточний текст наукової роботи.

Третій етап - це вихід на сцену енциклопедично освічених і досвідчених вчених, здатних не лише до узагальнення знань та їх подання у зрозумілому для непосвячених вигляді, а й до формулювання загальної парадигми створюваної теорії, яка синтезує всі основні результати досліджень цієї проблеми. Для останнього етапу основна проблема - це знайти місце створюваній теорії в загальній структурі наукових знань.

Спробуємо сформулювати алгоритм створення нової теорії, яка описує певне явище. Перш за все, ця теорія створюється не на порожньому місці, завжди існують дані експериментів і спостережень, окремі приватні розробки та розрахунки, які містять інформацію про явище, що вивчається. Цілком можливо, що частина цієї інформації проаналізована і існує низка наукових праць, що дозволяють говорити про формування певного наукового спрямування. На цьому етапі знаходиться вчений або наукова група, яка збирає всі ці дані та розробки і намагається сформулювати загальну теорію цього явища.

Розглянемо десятирічний розвиток цих етапів досліджень на прикладі вивченого процесу структуроутворення моделі конвекції тонкого шару рідини або газу Проктора-Сивашинського [4].

1. Спочатку була опублікована початкова робота, де представлена поява двох просторових структур в шарі, що нагрівається знизу [5]. Природа їх появи та зміни була не зрозуміла.

2. Потім були проведені перевірка колишніх розрахунків та структурування всіх зібраних даних [6, 7].

3. Далі формувався набір проміжних завдань, мета яких була знайти залежності та кореляції одних величин по відношенню до інших (див., наприклад, [8, 9]), де була ідентифікована функція стану, що описує зміну просторової структури (при постійній в'язкості структуроутворення, що вивчається і в умовах залежності в'язкості від температури). Крім того, було відзначено, що при зміні топології структур, з'являються домени нової фази, причому кількість граничних дефектів швидко зменшувалася, одночасно зі звуженням просторових спектрів структури, що утворюється. Тривалості структурних переходів збільшувалися, а інтервали зміни функції стану при цьому зменшувалися відповідно до теорії релаксаційних явищ. Для прискорення розрахунків та зменшення помилок було використано методи паралельних обчислень [10]. Зрештою були виявлені всі ознаки фазових переходів першого та другого роду та проведені аналітичні та графічні докази їх ідентичності загальним уявленням про фазові переходи.

4. Синтез всіх цих важливих деталей опису і остаточний вид завершеної теорії фазових переходів першого і другого роду в конвекції тонких шарів рідини або газу був представлений в монографії [11]. Де, до речі, представлено низку інших завершених теорій, які вдалося розробити і сформулювати саме на протязі вельми тривалих безперервних досліджень.

Завдання, як це впливає з прикладної математики, завжди потрібно вирішувати, переходячи до безрозмірних змінних та параметрів. Слід звернути увагу до розмірності простору параметрів (тобто їх числа), виділити у цьому просторі області, у яких розглядається процес чи явище (провести факторний аналіз). Набір проміжних (допоміжних) завдань повинен визначатися кількістю змінних, крім простору параметрів і може бути значним, що займає багато часу. Штучний інтелект подібні завдання здатний вирішити швидко, якщо знайдуться знайдені ним або представлені користувачем алгоритми їх розв'язання. Весь обсяг рішень має бути зібраний у базі даних і доступний для подальшого синтезу з формуванням закінченої теорії.

Про можливості штучного інтелекту повноцінно займатися наукою. Для підключення до наукового пошуку систем штучного інтелекту було б корисно створити умови для безперервного одержання ними нових наукових даних з експерименту та спостережень. Крім того, потрібно вирішувати проблеми їхнього доступу до постановок експериментів та спостережень. Поки що ці питання навіть не обговорюються.

Але й здобутий людством науковий матеріал настільки великий, що його освоєння дозволить знайти нові знання та підкаже нові технологічні можливості. Метою людей, які

хотіли б підключити системи штучного інтелекту до наукового пошуку, є формулювання для нього завдань і проблем.

Перший етап спільного наукового пошуку вирішення проблеми людиною та штучним інтелектом. Окрім загальної постановки завдань, слід ввести в пам'ять систем штучного інтелекту необхідний масив даних і знань. Зрозуміло, що ця діяльність має супроводжуватися інтерактивним спілкуванням при введенні нових даних та формуванні запитів, що орієнтують систему штучного інтелекту на пошук потрібної інформації.

Слід усвідомлювати, що людина має на цьому першому етапі ретельно контролювати подання всього обсягу початкової інформації у контекстні вікна (це короткочасна пам'ять) приладу. На жаль, практика показує, що ряд важливих деталей початкової постановки завдання системами штучного інтелекту можуть бути втрачені. Системи штучного інтелекту, в принципі, здатні вирішувати масштабні завдання; зараз це мовні моделі, але вони часто упускають, тобто просто не враховують частину початкової інформації. Тому, по всьому масиву початкових даних повинні бути підготовлені питання до нейронної мережі на основні теми, відповіді на які визначають для користувача ступінь освоєного мережею матеріалу початкової постановки завдання. До речі ці питання можуть бути сформульовані за допомогою тієї ж, а краще будь-якої іншої мовної моделі. Слід також передбачити запровадження отриманої мережею інформації у довгострокову пам'ять.

Другий етап взаємодії мереж і наукових дослідників найширший. На цьому етапі слід розбити всю проблему на ряд проміжних завдань, кількість яких у процесі роботи з мережею напевно зростатиме. Кожне проміжне завдання має отримати рішення, яке потрібно осмислити та зберегти. Тут корисні розвинені мовні моделі. Але зараз увага прикута до їхніх потенційних конкурентів — мереж Колмогорова-Арнольда (KAN). Ці мережі, де активація перенесена у зв'язки між нейронами. Одні нейрони тільки підсумовують результати (адитивний метод обробки даних, що надходять в нейрон), а інші нейрони, забезпечують лише мультиплікативний метод обробки даних (нові функції в рукаві: MultKAN: тобто колишній KAN з множенням вузлів) [12]. Ці мережі дозволяють під час навчання домогтися розрідження — виключення частини мережевої структури (це конвертер дерева, який перетворює KAN на деревоподібні графи) і дозволяють сподіватися на виділення функціональних залежностей у структурі рішень (наприклад, kanpiler: компілятор KAN для компіляції символьних формул в KAN) [13]. Останній варіант може дозволити привести результати роботи мереж KAN до аналітичного — символьного вигляду, що спростить взаємодію дослідників із мережею. Розробники відзначають, що існує протиріччя між науковою діяльністю та можливостями мереж: «мережі в основному побудовані на коннекціонізмі, а наука залежить від символізму» і вони необережно обіцяють домогтися можливості мереж KAN виділяти закономірності, визначати симетрії і навіть порівняти з відомими законами природи [13], що відповідає цілям третього етапу наукового пошуку, описаного нижче.

Зібравши великий матеріал, що дозволяє визначити характер взаємодії окремих змінних та оцінити вплив параметрів завдання на вигляд проміжних рішень, слід переходити до синтезу отриманих знань для формування закінченої теорії.

Третій етап наукового пошуку повинен пов'язати, синтезувати всі окремі деталі та отримані рішення низки проміжних завдань у рамках даної проблеми у закінчену і не конфліктуючу з відомими знаннями парадигму. Поки що незрозуміло, яким саме чином завдання синтезу пояснити штучному інтелекту, і як орієнтувати його на порівняння всіх отриманих на другому етапі наукового пошуку знань з відомими сформованими теоріями. Бо крім зовнішньої схожості залежностей між елементами здобутої маси знань та безліччю відомих залежностей розвинених теорій, необхідний також семантичний зв'язок між набором знань, здобутих на другому етапі наукового пошуку, з відомим науковим знанням.

Висновки. Якщо подібність між залежностями нової задачі з розвиненими теоріями можна некритично порівняти із синтаксичними аналогіями отриманої глобальної бази даних цієї нової задачі з великою глобальною базою даних усіх існуючих теорій, то семантичний зв'язок вимагатиме іншого механізму порівняння. Швидше за все, як це було раніше, універсальне правило знайти буде неможливо і кожен такий випадок доведеться

вирішувати окремо.

Можливо для реалізації третього етапу наукового пошуку, що пов'язаний з синтезом знань і порівнянням різних оформлених теоретично знань, знадобиться формування в штучного інтелекту свідомості [14, 15], що стимулює мотивацію у мереж на вирішення цих завдань.

Однак, якщо порівняння відбулося і виник резонанс результатів розв'язання нової проблеми з низкою відомих теорій, це свідчитиме про розв'язання задачі синтезу і дозволить сформулювати нову теорію, яка буде узгоджена з глобальною базою даних цивілізації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Куклін В. М., Сиренька А. В. Система пріоритетів за останні три тисячі років (наукові пріоритети і плагіат) с. 125–130. Проблеми сучасної освіти : збірник науково-методичних праць / уклад. В. Г. Пасинок, Т. О. Маркова, Р. Ф. Камишнікова. — Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021 — Вип.12. — 136 с.
2. Куклин В.М., Сиренька А.В., Абрамов Г.С. Об эволюции приоритетов. Материалы XIII Международной научно-практической конференции MINTT-2021. г.Херсон, 2021, с. 335-338
3. Азбель Марк Якович // Вкарбовані в літопис науки / уклад. О.І. Вовк, А.В. Григор'єв, С.М. Куделко; гол. ред. В. С. Бакіров. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. 376 с.
4. Chapman. J. Nonlinear Rayleigh-Benard convection between poorly conducting boundaries// J. Chapman and M. R. E.Proctor // J. Fluid Mech.. — 1980. – No. — 101, p. 759–765.
5. Structural transitions in the Proctor-Sivashinsky model / Belkin E.V.,at all. // VANT, Series Plasma electronics and new acceleration methods, 2010, No. 4 (68), pp. 296-298.
6. Gushchin I. V., at all. Pattern formation in convective media // «Journal of Kharkiv National University», physical series «Nuclei, Particles, Fields», issue 1 /57. № 1040, 2013. — P. 4–27.
- 7.Gushchin I. V., at all. Pattern Transitions in Unstable Viscous Convective Medium // arXiv preprint arXiv:1311.3884. — 2013.
8. Gushchin I.V., at all. State function in unstable convective medium. // East Eur. J. Phys. 2015. V.2 no.1. p. 32–35.
9. Gushchin I.V. Phase transitions in convection/ I.V. Gushchin , V. M. Kuklin, E. V. Poklonskiy. // East European Journal of Physics 2019. — V.6. — N4. — P. 34-40.
10. В. Гущин, В. М. Куклін, О. В. Мішин, О. В. Приймак. Модельовання фізичних процесів із використанням технології CUDA. — Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2017. — 116 с. ISBN 978-966-285-420-6.
11. Kuklin V. M. Selected chapters (theoretical physics) / V. M. Kuklin. – Kh.: V. N. Karazin KhNU, 2021. — 244 p. <http://dspace.univer.kharkov.ua/handle/123456789/16359>
12. Z. Liu, at all. KAN Kolmogorov-Arnold networks. arXiv preprint arXiv:2404.19756, 2024.
13. Z. Liu, at all. KAN 2.0:Kolmogorov-Arnold Networks Meet Science./ arXiv:2408.10205v1 [cs.LG] 19 Aug 2024.
14. Kuklin, V. On the question of the appearance of consciousness in neural networks. /The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Philosophy. Philosophical Peripeteias» (68), 2023, pp.32–38. <https://periodicals.karazin.ua/philosophy/article/view/22725>.
15. Abramov G.S., Gushchin I.V., Sirenka T.O. On the evolution of recurrent neuron systems/System Research and information technologies, K., 2024, #4, pp.77–85.

НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СУДНОПЛАВСТВІ

Бень А. П.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Стрімкий розвиток сучасних інформаційних технологій справив значний вплив на світове судноплавство в цілому. Слід зазначити, що важливим напрямом запровадження новітніх інформаційних технологій в судноплавстві стало застосування систем підтримки прийняття рішень (СППР) судноводія.

Актуальність досліджень. Питання створення та використання СППР в судноплавстві розглянуто в низці робіт вітчизняних та зарубіжних авторів, докладний аналіз напрямків досліджень яких наведено в роботі [1]. Хоча перші згадки про експертні системи в судноводінні беруть свій початок з 80-х років XX ст. [2], слід зазначити, що реальне практичне застосування СППР в судноводінні та проведення наукових досліджень в цій галузі розпочалося на початку XXI-ст. Зазначені обставини були, обумовлені, перш за все інтенсивним розвитком та впровадженням сучасних інформаційних технологій в усіх сферах діяльності людства. Широке запровадження засобів електронної навігації, та поява концепції E-Navigation [3], призвело до впровадження інтегрованих систем ходового містка [4, 5], і обумовило необхідність створення сучасних автоматизованих систем керування рухом судна. Таким чином, виникла проблема створення СППР з керування процесами розходження, маневрування та загального планування руху.

Важливими питаннями постали проблеми вибору оптимальних маршрутів суден з позицій мінімізації витрат палива та забезпечення безпеки перевезень, побудови логістичних ланцюжків транспортування товарів, складання оптимальних вантажних планів суден-контейнеровозів та керування вантажними операціями при перевезенні великовагових, негабаритних, та небезпечних вантажів, тощо. Окремим напрямком для теоретичних досліджень та практичних напрацювань стало розв'язання питань, пов'язаних з оптимізацією роботи портових терміналів та інфраструктури портів.

Великий клас задач для СППР в судноплавстві сформували також проблеми керування ризиками в галузі, а саме: страхування суден та вантажу, керування фрахтуванням, розрахунок рівня ризиків морських перевезень, агентування та бербоут-чартеру суден.

Постановка задачі. Проведений аналіз наукових досліджень низки авторів показав, що ефективне застосування СППР в судноплавстві можливе лише за умов гармонізованого розвитку багатьох складових, що забезпечують процеси створення, запровадження, розвитку та вдосконалення таких систем. Вдосконалення вищезазначених процесів, в свою чергу, потребує визначення проблемних питань, що виникають при дослідженні та практичному застосуванні СППР і шляхів їх ефективного вирішення.

Результати дослідження. За результатами проведеного дослідження [1] було визначено пріоритетні напрямки практичного застосування СППР в галузі судноплавства, серед яких слід зазначити:

- автономні судна та системи автономної навігації;
- СППР з керування рухом суден в складних навігаційних умовах та за наявності факторів ризику;
- технічна діагностика та прогнозування відмов судового обладнання;
- енергетичний менеджмент процесів експлуатації судових енергетичних установок та електрообладнання;
- керування вантажними операціями контейнеровозів та суден, що перевозять негабаритні і великовагові вантажі;
- планування ефективної роботи портової інфраструктури та портових терміналів;
- раціональне планування маршрутів руху суден та управління логістикою

морських перевезень.

На підставі ґрунтовного аналізу низки наукових робіт, докладний аналіз яких наведено у роботі [1], було побудовано узагальнену класифікацію напрямків застосування СППР в суднопластві, рис. 1., а також визначено особливості створення та застосування СППР з керування рухом суден.



Рисунок 1 — Класифікація напрямків застосування СППР в галузі суднопластва

Проведені дослідження дозволили визначити, що розглядаючи СППР з керування рухом суден, слід обов'язково враховувати наступні особливості предметної галузі [6]:

- наявність стохастичних та недермінованих факторів впливу на процеси керування рухом судна;
- наявність факторів невизначеності та неповноти вихідних даних стосовно ситуацій, що розглядаються;
- наявність часових обмежень на процеси на процеси введення, аналізу інформації та формування управлінських рішень;
- необхідність комплексного врахування зовнішніх збурень на процеси прийняття рішень, що обумовлені впливом навколишнього середовища;
- наявність фактору суб'єктивності суджень особи, що приймає рішення (ОПР), що обумовлено наявними в неї стереотипами формування управлінських рішень для певних ситуацій;
- істотний вплив на прийняття рішень психофізіологічного стану ОПР;
- обов'язкова відповідність рішень, що приймаються, вимогам чинних міжнародних нормативних документів, що регламентують діяльність в галузі суднопластва;
- у випадку застосування СППР у сфері запобігання зіткнення суден, слід брати до уваги, що процеси прийняття рішень щодо їх розходження мають розподілений і кооперативний характер за умов цілеспрямованої поведінки всіх учасників навігаційної ситуації.

Зазначені особливості предметної галузі вимагають комбінованого застосування відомих математичних методів керування у поєднанні з моделями і методами штучного інтелекту.

Висновки. Безпекова складова сучасного суднопластва може бути виведена на якісно новий рівень шляхом застосування відповідних СППР. Успішне запровадження СППР в галузі керування рухом суден вимагає обов'язкового врахування особливостей предметної галузі, перш за все особливостей обробки навігаційної інформації та процесів

взаємодії таких систем з ОПР.

Перспективним напрямом подальших наукових досліджень стане трансформація та перенесення наявних теоретичних та практичних напрацювань, що вже отримані в галузі створення СППР у судноводінні, у сферу розробки систем штучного інтелекту для керування роботою безекіпажних та автономних морських суден.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бень А.П. (2024). Системи підтримки прийняття рішень в судноводінні: сучасний стан та перспективи подальшого розвитку. Науковий вісник Херсонської державної морської академії, № 1(28). — С. 152–162.
2. Smeaton G. , Coenen F. (1990). Developing an intelligent marine navigation system. Computing & Control Engineering Journal. Vol. 1. Issue 2. P. 95–103. doi: 10.1049/cce:19900024.
3. Бень А.П., Паламарчук И.В. (2015). Принципы построения систем поддержки принятия решения судоводителя в рамках концепции e-Navigation. Науковий вісник Херсонської державної морської академії. № 2 (13). — С. 19–24.
4. Вагущенко Л. Л. (2016). Судовые навигационно-информационные системы. Одесса : НУ «ОМА», 238 с.
5. Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л. (2010). Поддержка решений по расхождению с судами: Фенікс, — 229 с.
6. Бень А.П., Мальцев А.С. (2019). Системы поддержки принятия решений по управлению движением судна // Монографія. Херсон : Видавництво ХДМА,. 244 с.

DATA ANALYSIS ON RAILWAY TRANSPORT

Voronko I.O., Panchenko A.A.

Kyiv Institute of Railway Transport

State University of Infrastructure and Technologies

(Ukraine)

Introduction. In today's fast-paced world, efficient and reliable transportation systems are vital for ensuring smooth connectivity and travel convenience. Rail transportation, in particular, remains a cornerstone of many countries' infrastructure, facilitating the movement of passengers and freight. To optimize the operation of a rail network and enhance the overall user experience, it is essential for organizations to have precise insights into transportation operations [1, 2].

Relevance of the Research. Data analytics has been supporting the ongoing transformation of the railway industry by enabling more efficient operations, accurate forecasting, and data-driven decision-making. Modern railway networks generate vast volumes of operational and technical data from sensors, GPS tracking, maintenance logs, and signaling systems. However, conventional railway management practices tend to be reactive rather than proactive, often resulting in inefficiencies and unexpected failures that increase operational costs.

With growing demands for sustainable and reliable railway transportation, infrastructure optimization, downtime reduction, and safety enhancement have become pressing challenges. Data-driven methods, including predictive maintenance, optimized scheduling, and real-time traffic monitoring, offer promising solutions. The combination of analytical techniques and large-scale data processing enables railway operators to anticipate failures, optimize resources, and improve energy efficiency.

This study is significant as it explores how data analytics can contribute to the enhancement of railway operations, focusing on operational efficiency, cost reduction, and service reliability. As the railway sector undergoes modernization, leveraging data to make informed decisions will be instrumental in achieving intelligent and sustainable railway systems.

Problem Statement. Despite technological advancements in transportation, the railway industry still encounters challenges in providing effective, cost-efficient, and safe transportation of passengers and goods. Issues such as unplanned maintenance, infrastructure degradation, congestion-related delays, and inefficient energy use lead to service disruptions and increased operational costs.

Traditional railway management approaches are not equipped to process complex and voluminous data effectively, often resulting in delayed or suboptimal decision-making. Without access to real-time analytics, railways struggle to reduce service costs, streamline schedules, or prevent equipment failures. Furthermore, there is a lack of visibility into railcar movements and infrastructure status, which hampers efficient decision-making, increases downtime, and impairs energy management.

The objective of this study is to analyze the potential of modern data analytics approaches in the railway sector. The research focuses on exploring methods for improving the operational efficiency of railway infrastructure, reducing delays, optimizing train schedules, and enhancing the monitoring of rolling stock and infrastructure conditions through data-driven insights.

Comparison of Existing Data Systems in Railways. Various systems for data collection and analysis are already being implemented in the railway sector. A comparative look at their functionality and benefits reveals key distinctions:

Siemens Railigent offers asset performance management with real-time data analytics. According to Siemens Mobility, the Railigent platform reduces lifecycle costs by up to 30% and unplanned downtimes by 30–50% through predictive maintenance and anomaly detection [3].

IBM Maximo, used by operators such as Downer Group, enables predictive asset management and real-time monitoring. It improved reliability of assets by 51% and streamlined workforce planning [4].

VR Group, the national railway operator in Finland, uses SAS Analytics to monitor train

conditions in real time. Their use of advanced analytics reduced maintenance workloads by one-third while improving punctuality [5].

Research Results. The implementation of data analytics in railway transportation enables significant improvements in efficiency, visibility, and cost control. Our comparative analysis includes both international systems (Siemens Railigent, IBM Maximo, and SAS Analytics used by VR Group) and Ukrainian implementations such as UZ process control system, system «Meson», and IP-UZ, revealing the following practical outcomes:

1. Increased Efficiency

- Siemens Railigent provides advanced asset performance management. Based on public case studies, its predictive maintenance functionality helped reduce unplanned downtimes by 30–50% and lifecycle costs by up to 30%. However, the system is tightly integrated with Siemens hardware, which may limit deployment flexibility.

- IBM Maximo enabled operators like Downer Group to improve asset reliability by 51% and enhance workforce planning. Its modular structure is an advantage, though the full deployment often requires costly customization and cloud infrastructure.

- SAS Analytics, as used by VR Group in Finland, helped reduce maintenance workloads by approximately 33% and increased schedule punctuality. Its strength lies in integrated predictive modeling, but it offers fewer tools for infrastructure diagnostics.

- UZ process control system — an in-house system used by Ukrzaliznytsia — enables real-time traffic control and train flow optimization. Based on internal assessments, its introduction reduced manual dispatching errors by approximately 25% and increased train punctuality in major hubs (Kyiv, Lviv) by 15–20%.

- System «Meson», used for monitoring locomotive performance, has shown up to 20% improvement in fuel consumption efficiency and up to 18% reduction in unscheduled locomotive repairs after implementation in selected depots.

In our own assessment, SAS Analytics is the most flexible for small-scale projects. IBM Maximo offers enterprise robustness, while Railigent is best for hardware-integrated systems. Ukrainian systems like «Meson» and UZ process control system are promising due to their contextual adaptation and lower cost of deployment. Based on traffic data from the Central Railway Directorate of UZ, integrating the «Meson» system with a SAS-style analytical module has the potential to improve operational efficiency by 22–28% on high-density routes.

2. Improved Visibility

All three platforms allow real-time condition monitoring, but differ in scope:

- IBM Maximo offers the most comprehensive dashboard system, though it lacks native AI-driven anomaly detection.

- Siemens Railigent excels in sensor integration but requires uniform sensor infrastructure.

- SAS Analytics supports multi-source data fusion and anomaly alerts but is more suitable for rolling stock than infrastructure.

- IP-UZ — a digital ecosystem being developed by Ukrzaliznytsia for centralized data collection — supports predictive analytics, GIS-based visualization, and real-time updates of train positions. Internal benchmarking indicates visibility into train health and infrastructure conditions has improved by 40% since 2021.

Integration of IP-UZ with open-source monitoring tools like Grafana and Prometheus offers a cost-effective alternative for regional monitoring, with projected visibility gains of 35–45% and a 15% reduction in response time to critical infrastructure issues.

3. Cost Control and Maintenance Optimization

Predictive maintenance capabilities across all platforms contribute to:

- 25–30% cost reduction in maintenance;
- 35–45% reduction in downtime;
- up to 75% of failures prevented, according to IIoT World [6, 7].

Ukrainian-specific evaluations show:

- System «Meson», combined with historical diagnostic data from depots in Kharkiv and Dnipro, helped prevent over 50 major breakdowns over a 12-month period — saving an estimated 3.2 million UAH in emergency repairs;
- UZ process control system, when deployed on major corridors (e.g., Kyiv–Lviv), demonstrated an average 20% reduction in maintenance costs due to optimized resource allocation and improved fault detection;

While Western systems offer high-end solutions, local systems such as «Meson» and «UZ process control system» are better adapted to Ukrainian operational constraints. We recommend a hybrid architecture that combines these domestic systems with scalable open-source analytics (e.g., Apache Kafka, TensorFlow) for maximum flexibility and cost-efficiency, potentially reducing overall maintenance expenditure by 25–35% across UZ's network.

Conclusions. This study demonstrates that the integration of big data analytics in railway transport leads to:

- enhanced operational efficiency through smart routing and scheduling;
- improved maintenance with early failure detection and timely interventions;
- lower operating costs via optimized resource allocation and minimized downtime;
- increased safety from real-time monitoring of rolling stock and infrastructure.

Furthermore, the comparison of systems such as Siemens Railigent, IBM Maximo, and SAS Analytics confirms the tangible benefits of data analytics in practice. These tools not only improve decision-making but also support the broader digital transformation of railway transportation systems.

REFERENCES

1. Analyzing Railway Traffic Trends: Data Analysis and Insights. URL: <https://medium.com/@arvindpillai920/analyzing-railway-traffic-trends-data-analysis-and-insights> (дата звернення: 10.04.2025).
2. Voronko I.O. Suchasni vyklyky ta innovatsii v analizi velykykh danykh / Materialy III Mizhnarodnii naukovo-praktychnii internet-konferentsii «Future of Work: Technological, Generational and Social Shifts», May 9–10, 2024. Dnipro, P. 39–40. [in Ukraine].
3. Siemens Mobility keeps transportation systems on track. URL: <https://www.spotfire.com/customers/siemens-mobility> (дата звернення: 10.04.2025).
4. Case Studies — Maximo Application Suite | IBM. URL: <https://www.ibm.com/products/maximo/case-studies> (дата звернення: 9.04.2025).
5. Case study: IoT and predictive maintenance keep trains rolling. URL: <https://www.itweb.co.za/article/case-study-iot-and-predictive-maintenance-keep-trains-rolling/RWnpNgq2b1bqVrGd> (дата звернення: 9.04.2025).
6. The railway predictive maintenance and the enabling role of the Internet of Things. URL: <https://www.iiot-world.com/predictive-analytics/predictive-maintenance/the-railway-predictive-maintenance-and-the-enabling-role-of-the-internet-of-things/> (дата звернення: 10.04.2025).
7. Voronko, I. The security of IoT systems in railway transport / Transport Systems and Technologies, (43), 2024. P. 90–99. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2024-43-7> (дата звернення: 10.04.2025).

ПЕРЕНАЛАШТУВАННЯ НАДЛИШКОВОЇ СТРУКТУРИ ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ СУДНА БЕЗ ЗБУРЕНЬ

Зінченко С. М., Товстокорий О. М.
Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. Надлишковість керування означає, що кількість незалежних керувань перевищує кількість ступенів свободи, які підлягають керуванню [1, 2]. Для більшості сучасних суден кількість ступенів свободи, що підлягає керуванню, дорівнює трьом (поздовжній рух, боковий рух та кутовий рух у каналі ризику). Кількість незалежних керувань для різних суден різна [3, 4]. Традиційно, надлишкові структури використовувалися для підвищення надійності [5–7]. У роботах авторів [8–10] показано, що надлишкові структури можна також використовувати і для підвищення ефективності системи керування (зменшення витрат палива, збільшення керуючих сил і моментів, зменшення часу на маневрування, тощо). Керування надлишковими структурами може бути реалізовано в автоматизованих або автоматичних системах керування рухом суден. Вирішення інших задач автоматизації процесів керування рухом суден можна знайти в роботах [11–18] авторів, з них: керування рухом судна в умовах зовнішніх впливів [11], оптимальне керування рухом судна з граничними умовами [12], автоматичне розходження з багатьма маневруючими цілями [13, 14], використання нейромережових моделей судна для вирішення задач керування та оцінювання маневрових можливостей [15, 16], використання інформаційних систем моделювання для розробки і тестування систем керування [17], скорочення часу інтегрування математичної моделі в бортовому обчислювачі [18], тощо.

Актуальність дослідження. Різним цільовим функціям, що оптимізують показники ефективності (витрати палива, керуючі сили та моменти, час на виконання операцій, тощо), відповідають різні налаштування структури. При зміні цільової функції відбувається переналаштування структури, при якому виникають збурюючі сили та моменти [19]. У деяких випадках це неприпустимо, наприклад, під час проведення операцій динамічного позиціонування. Тому, розробка моделей і методів переналаштування надлишкової структури виконавчих пристроїв судна без збурюючих сил і моментів являється актуальною науково – технічною задачею.

Постановка задачі. Для надлишкової структури керування виконавчими пристроями судна

$$\begin{cases} \mathbf{P}(t) = \mathbf{S}(\mathbf{X}(t)) \\ \frac{d\mathbf{X}(t)}{dt} = \mathbf{U}(t) \end{cases} \quad (1)$$

знайти такі керування $\mathbf{U}(t)$, які переводять структуру (1) із початкового стану $\mathbf{X}(0)$, що визначається поточною цільовою функцією, у кінцевий стан $\mathbf{X}(T)$, що визначається наступною цільовою функцією, без збурень $\mathbf{P}(t) \rightarrow \min$.

Результати дослідження. Вирішення задачі (1) розглянемо на прикладі надлишкової структури офшорного судна з двома кормовими азиподами і носовим підрулюючим пристроєм, рис.1.

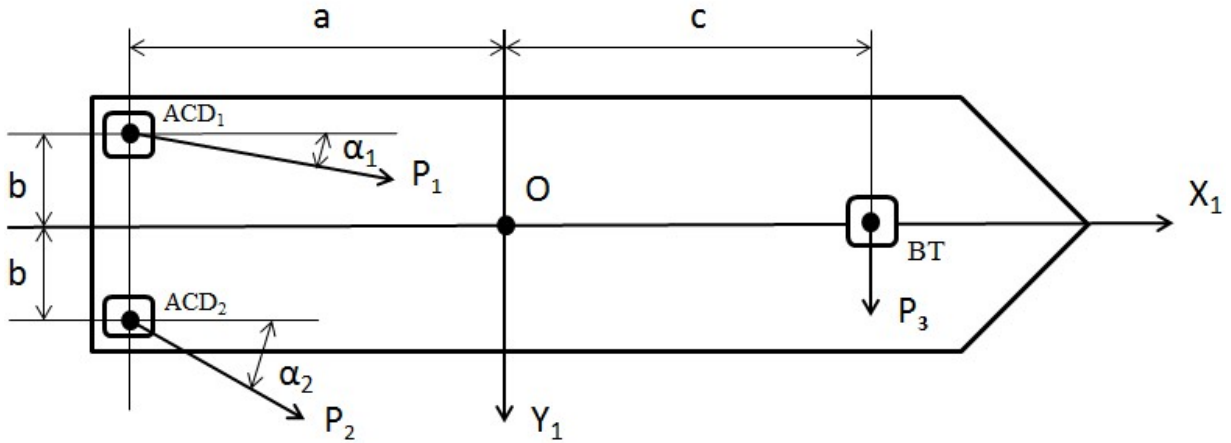


Рисунок 1 — Надлишкова структура з двома кормовими азіподами і носовим підрулюючим пристроєм

Математична модель наведеної структури має вигляд

$$\begin{cases} P_x = P_1 \cos \alpha_1 + P_2 \cos \alpha_2 \\ P_y = P_1 \sin \alpha_1 + P_2 \sin \alpha_2 + P_3 \\ M_z = P_1 b \cos \alpha_1 - P_2 b \cos \alpha_2 - P_1 a \sin \alpha_1 - P_2 a \sin \alpha_2 + P_3 c \end{cases}, \quad (2)$$

де стан структури (2) визначається вектором стану $\mathbf{X} = (P_1, \alpha_1, P_2, \alpha_2, P_3)$.

Структура (2) створює керування у трьох каналах (поздовжнього, бокового та кутового руху) і має п'ять керувань $P_1, \alpha_1, P_2, \alpha_2, P_3$, тобто надлишковість керування становить $RC = 5 - 3 = 2$. Надлишковість керування можна використовувати для оптимізації процесів керування. Наприклад, цільова функція

$$\begin{cases} Q_1 = P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 \rightarrow \min \\ P_1 \cos \alpha_1 + P_2 \cos \alpha_2 - P_x^* = 0 \\ P_1 \sin \alpha_1 + P_2 \sin \alpha_2 + P_3 - P_y^* = 0 \\ P_1 b \cos \alpha_1 - P_2 b \cos \alpha_2 - P_1 a \sin \alpha_1 - P_2 a \sin \alpha_2 + P_3 c - M_z^* = 0 \end{cases} \quad (3)$$

мінімізує витрати палива при забезпеченні необхідних керувань P_x^*, P_y^*, M_z^* . Можна використовувати також інші цільові функції. Оптимізація цільової функції (3), або інших цільових функцій дозволяє знайти оптимальне значення вектору стану структури, що відповідає даній цільовій функції. Різним цільовим функціям відповідають різні оптимальні значення вектору стану. Перехід на іншу цільову функцію супроводжується зміною вектору стану структури та створенням збурюючих сил і моментів при переналаштуванні.

Визначимо траєкторію переходу вектору стану із початкового положення у кінцеве у вигляді прямої лінії $\frac{\mathbf{X}(t) - \mathbf{X}(0)}{\mathbf{X}(T) - \mathbf{X}(0)} = \frac{t - t_1}{t_2 - t_1}$, звідки

$$\mathbf{X}(n) = \mathbf{X}(n-1) + \mathbf{k}\Delta t - \mathbf{k}t_1, \quad (4)$$

$$\text{де } \mathbf{k} = \frac{\mathbf{X}(T) - \mathbf{X}(0)}{t_2 - t_1}.$$

Траєкторія (4) використовується як опорна для попадання у кінцевий вектор стану структури. Робоча траєкторія, на якій мінімізуються збурення від переналаштування, визначається шляхом вирішення оптимізаційної задачі.

$$\begin{cases} Q = (P_1 - P_1(t))^2 + (\alpha_1 - \alpha_1(t))^2 + (P_2 - P_2(t))^2 + (\alpha_2 - \alpha_2(t))^2 + (P_3 - P_3(t))^2 \rightarrow \min \\ P_1 \cos \alpha_1 + P_2 \cos \alpha_2 = 0 \\ P_1 \sin \alpha_1 + P_2 \sin \alpha_2 + P_3 = 0 \\ P_1 b \cos \alpha_1 - P_2 b \cos \alpha_2 - P_1 a \sin \alpha_1 - P_2 a \sin \alpha_2 + P_3 c = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Керування структурою, що забезпечують переналаштування без збурень, визначаються другим рівнянням системи (1) у дискретному вигляді

$$\mathbf{U}(n) = \frac{\mathbf{X}(n) - \mathbf{X}(n-1)}{\Delta t}, n = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

Висновки. Розроблено метод переналаштування надлишкової структури виконавчих пристроїв судна на іншу цільову функцію без збурень, який полягає у: вимірюванні параметрів вектору стану надлишкової структури для поточної цільової функції; розрахунку параметрів вектору стану для наступної цільової функції; визначення опорної траєкторії переведення вектору стану структури із поточного у наступне положення у вигляді прямої лінії; розрахунку робочої траєкторії переведення вектору стану структури із поточного положення у наступне положення, на якій мінімізуються квадрати відхилень від опорної траєкторії і забезпечуються нульові збурюючі сили та моменти; розрахунку керувань надлишковою структурою, які забезпечують рух вектору стану структури по робочій траєкторії. Отримані результати відрізняються від відомих рішень тим, що дозволяють переналаштовувати надлишкову структуру виконавчих пристроїв судна на іншу цільову функцію без збурюючих сил та моментів. Це дозволяє проводити оптимальне налаштування структури для виконання наступної функціональної задачі на фоні вирішення поточної задачі.

Теоретичне значення отриманих результатів полягає у розробці методу переналаштування надлишкових структур виконавчих пристроїв суден без збурюючих сил і моментів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у перевірці працездатності розробленого методу математичним моделюванням у середовищі MATLAB, можливості його використання при розробці автоматизованих та автоматичних систем керування рухом суден.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зинченко С. Н., Носов П. С., Маменко П. П., Грошева О. А., Матейчук В. Н. Избыточность по управлению как количественная мера маневренности судна // Матеріали XI МНПК «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2019)», 28–30 травня 2019 р., Херсон с. 97–99.
2. Zinchenko S. M., Nosov P. S., Popovych I. S. Control redundancy as a quantitative measure of maneuverability, Науковий вісник ХДМА. - № 3(21), 2021. — с. 23–35.
3. С. Н. Зинченко, В. Г. Ляшенко, О. А. Грошева. Оптимальное управление избыточными структурами аzipодов // Матеріали V МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 13–15 вересня 2018р., с.78–81
4. Zinchenko S., Kobets V., Tovstokoryi O., Nosov P., Popovych I. Intelligent System Control of the Vessel Executive Devices Redundant Structure. in: proceedings of the 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS). Vol. III: Intelligent Systems Workshop, Kharkiv, Ukraine, April 20–21, 2023, Vol-3403, pp. 582–594. <https://ceur-ws.org/Vol-3403/>.
5. Rigatos G., A nonlinear optimal control approach for underactuated offshore cranes, Ships and Offshore Structures, 2022. doi: 10.1080/17445302.2022.2150420.
6. Bao X., Jiang C., Time-Optimal Control Algorithm of Aircraft Maneuver, in book: Advances in Guidance, Navigation and Control, Proceedings of 2022 International Conference on

- Guidance, Navigation and Control, 2023. doi: 10.1007/978-981-19-6613-2_454.
7. Zinchenko S., Kobets V., Tovstokoryi O., Nosov P., Popovych I., Intelligent System Control of the Vessel Executive Devices Redundant Structure, CEUR Workshop Proceedings, Vol.3403, pp. 582-594, 2023. <https://ceur-ws.org/Vol-3403/paper44.pdf>.
 8. Zinchenko S. Study of a minimally excessive complanary control structure with two azimuth control devices, Materials of the VII International Scientific and Practical Conference «Life Safety in Transport and Production: Education, Science, Practice», Kherson, September 9–12, 2020, p. 319–325.
 9. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Nosov P., Popovych I., Kobets V., Abramov G. Mathematical support of the vessel information and risk control systems, CEUR Workshop Proceedings, 2805, P. 335–354, 2020. <http://ceur-ws.org/Vol-2805/paper25.pdf>
 10. Cherniavskiy V. V., Zinchenko S. M., Nosov P. S. The use of excessive actuators structures in automatic vessel movement control systems, Materials of the III International Maritime Scientific Conference of the ship power plants and technical operation department of odessa national maritime university (MPP&O-2021), Odessa, April 29–30, 2021, p. 466–472. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36574.15681>
 11. Zinchenko S. M., Mamenko P. P., Grosheva O. O., Mateichuk V. M. Automatic control of the vessel's movement under external conditions // Науковий вісник ХДМА, №2(21), 2019. – с. 10-15. DOI: 10.33815/2313-4763.2019.2.21.010-015. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/480/416>
 12. Зинченко С. Н., Ляшенко В. Г., Грошева О. А. Синтез оптимального управления судном с граничными условиями // Науковий вісник ХДМА, №1(18), 2018. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/502/440>.
 13. Зинченко С. Н., Ляшенко В. Г., Шалаева А. А. Расчет и реализация маневра расхождения с судами целями в бортовой ЦВМ // Матеріали IV МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві освіта, наука, практика», Херсон, 14–16 вересня 2017 р., с. 230–235.
 14. Зинченко С. Н., Ляшенко В. Г. Расхождение с маневрирующими целями // Науковий вісник ХДМА, №2 (17). — с. 36–43, 2017. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/555/499>.
 15. Зинченко С. Н., Ляшенко В. Г. Использование нейросетевой модели судна для решения задач управления // Науковий вісник ХДМА, №2 (17). — с. 231–237, 2017. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/587/524>
 16. С. Н. Зинченко, В. Г. Ляшенко, А. А. Шалаева. Оценка маневренных возможностей судна с помощью нейросетевой модели, синтезируемой в процессе его штатной эксплуатации // Матеріали IV МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті а виробництві освіта, наука, практика», Херсон, 14–16 вересня 2017 р., с.236–240.
 17. Зинченко С. М., Матейчук В. М., Ляшенко В. Г. Використання інформаційних систем моделювання для розробки та тестування систем автоматичного керування рухом судна // Матеріали V МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті а виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 13–15 вересня 2018 р., с.27–29.
 18. Зинченко С. Н., Маменко П. П., Грошева О. А. Сокращение времени численного интегрирования математической модели судна в бортовом вычислителе // Науковий вісник ХДМА, №1(18), 2018. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/526/469>.
 19. Zinchenko S. M., Nosov P. S., Mamenko P. P., Moiseenko V. S., Mateichuk V. M., Kyrychenko K. V., Polishchuk V. O. Use of zero movements for adjustment of redundancy structures // Матеріали 1 міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI–2021), Херсон: ХДМА, 03–04 листопада 2021.

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND COMPUTER VISION TO IMPROVE NAVIGATION SAFETY. ORCA AI NAVIGATION SYSTEM

Маменко Р.Р.

*Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)*

Abstract. This article discusses the application of artificial intelligence (AI), namely the ORCA AI system in marine navigation, to improve the level of navigation safety and reduce the influence of the human factor. In recent years, increased attention has been paid to the research and implementation of several ways of using artificial intelligence in ship navigation, including autonomous navigation, pattern recognition, weather forecasting, fuel consumption optimization and monitoring of hazardous gas emissions. AI can significantly improve the level of navigation safety and safe operation of ships through various methodologies and algorithms. The introduction of artificial intelligence in ship navigation has the potential to improve shipping safety, efficiency and productivity of maritime transport, while reducing exhaust emissions and the cost of transporting goods by sea.

Introduction. One of the important sectors that is of great importance to the world economy is maritime and river transport. According to the International Maritime Organization (IMO) website and the latest statistics from ICS | Shipping and World Trade, 90% of world trade is transported by waterways. Therefore, the contribution of maritime and river transport is estimated at billions of euros/dollars per year, and millions of people are employed in activities related to this sector. Due to the increasing number of transportation vessels, marine traffic has become more congested. According to the statistics, 89% to 95% of maritime accidents are related to human factors [1].

Today, to increase the efficiency and safety of maritime transport, devices that combine the functionality of individual systems using artificial intelligence (AI) are increasingly being used. Artificial intelligence (AI) is poised to revolutionize the shipping sector, promising increased efficiency, safety, and environmental sustainability, however, as with any transformative technology, the integration of ai into shipping presents a complex array of benefits and challenges. Where can AI be utilized in the shipping industry?: autonomous vessels, route optimisation, predictive maintenance, cargo management, supply chain and logistics optimisation, safety and security, environmental monitoring, port operations, crew training and assistance, communication and navigation systems, customs and compliance and market analysis. Given such a wide range of applications for artificial intelligence (AI) in the maritime industry, it is important to recognize that artificial intelligence (AI) sees its own role in shipping as extremely transformative, offering solutions that range from operational efficiency and safety enhancement to environmental conservation and strategic decision-making. Several shipping companies (MSC, CMA CGM, MAERSK, NYK, Seaspn) have implemented AI, either on a trial basis or as a more permanent feature to improve safety and efficiency [2–3].

Thus, almost all vessels of the MSC shipping company are equipped with ORKA AI equipment, which ensures increased navigation safety in intensive navigation areas and in conditions of limited visibility, providing the navigators with additional information about the navigation situation around the vessel. The information received helps the watch officer in making decisions regarding the safe divergence of vessels and avoiding collisions [4–5].

Idea and Product. Orca AI develops advanced AI-based navigation systems that enhance maritime safety and operational efficiency. Their technology, known as SeaPod, assists watchkeepers on vessels by detecting and tracking objects in all conditions, thereby reducing the risk of accidents at sea. This system has been proven to reduce close encounters and crossing events significantly, demonstrating its efficacy over millions of nautical miles. Orca AI's products are designed to meet the complex demands of modern maritime operations, ensuring safer and more efficient voyages [6].

Relevance of the research. Recently, the development of ship design and advanced technological systems using AI has been significant, and the technical equipment of ships is constantly being improved. According to the European Maritime Safety Agency (EMSA) and their

2023 report (Maritime & Agency, 2023), 2,510 marine casualties and incidents were recorded in 2022, which means a decrease of 182 marine casualties and incidents compared to 2021 and 84 marine casualties and incidents compared to 2020. The total number of maritime accidents and incidents registered between 2014 and 2022 was 23,814, compared to an annual average of 2,646. The number of casualties and incidents is 5.1% lower than the annual average and less than the average of 2,670 cases before the pandemic, which is the result not only of the technological development of shipbuilding, but also of the quality of theoretical and practical training of the crew [7-8].

However, safety in the maritime industry still remains a problem in some cases. The main reasons for the stable number of incidents are considered to be the human factor, the density of traffic on some sea routes and weather conditions. Conducting an analysis of the reduction of maritime accidents such as collisions and groundings, controlling the level of hazardous emissions into the atmosphere from ships, increasing the level of training of ship crews with the implementation of machine learning and computer vision technologies specially developed for the maritime industry, AI systems allow the shipmaster to make decisions based on the received data in congested waters and in conditions of low visibility, which contributes to increasing the safety of navigation [9–11].

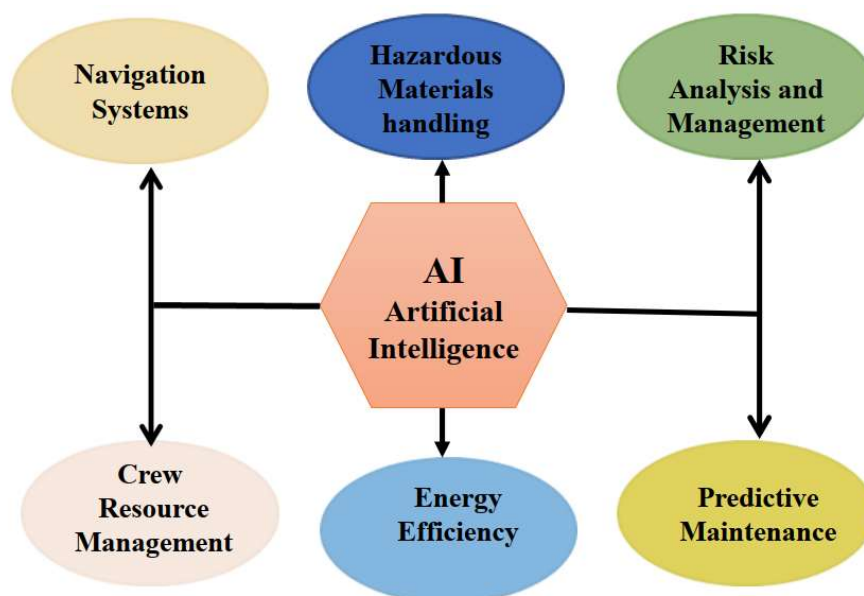


Figure 1 — Potencial AI implementation in maritime transport

Purpose of the study. The potential of using artificial intelligence to improve shipping safety extends to the use of AI algorithms to predict and prevent ship collisions, thanks to data processing (GPS, IAIS, RADAR, ECDIS), in real time on the coordinates, course and speed of ships moving nearby. weather. The AI algorithm has the ability to predict weather conditions, and offer the navigator options for route optimization and fuel efficiency, analyzing weather forecast data, ship movement conditions and fuel consumption coefficients. The navigation system "ORCA AI" is one of the advanced technologies aimed at improving shipping safety through the use of artificial intelligence (AI) and big data analysis (Big Data). ORCA AI was created to help ship crews reduce the risks of accidents, errors due to the human factor and to solve tasks in difficult navigation conditions, such as ship movement in the dark, in conditions of limited visibility or maneuvering in conditions of a large concentration of ships [12–13].

Research methodology. Pattern recognition — using sensors and cameras, artificial intelligence algorithms can recognize patterns and objects around a vessel, such as other vessels, navigational marks, icebergs, or floating objects, even at night and in conditions of limited visibility, and this information can be used to improve navigation safety and efficiency [14–15].

Practical results. The system has already demonstrated its effectiveness when used on commercial vessels of such leading shipping companies as MSC, CMA CGM, MAERSK, etc.

According to the developers of ORCA AI, the technology has helped reduce the number of accidents due to the human factor and improved navigation accuracy, which is confirmed by the annual reports of EMSA. Shipowners who have implemented this system notice an increase in the safety of their fleets, stating that the number of accidents related to collisions and groundings has decreased by 18%.

Conclusion. ORCA AI is a major breakthrough in the maritime industry. It provides an effective and reliable use of artificial intelligence to reduce the risk of accidents, simplify the navigation process and increase the overall safety of shipping. It shows how technology can benefit humanity, especially in difficult sea conditions, but also highlights the importance of maintaining human control and responsibility. «Designed Orca AI to minimise the potential for human error in tasks that require the crew to rely on their judgment. It doesn't eliminate the need for experienced crews, it reduces the odds that they will make a mistake».

REFERENCES

1. Allianz Commercial's Safety and Shipping Review 2024.
<https://commercial.allianz.com/news-and-insights/reports/shipping-safety.html>
2. Tapping AI for autonomous navigation. (2024). Available online:
<https://maritimefairtrade.org/tapping-ai-for-autonomous-navigation/>.
3. AI in Shipping: Artificial Intelligence in the Maritime Industry. Available online:
<https://www.ship-technology.com/buyers-guide/ai-companies-shipping-industry/>
4. Wingrove M. (2024) «Connectivity propels maritime into the AI era». Available:
<https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/connectivity-propels-maritime-into-the-ai-era-80743>
5. Mamenko, P. (2023). Minimization of ships' passing path in the field of risks. Technology Audit and Production Reserves, 2 (2 (70)), 21–25. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.276419>
6. Tyler, N. (2019). Bringing AI to Navigation. New Electronics 52(14):20-21. DOI: 10.12968/S0047-9624(22)61576-1
7. EMSA. (2023). Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2023. European Maritime Safety Agency, 1–135. Retrieved from <http://emsa.europa.eu/emsa-documents/latest/item/3156-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2023.html>
8. AGCS-Safety-Shipping-Review-2023.
<https://commercial.allianz.com/content/dam/onemarketing/commercial/commercial/reports/AGCS-Safety-Shipping-Review-2023.pdf>
9. Yang, B., Zhao, Z., & Ma, J. (2018). Marine accidents analysis based on data mining using K-medoids clustering and improved A priori algorithm. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 189(4). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/189/4/042006>
10. Ponomaryova, V., Nosov, P., Ben, A., Popovych, I., Prokopchuk, Y., Mamenko, P., Dudchenko, S., Appazov, E., Sokol, I. (2024). Devising an approach for the automated restoration of shipmaster's navigational qualification parameters under risk conditions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (3 (127)), 6–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.296955>
11. S. Liu, Y. Ma, J. Wang, and T. Chen, "Real-Time Data Analysis in AI-Based Maritime Navigation Systems". IEEE Access, vol. 11, pp. 55874–55883, 2023.
12. Minh T. Nguyen, Linh H. Truong, Trang T.H. Le.(2021). Video Surveillance Processing Algorithms utilizing Artificial Intelligent (AI) for Unmanned Autonomous Vehicles (UAVs). MethodsX, Volume 8, 2021, 101472. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101472/>
13. AI-Based Maritime Situational Awareness Enhancing Safety, Security and Efficiency in the Maritime Domain. <https://sailorspeaks.com/2024/07/04/ai-based-maritime-situational-awareness-enhancing-safety-security-and-efficiency-in-the-maritime-domain/>.
14. Neil Tyler. Bringing AI to Navigation. (2019). New Electronics 52(14):20-21. DOI: [10.12968/S0047-9624\(22\)61576-1](https://doi.org/10.12968/S0047-9624(22)61576-1)
15. Artificial intelligence steers Orca AI's autonomous maritime odyssey.
<https://rina.org.uk/publications/the-naval-architect/artificial-intelligence-steers-orca-ais-autonomous-maritime-odyssey/>

ОЦІНКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Передерій В.І.¹, Борчик Є.Ю.²

¹ *Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, д.т.н., професор кафедри комп'ютерних технологій і інформаційної безпеки (Україна)*

² *Миколаївський національний аграрний університет, к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій (Україна)*

Вступ. Дослідження статистичних даних [1] показали, що основною причиною аварій при управлінні засобами водного транспорту є людський фактор, поломки, пошкодження, відмова двигунів і суднового устаткування, а також прийняття неправильного рішення по управлінню судном.

Також зовнішні чинники впливають на системи автоматики судна, енергетичні установки, автоматизацію судна, що проявляється в погіршенні параметрів технічних установок за якісними показниками та експлуатаційними характеристиками судна в цілому.

Тому для підвищення рівня безпеки руху суден відбуваються зміни за рахунок введення нових підходів і технологій управління засобами водного транспорту.

На сьогодні зусилля міжнародних морських організацій (ІМО) стали потужним стимулом до дослідження які стосуються питань присвячених ролі «людського фактору» в судноплаванні та його впливу на безпеку операцій на морі. В наукових дослідженнях [2–4] також наводяться обставини і фактори, що створюють умови і передумови для виникнення помилок в рішеннях і діях судноводіїв, які можуть привести до небезпечної ситуації або аварії.

Але все це не дає можливість описати з максимальною точністю взаємозалежність факторів впливу, для яких немає відомих точних закономірностей, на процес релевантного прийняття рішень ОПР в нечітких умовах та ризику при управлінні засобами водного транспорту.

По результатам аналізу літературних джерел та нормативних матеріалів, можна прийти до висновку, що для своєчасного реагування на зміни в системі управління судном є необхідність оцінки та контролю як технічного стану засобу водного транспорту так і параметрів людського фактору у реальному часі [5]. Таким чином, система управління повинна мати властивість переналаштування параметрів і здійснювати «пристосування» до зміни внутрішніх і зовнішніх умов роботи, що забезпечить функціональну стійкість засобу водного транспорту.

Властивість функціональної стійкості, в цілому, розглядається, як можливість складної технічної системи, успішно завершити поставлене завдання при регламентованому числі змін в стані самої системи, тобто зберегти її працездатність після прояву припустимого числа відмов і зовнішніх дестабілізуючих впливів, до яких можна віднести наприклад і причини аварій на засобах водного транспорту.

Оскільки теорія функціональної стійкості перебуває в стадії розвитку тому формування та оцінка основних показників є важливим напрямком наукових досліджень. Отже, можна зробити висновок, що ідея забезпечення властивості функціональної стійкості засобу водного транспорту є актуальною, оскільки існуюча теорія не розглядає такий вид взаємовпливу дестабілізуючих чинників.

На основі проведеного аналізу запропоновано інформаційно-логічну модель оцінки функціональної стійкості засобу водного транспорту в режимі реального часу (рис.1) на якій наведені основні фактори та показники взаємовпливу.

Фактори гідрометеорологічного впливу $S_{ext} = f_1(IV, NI, S_{sea}, CC, Svl)$: IV — низька

видимість; NI — інтенсивність шуму; Ssea — стан моря; CC — кліматичні умови; Svl — вітрове навантаження.

Показники впливу людського фактору на процес прийняття релевантних рішень пов'язаних з гідрометеорологічним впливом $Sw = f_1(EA, SE, F, ET)$: ET — емоційна напруженість; F — фізична та емоційна втома; SE — стрес через емоційну напруженість; EA — емоційне збудження.

Фактори пов'язані з поточним емоційно-когнітивним станом ОПР

$Sp = f_2(PR, PI, RT, DT, C)$: PR — продуктивність; PI — сприйняття інформації; RT — час реакції; DT — час на прийняття рішень; C — зосередженість.

Основні фактори інформаційної безпеки $IStl = f_1(DC, AD, DP, DI)$: DC — узгодженість даних; AD — доступність даних; DP — конфіденційність даних, DI — цілісність даних.

Технічний стан основних суднових установок $Tshipins = f_1(Csnav, Csau, Cpov)$: Csnav — стан суднових навігаційних приладів; Csau — стан системи автоматики судна; Cpov — стан енергетичних установок; Cstat — стан суднового зв'язку.

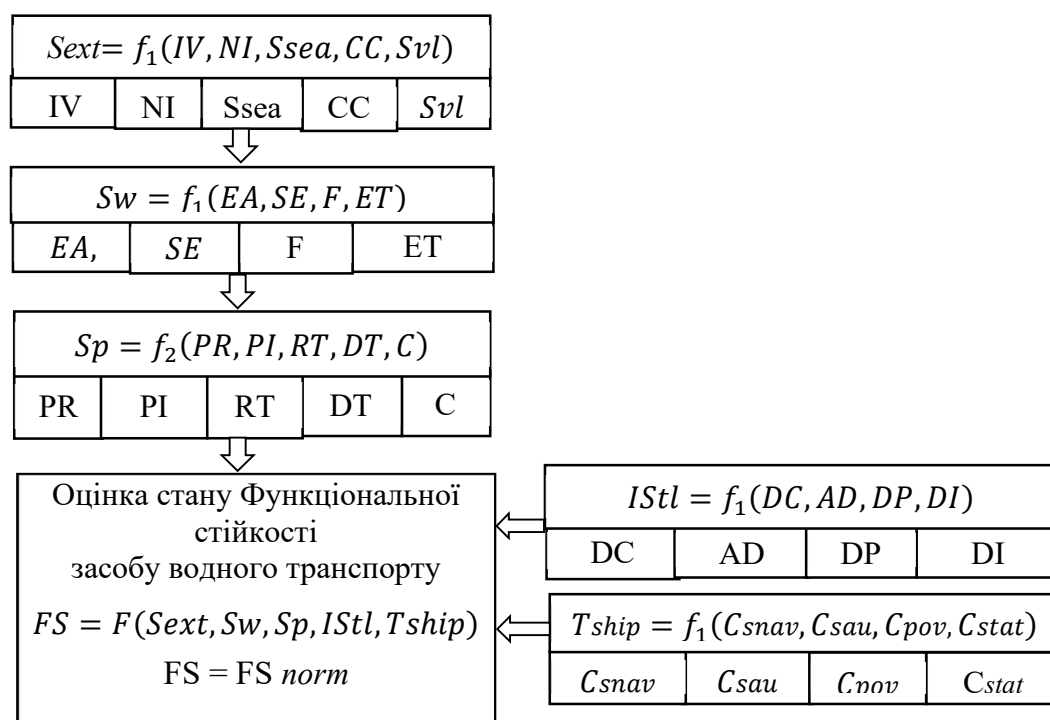


Рисунок 1 — Інформаційно — логічна модель оцінки функціональної стійкості засобу водного транспорту

Особливістю зазначених факторів є неможливість їх безпосереднього виміру і запису в числовому виді. Для цього існують різні тести для оцінки, однак вони вимагають затрат часу і можуть представляти результат з деякою мірою невизначеності.

Для рішення вказаних проблемних питань, та кількісної оцінки оперативного стану функціональної стійкості засобу водного транспорту пропонується застосування ймовірнісного математичного апарату з використанням Байєсовської мережі довіри (БСД) [6].

На підставі інформаційно-логічної моделі оцінки функціональної стійкості засобу водного транспорту будується Байєсовська мережа довіри (рис. 2). Вважається, що всі вершини запропонованої байєсовської мережі приймають лише два значення. Оскільки значення безумовних ймовірностей кореневих вершин та умовні ймовірності інших вершин встановлюються на основі результатів експертного опитування, вони визначаються розмито. Для задання їх кількісних значень необхідно використовувати

нечіткі числа. При цьому в основних формулах теорії ймовірностей, які використовуються при розрахунках розповсюдження ймовірностей на БМД слід використовувати нечіткі арифметичні оператори [7].

Всі безумовні і умовні ймовірності Байєсовської мережі, що розглядається, оцінюються нечіткими інтервалами, заданими на універсальній множині $\{x \mid 0 \leq x \leq 1\}$, де x - ймовірність станів вершин.

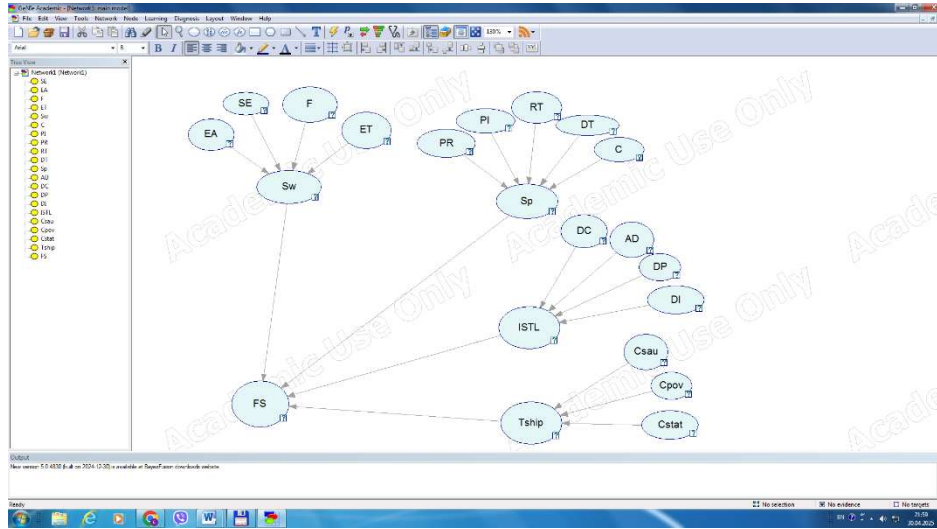


Рисунок 2 — Байєсовська мережа довіри оцінки функціональної стійкості засобу водного транспорту

При обчисленні нечітких ймовірностей $\tilde{P}_f$ у вершинах Байєсовської мережі (рис. 2) використовуються нечіткі аналоги формул класичної теорії ймовірностей :

$$\tilde{P}_f(A_1, \dots, A_n) \cong \bigotimes_{i=1}^n \tilde{P}_f(A_i | \text{Parents}(A_i)), \quad (1)$$

$$\tilde{P}_f(B = b_j) \cong \bigoplus_{A_1, \dots, A_n} \tilde{P}_f(B = b_j | \text{Parents}(B)) \tilde{\otimes} \left[\bigotimes_{i=1}^n \tilde{P}_f(A_i | \text{Parents}(A_i)) \right], \quad (2)$$

які називаються формулами для обчислення нечіткого спільного розподілу ймовірності та нечіткої ймовірності відповідно. Тут $\tilde{\oplus}$ означає операцію додавання, а $\tilde{\otimes}$ — операцію множення двох нечітких чисел. При розрахунках враховується обмеження на операції додавання і множення (позначаються нижче $\tilde{\times}$) над нечіткими ймовірностями:

$$\tilde{P}_f(A) \tilde{\times} \tilde{P}_f(B) = \begin{cases} \tilde{0}, & \text{якщо } \tilde{P}_f(A) \tilde{\times} \tilde{P}_f(B) \leq \tilde{0}, \\ \tilde{P}_f(A) \tilde{\times} \tilde{P}_f(B), & \text{якщо } \tilde{0} \leq \tilde{P}_f(A) \tilde{\times} \tilde{P}_f(B) \leq \tilde{1}, \\ \tilde{1}, & \text{якщо } \tilde{P}_f(A) \tilde{\times} \tilde{P}_f(B) \geq \tilde{1}, \end{cases}$$

де $\tilde{0}$ та $\tilde{1}$ — нечіткі числа 0 та 1, A та B — вершини БМД.

Далі для простоти вважається, що умовна ймовірність у будь-якій вершині залежить від значень батьківських вершин окремо, а не від спільного розподілу значень цих вершин. Тоді, якщо серед вершин $A_1, \dots, A_n$ батьківські є тільки у вершини A_i і цими вершинами є вершини $A_2, A_3, \dots, A_n$, то останнє припущення дозволяє формулу (2) переписати у вигляді:

$$\tilde{P}_f(A_1, \dots, A_n) \cong \bigotimes_{i=2}^n \tilde{P}_f(A_i) \tilde{\otimes} \tilde{P}_f(A_1 | A_j). \quad (3)$$

Висновки. Для оцінки та підтримки функціональної стійкості засобу водного транспорту пропонується наступний алгоритм:

1. За допомогою формул (1)– (3) обчислюються нечіткі повні ймовірності вершини Байєсовської мережі довіри Sw , Sp , $ISTL$, $Tship$ за нечіткими значеннями ймовірностей відповідних батьківських вершин: для Sw - це вершини EA , SE , F , ET , і т. д..

2. По формулам (1) - (3) обчислюється нечітка повна ймовірність вершини FS за нечіткими значеннями ймовірностей вершин Sw , Sp , $ISTL$, $Tship$, які тепер є батьківськими для вершини FS .

3. Методом центру тяжіння виконується операція дефазифікації — процедура знаходження чіткого значення ймовірності того, що функціональна стійкість засобу водного транспорту є стабільною.

4. При не відповідності отриманого значення оцінки функціональної стійкості ($FS < FS\ norm$) заданому, корегуються зазначені вище фактори у відповідності до рекомендацій інженерно-психологічних норматив та вимог до технічного стану основних суднових установок ($FS \geq FS\ norm$).

Запропонований підхід дає можливість описати з максимальною точністю взаємозалежність факторів впливу, для яких немає відомих точних закономірностей, для оцінки та підтримки функціональної стійкості в нечітких умовах та ризику при управлінні засобами водного транспорту.

Отримані результати можуть бути використані при побудові адаптивних СППР при управлінні засобами водного транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. <http://emsa.europa.eu/publications/reports/item/4266-annual-overview-of-marine-casualtiesand-incidents-2020.html>.
2. <https://www.agcs.allianz.com/news-and-insights/reports/shipping-safety.html>
3. Gylka, U. (2020). Виявлення ролі людського фактору в аварійності морського транспорту. Розвиток методів управління та господарювання на транспорті, (1 (70), 31–43. <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2020-1-31-43>
4. Frasyuniuk T., Primacheva N. Marine Shipping Industry Within the System of Global Economic Relations Sustainability. International Journal of Engineering & Technology. 2018. Vol.7, No 4.3 : Special Issue 3. Pp. 451–455.
5. Evaluation of the influence of environmental factors and cognitive parameters on the decision-making process in human-machine systems of critical application / [V. I. Perederyi, E. Y. Borchik, V. V. Zosimov, O. S. Bulgakova,] // Radio Electronics, Computer Science, Control. — 2024. — № 1 — P. 77-84. DOI 10.15588/1607-3274-2024-1-7.
6. Murphy K. A brief introduction to graphical models and Bayesian networks / Technical report 2001-5-10, department of computer science, University of British Columbia, Canada, May 2001. — 19p.
7. J.Halliwell, J.Keppens, Q.Shen, Linguistic Bayesian networks for reasoning with subjective probabilities in forensic statistics, Proc. of the 5th International Conference on AI and Law, 2003, pp. 42–50.

DESIGNING ECOSYSTEMS OF INTELLIGENCE: LOGIC OF FAST DISTINCTION

Prokopchuk Yu.

*Institute of Technical Mechanics of NASU
(Ukraine)*

Introduction and problem setting. Intelligent support of manned and unmanned missions in hostile environments requires solving numerous distinction tasks that collectively form the meaning of any situation (situational awareness). Distinction tasks are diagnostic / recognition tasks, prediction tasks and management (situation transformation) tasks [1]. Intellectual support should be based on all theoretically possible types of assistance, including urgent assistance (urgent computation) [1], [2]. Numerical simulations of urgent events must be completed within a stipulated deadline. Meeting the stipulated deadline in urgent computation (UC) is crucial to the success of system [2]. Simulation result(s) with improved accuracy is expected by using the zero hour data. Lateness may imply that no mitigation effort can be carried out. These circumstances dictate the need to develop the Logic of Fast Distinction. The rationality of this logic can be confirmed exclusively by its usefulness in real situations with radical uncertainty and strict resource constraints (Ultra-Fast / Fast Logic: Logical intuition; rapid intuitive “logical” judgments; Very Fast Logical Reasoning; Logic of Actions, Models of Actions) [1].

The general solution for intelligent support is known — it is the use/integration of all possibilities. This approach involves creating an ecosystem of intelligence: all artificial components of the environment must be «intelligent» (Smart-Everything Paradigm: Ambient Intelligence). An example is the «NASA Platform for Autonomous Systems (NPAS)». The mission support intelligence ecosystem includes the following aspects:

- Visualization of Ships/UAV in a Mixed-Reality Environment and Automated Situational Awareness (Physical-Virtual Synchronization in the Vehicular Metaverse [3]); A Construction Method of a Decision Chain for Unmanned-Ship Autonomous Collision Avoidance Based on Human-Like Thinking; Modelling Human Operators’ Decision-Making in Highly Dangerous Situations: simulation model of a process operator’s decision-making assisted by AI algorithm in a technical system control loop (We analyze situations fraught with a catastrophic threat that may cause unacceptable damage); Simulation Model of an AI-Based Human-Machine System (exploring shared awareness in human-intelligent autonomous systems);

- Self-Aware Computing Systems, Self-Referential Systems (Feedback Loops as the Structural Core) [1], [4];

- Bio-Inspired Holonic Approach in the control architecture of (autonomous) transportation systems [5]; Wholeness or Living Structure: The parts are as complex as the whole (For example: Any Sensor is a Cognitive Sensor or Cognitive Agent [1]); Total diversification of measurement/control channels and execution mechanisms;

- Augmented reality with «cognitive digital twins» and swarm intelligence can significantly reduce or eliminate any disturbances in the perception of the situation [6] (Reducing Uncertainty in Collective Perception Using Self-Organizing Hierarchy / Holarchy [1]);

- Cognitive Cyber-Physical Systems of Systems — CCPSoS (open holarchy): CCPS integrate machine learning/AI with brain-inspired computing in creating smart systems; Integrating human cognition in cyber-physical systems [1], [5] (this topic focuses on the application of cognitive architectures to create cognitive CPS with the ability to perceive, reason and learn autonomously and also capable of interacting with the environment and human users in a meaningful and adaptive way); The CCPSoS approach enables agents to autonomously establish, maintain, and reconfigure dynamic multilevel system architectures (Self-Organized Hierarchy / Holarchy); Each framework supports cognitive processes such as sensory integration, attention management, action selection, memory recall, learning mechanisms and reasoning abilities [1];

- Analysis of order, coherence and growth of intelligence in complex dynamic intelligent systems from the point of view of self-organization, self-reflection, self-completion, continuous

reciprocal causality, consensus control, extended memory and cognition [1];

- Optimizing Computational Resources for Edge Intelligence (an alternative to delegate all the computation to the Cloud; this work presents an approach that simplifies the complexity of supervised learning algorithms at the Edge; Model Cascade Strategies [1], [4]);

- Gist Extraction, Processing of Gist: fuzzy-to-verbatim continua, and fuzzy-processing preferences (extracting the correct gist from problem information, focusing on that gist during reasoning, and accessing reasoning operations that process that gist); gist-based processing tends to be faster and is thus likely to be completed faster than the slower and more deliberate verbatim processing [7] (the verbatim-gist distinction and hierarchies of gist: gist representations are often simple and reasoners are assumed to use the simplest gist available to them) [8];

- Multi-LLM Agent Collaborative Intelligence; A future-oriented solution is the «Thinking Swarm of Cognitive Agents» [6]; An Internet of Assistants; The Principle of Super-efficiency, suggesting that collective behaviours self-organise to the critical regime where optimal efficiency is achieved (In the distinction tasks, this is maximum adaptability, flexibility, speed of decision-making, resource intensity and cost-effectiveness, as well as deep auditing [1], [9]);

- Integrate autonomous systems with manned and unmanned systems for optimal mission flexibility (For example: DARPA «Artificial Intelligence Reinforcements»: Creating fast and accurate models that capture uncertainty and automatically improve with more data; Developing AI-driven algorithmic approaches which enable real-time distributed autonomous tactical execution within uncertain, dynamic, and complex operational environments).

The work focuses on the following task: «Logic of Fast Distinction with a very small number of information using human cognitive-inspired computation model» [10], [11]. A problem of similar meaning is considered in [12].

Main results. The search for a solution is based on the Limiting Generalizations Paradigm (LGP) [1], [10], [11]. LGP is interpreted and integrated into new ways of thinking about the processes of creating engineering / technical systems.

Any image, any situation is represented as a network of sketches. Sketches can be empirical or generative. They differ in the degree of roughness/abstractness. Rougher sketches require fewer resources of all kinds. Any sketch can have its own formalism (such sketches are separate theories). The growth of the network of sketches corresponds to the growth of understanding and the emergence of meaning/gist. Consequently, the network of situation sketches corresponds to the “hierarchy of gist sketches”. Different users need different sketches. Sketch networks are the basis for reflective and metaphorical thinking. Sketch networks can be of different types, including distinction task networks. Any subset of sketches can be activated simultaneously. If sketches are distinction tasks, then the results of coarse tasks will be obtained faster. This fact is the basis of «fast logic» (need to look for critical sketches - these are the roughest sketches that are sufficient to solve the problem; the essence of LGP). Criticality acts as one of the fundamental natural mechanisms of the universal creative process. Figure 1 shows examples of networks for distinction tasks [1].

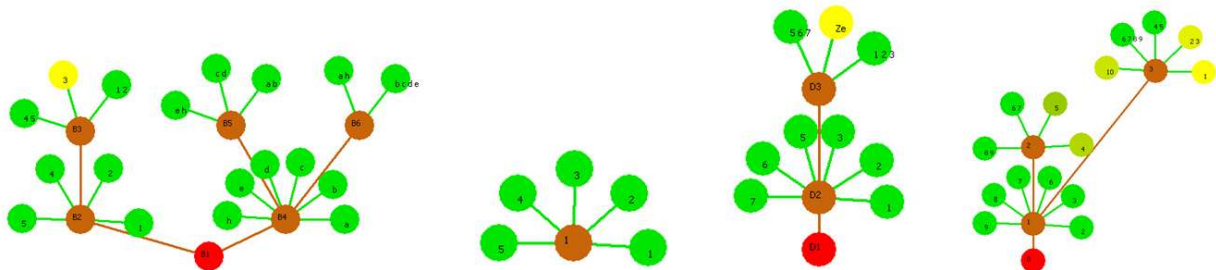


Figure 1 — Examples of networks for distinction tasks

Below are shown precise distinction tasks. The rough tasks are shown above (they can be solved much faster with fewer resources). All tasks are activated simultaneously (either data appeared or a request was received), which ensures predictive processing (intuition) and auditing

of data flows.

Importantly, an intelligent system can independently search for fast and frugal heuristics / patterns that make inferences with limited time and knowledge/resources. For all components of experience and for the «Space of Thought Flows» in particular, the key from the point of view of the development of intelligence is the mechanism of detecting patterns or the mechanism of «distillation». This process occurs in layers of increasing complexity by extracting templates along with execution mechanisms (Pattern Discovery or «Distillation» Mechanism: distilling patterns-of-patterns and then patterns of those patterns; Layering of Pattern Matching; radical expansion of the transfer of the scheme to new situations). LGP examples of patterns-of-patterns: «arrows of cognition» (incubation of heuristics in distinction tasks), «Subjective Space-Time-Actions» («arrows of time»), «Space of Thought Flows» (experience in solving distinction tasks) [1].

The network of sketch networks is characterized by «entanglement» (heuristics of all types). Generalized entanglement creates wholeness, unity. It is the wholeness of the mental sphere that is responsible for instant understanding of the situation (a continuum of heuristics of different distinction tasks is triggered). This quality is especially important for critical technologies and autonomous systems. Let us illustrate the applied aspect of solving distinction tasks.

The Emergent Whole: A mathematical model of the meaning/gist of the signal / variable / parameter is proposed. The signal model is a «living structure» («evolving entity» that exists due to events constituting its evolution: the evolution and circulation of energy is taken into account). The signal model includes a «cognitive number» model (the signal range is a combination of cognitive numbers) [13].

It is assumed that any situation and any state of a thinking swarm can be described using a multitude of elementary tests $\{\tau\}$ (analogous to variables). Let us introduce the following notations [1], [4]:

«Test» — the name of the test; «#TestX...» — the list of references to more general tests; $\{a/A\}$ — a set of external tests that affect the transformations within the Test (A is the domain); [Context] — the context within which the given test model is valid; «Dj» — the name of the j -th domain (generalization of domains from bottom to top); «#Dx...» — links to parent domains; $\{ ; ; \}$ «the list of alternative domain elements»;

$\{On\}_j$ — ontological agreements; $\{Sg\}_j$ — surrogate models; $\{S, R\}_j$ — auto-associative knowledge models or inductor space (S – heuristics, R – precursors); $\{Ag\}_j$ — agents (society, swarm of agents, expert environment; Internet of Assistants); $\{NN\}_j$ — neural networks, the output layer of which converges with D_j (Morphological computation);

$\{SE\}_Z$ — all subjective experience of solving Z -task («Subjective Space-Time-Actions», «Space of Thought Flows», «Space of Narratives»; Possibility Spaces for Each Heuristic / Domain);

$Pos-Space_{Dj}$ — Space of Possibilities of the domain D_j ;

$Creative\ Max/Opt$ — operator of creative (situational) maximization of Spaces of possibilities;

z_j — domain elements, $[\wedge x_j...]$ — aliases of the j -th element; $\{g/\mu\}_j$ — computational patterns; $[Int_j]$ — numerical intervals, dependent on $\{a/A\}$ (usually only for the first discrete domain); if the values of any tests from $\{a/A\}$ are not defined, then the schemes of the corresponding transformations are also undefined.

Cognitive Sensor Models: Diversity's Logic. The general scheme of the test configurator (living smart-structure: sketch network or cognitive model of any signal) can be represented as follows (multiformality & multiphysics & multiscale & openness; Holistic intuitions integrate diverse sources of information in a Gestalt-like; «Act of Understanding Uncertainty»: Human-Dimensional Scale; Distributed Consensus, Consensus Control/Model; Inter-Scale Conflicts, Coordination Across Scales; Producing Endless Novelty; Figure 1):

Test [#TestX...] [$\{a/A\}$] [Context] {
Dn [$\wedge Dn...$] [#Dx...] { ; ; } [$\{On\}_n$] [$\{Sg\}_n$] [$\{S, R\}_n$] [$\{NN\}_n$] [$\{Ag\}_n$] [$\{SE\}_n$]

$$\begin{aligned}
 &D2 [\wedge D2...] [\#Dy...] \{ ; ; \} \quad [\{On\}_2] [\{Sg\}_2] [\{S, R\}_2] [\{NN\}_2] [\{Ag\}_2] [\{SE\}_2] \\
 &D1 [\wedge D1...] \{ ; ; \} \quad [\{On\}_1] [\{Sg\}_1] [\{S, R\}_1] [\{NN\}_1] [\{Ag\}_1] [\{SE\}_1], \\
 &\forall \{ ; ; \} = \{z_1 [\wedge x_1...] [Int_1] [\{g/\mu\}_1]; \dots; z_k [\wedge x_k...] [Int_k] [\{g/\mu\}_k]\}. \\
 &\text{if } Dj \rightarrow Dk \quad Pos-Space_{Dj} \subseteq Pos-Space_{Dk}, \\
 &\forall t \forall D \quad |Pos-Space_D| \rightarrow Creative \ Max.
 \end{aligned}$$

For each value of any domain, at least six classes of inductors are defined: transitive computations along the hierarchy of domains (generalizing primary measurement data); computations based on ontological agreements; computations based on auto-associative knowledge models; computations based on a multitude of neural networks; computations based on multi-agent technologies (outsourcing); computations based on experience («arrows of time» and «arrows of causality»). The calculated test value at any level of generalization must be agreed upon by signals from different inductors, and this imposes constraints on the set of possible states of the entire system, ensuring systemic integrity (The Problem of Distributed Consensus). If there is a conflict of values for any domain, the control system should inform the user, significantly increasing the functional stability of critical technologies. The model also allows for the application of quantum-like technologies (superposition of sketches, re/de-coherence).

Key point: Moving to a higher scale level can lead to radically new capabilities/tools with better performance. We describe behavior as parallel processes of competition and selection among potential action opportunities («affordances») expressed at multiple levels of abstraction (Scaling of Complexity).

Eight aspects of signal meaning (semiotics; a theory of meaning-making; a sense-nonsense theory and signification; methods to manage complexity) [4]:

- 1) Interpreting the signal as networks of sketches oriented to different contexts (Ontology: Meanings, Their Hierarchy, and Evolution; Semiotics of Potential Meanings);
- 2) Formation of coordinate systems of distinction tasks, mental modeling, phase spaces and sketches of images;
- 3) The measurement/use of a signal is always accompanied by a Context that is potentially infinite;
- 4) Measuring or querying the value of a signal activates a set of multi-scale distinction tasks (according to a network of sketches) and, consequently, situational possibility spaces (problem-solving mechanisms, including the experience of the agent and coalitions of assistants);
- 5) Comparison of predictive values of the signal (intuition) and measured values allows to check the correctness of measurement systems operation;
- 6) Activation of distinction tasks caused by signal measurement leads to incubation of related heuristic spaces and creative search of new mechanisms for solving distinction tasks, i.e. expansion of situational Spaces of possibilities;
- 7) Under the action of a signal (possibly as part of an information composite, such as an event or heuristic), the agent's situational awareness, behavior, dynamics, and state (its knowledge, memory, intentions, purposeful actions, etc.) change;
- 8) Signal sketch networks are involved in collapsing and unfolding the meanings of communication messages.

Logic of Fast Distinction with a very small number of information using human cognitive-inspired computation model. Sketch networks, inducers/predictors, «causality arrows» and morphological interneuron connections are primarily responsible for generating meaning, entanglement in the network of sketch networks. Limiting meaning is contained in the critical sketches of any information, a «thin slice» of heuristics within each distinction task. The learned information becomes part of the agent's «Body-Affectome-Connectome-Cognitome-Interactome» and its «Causal World Model».

Sketch networks generate categorization operators W_Z ($\forall Z$ -task). Let G be the base of precedents in the distinction Z -task; V, S, S^* are heuristics with different degrees of generalization. The implicit process of incubation of frugal and fast heuristics in each distinction Z -task is

described by the model (generalizing the edge of chaos in complex systems; 'hierarchical affordance competition' process) [1]:

$$\begin{aligned} \forall Z\text{-task} \quad \Omega_Z &= \{V\}_0 \rightarrow W_Z(\{V\}_0) \rightarrow W_Z^2(\{V\}_0) \rightarrow \dots \rightarrow \{S^*\}_{Full} \rightarrow \{\{S^*\}_{Min}\}_{Full}, \\ \{S^*\}_{Full} &\subseteq \{S\}_{Full} \subseteq \{V\}_{Full}, \\ \forall V \rightarrow S \rightarrow S^* \quad Pos\text{-}Space_V &\subseteq Pos\text{-}Spaces \subseteq Pos\text{-}Spaces^*, \\ \forall V \forall t \quad |Pos\text{-}Space_V|_t &\rightarrow Creative\ Max \end{aligned}$$

There are other heuristic incubation schemes. A distinction scheme called the "task continuum" with cognitive penetration implements a dynamic competitive mechanism of instant decision-making («Creative Stirring / Mixing Layer»: Implementing the Fast Object Recognizer). It is the use of embodied «thin slice2 heuristics ($\{S^*\}_{Full}$) that has a significant impact on the speed and economy of decision making (Optimal complexity: the «edge of chaos»; Optimal Machine Intelligence Near the Edge of Chaos). The pressure of complexity in solving problems of varying scales often allows one to «Go Beyond» and find truly unique solutions (Decision Making under Radical Uncertainty). In general, distinctions can be made on the basis of very rough sketches (ideally critical sketches). The model reflects the continuous improvement of discrimination-control resources and the logic of refinement.

Fast/Slow Data (FD/SD): FD is readily available; SD is much trickier to gather and analyse; We often don't have the luxury of being able to wait for the emergence of SD. Fast and frugal heuristics $\{S^*\}_{Full}$ are usually FD (they require the least resources among $\{V\}_{Full}$). FD is often very vague data, but it allows you to get to the heart/gist of the problem/situation.

The invention of artificial neural network especially its derivative namely deep learning has improved the performance of an intelligent machine's object recognition. However, the training scheme that is a part of neural network-based learning methodology requires other efforts such as providing a huge number of data along with their annotation that impacts to the need of high-performance computing equipment [12]. We propose a fast object recognizer (Logic of Fast Distinction) inspired by human cognitive computation called as Limiting Generalizations Paradigm (LGP) which is a model of Cognitive Artificial Intelligence (Brain-inspired intelligent computation in artificial intelligence) [1]. The LGP development was inspired by the growing of knowledge within human brain when thinking during carrying out interactions to a phenomenon in its environment. Some areas of application: «Fast Object Detection / Fast Military Object Recognition»; «Early Warning System Using Cognitive Artificial Intelligence (consequence of the integrity or strong coherence of data)»; «Dynamic Adaptation of Urgent Applications in the Edge-to-Cloud Continuum», «Refinement Logic» (Building a Sketch Network: One approach to taming the complexities of hybrid systems is to start with a simplified version of the system and iteratively expand it).

Conclusion. The Limiting Generalizations Paradigm will aid in the identification of the unique challenges of urgent computing and in turn simulates innovative multi-disciplinary solutions to address these challenges. The LGP significantly reduces the computational cost of distinction tasks without significant loss of accuracy. A mathematical model of wholeness is developed. The applied aspect of the research is to implement the Bio-Inspired Holonic Approach in the control architecture of (autonomous) transportation systems, and to investigate ways to enhance situational awareness through a cognitive approach.

REFERENCES

1. Prokopchuk Y. (2022). Intuition: The Experience of Formal Research. Dnepr, Ukraine : PSACEA Press. 724 p. (in RU)
2. Leong, Siew Hoon., Kranzlmüller, Dieter. (2015). Towards a General Definition of Urgent Computing. *Procedia Computer Science*. 51. 10.1016/j.procs.2015.05.402.
3. Fossen, S., Bye, R., Osen, O. (2018). Visualization and Collision Risk Assessment of Real Ships in a Mixed Reality Environment using Live Automatic Identification System (AIS) Data. In *Conference: 2nd European Conference on Electrical Engineering & Computer Science*

(EECS'18). 10.1109/EECS.2018.00048.

4. Prokopchuk Y., Nosov P. (2023). Reference scenarios for self-aware computing: test configurator // Satellite conference «Information technologies and applications (IT&Is)» (Taras Shevchenko National University of Kyiv, November 21, 2023). Kyiv: Publishing House «Caravela». Pp.47–48.

5. Prokopchuk Y., Nosov P., Zinchenko S., Ben A. (2023). Bio-holonic approach to the creation of naturally reliable and safe transportation systems. Materials of the 15th Scientific and Practical Conference «Modern Information and Innovative Technologies in Transport (MINTT-2023)» (May 24-25, 2023, Kherson). Kherson, Ukraine: XSMA. P. 37–41.

6. Prokopchuk Y., Nosov P. (2023). Trusted autonomous systems: organization of the «thinking swarm». Proceedings of the International Scientific Conference «Information Technologies and Computer Modelling» (July, 6th to 8th Ivano-Frankivsk). Ukraine, Ivano-Frankivsk: Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, pp. 104–107.

7. Reyna, V. F. (2012). A new intuitionism: Meaning, memory, and development in Fuzzy-Trace Theory. Judgment and Decision Making, 7(3), 332–359. 10.1017/S1930297500002291

8. Chorna V., Prokopchuk Y. (2023). Comparative Analysis of the Foundations of Fuzzy Trace Theory and the Limiting Generalizations Paradigm. XX All-Ukrainian Conference of Young Scientists «Informatics, Information Systems and Technologies». Odesa, Ukraine: South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky. Pp. 22–25. (in UA)

9. Prokopchuk Y., Nosov P., Ben A. (2024). Problems of Meaning, Understanding, Computability and Adaptability in Artificial Cognitive Systems. Proceedings of the 16th Scientific and Practical Conference «Modern Information and Innovative Technologies in Transport (MINTT-2024)» (May 29-30, 2024, Odesa). Odesa, Ukraine: Kherson State Maritime Academy. Pp. 19 – 25.

10. Prokopchuk Y., Nosov P. (2022). Dynamic aspects of the process of making subjective quick decisions. Abstracts of the XVI International Conference «Modern Information and Communication Technologies on a Transport, in Industry and Education». Dnepr, Ukraine: USUST Press. p. 101. (in UA)

11. Prokopchuk Y. (2022). Dynamic Competition Mechanism for Instant Decision: «Creative Stirring Layer». Adaptive technologies of learning management: a collection of materials of the eighth international conference. Odesa-Kyiv, Ukraine: Institute of Information Technologies and Learning Tools of the NAES of Ukraine. Pp. 11–13. (in UA)

12. Sumari, A., Andrie, R., Putra, D., Noer Syamsiana, I. (2022). A fast object recognizer with a very small number of information using human cognitive-inspired computation model. Conference: Unmanned Systems Technology XXIV. 23. 10.1117/12.2618805.

13. Prokopchuk Y. (2024). «Cognitive numbers» as an example of «Living structure». XXVI International Scientific and Practical Seminar «Combinator Configurations and Their Applications». Zaporizhzhia — Kropyvnytskyi, Ukraine: National University «Zaporizhzhia Polytechnic» — Enterprise «Exclusive-System». Pp. 133–139. (in UA)

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ПЛАНУВАННЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ

Соколов А.В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Постійне зростання обсягів сучасних морських контейнерних перевезень та ускладнення їх логістичних ланцюжків, що пов'язане з істотним збільшенням контейнеромісткості сучасних суден контейнеровозів, яка може досягати до 24000 TEU (20-ти футових контейнерних одиниць або 20 контейнерів), обумовлює нагальну потребу в розв'язанні низки теоретичних та практичних задач, пов'язаних з підвищенням економічної ефективності та безпечності таких перевезень [1, 2]. Однією з ключових складових успішного розв'язання вказаних задач є розробка математичних моделей, методів та інформаційних технологій формування вантажних планів суден-контейнеровозів

Актуальність досліджень. Нераціональний вантажний план судна-контейнеровозу призводить до необхідності виконання зайвих вантажних операцій в портах, що кличе за собою додаткові, як прямі, так і опосередковані економічні втрати. Крім того, наявність зайвих вантажних операцій погіршує безпекову складову виконання рейсу, тому оптимізація структури вантажних планів вкрай важлива.

Постановка задачі. Слід зазначити, що ключовою проблемою в питаннях підвищення безпечності та економічної ефективності морських контейнерних перевезень, була і залишається проблема створення раціонального (або оптимального) вантажного плану судна, оскільки саме від вантажного плану в найбільшій мірі, залежить покращення вищезазначених показників. Метою дослідження є визначення особливостей процесу побудови плану розміщення вантажів на контейнеровозі, його основних складових та методів корегування.

Результати дослідження. Під час проведення дослідження було визначено, що проблема формування оптимального (або раціонального) вантажного плану потребує одночасного комплексного вирішення низки складних взаємопов'язаних задач багатокритеріальної оптимізації, що можливо лише за умов ретельного врахування впливу отриманих розв'язків кожної з них на кінцевий результат, тобто, власне, вантажний план.

Розглядаючи процес формування вантажного плану контейнеровозу з позицій системного підходу, пропонується застосування наступної структурно-логічної схеми для аналізу впливу його окремих складових та оптимізації в цілому (рис. 1) [3].

В зазначеному процесі можна виділити два взаємопов'язаних комплекси складових впливу. Перший визначає технологічну складову і чітке виконання його вимог носить обов'язковий характер. Другий комплекс відповідає за формування експлуатаційної складової вантажного плану і має більш варіативний характер.

Таким чином, наразі існують нагальні потреби врахування різних запитів практики при керуванні процесом формування вантажних планів контейнеровозів. Постає проблема розробки гнучких оптимізаційних стратегій вибору пріоритетів в прийнятті рішень, які повинні враховувати при плануванні перевезень вантажів існуючі потреби судовласника. Одним з найбільш доцільних шляхів вирішення вищезазначеної проблеми є створення спеціалізованих СППР [3], особливо для планування мультипортових перевезень, що відрізняються складною структурою процесу планування та необхідністю внесення постійних змін до вже сформованого вантажного плану судна.



Рисунок 1 — Структура процесу формування вантажного плану контейнеровозу та взаємозв'язок основних чинників впливу на нього

Висновки. Визначено, що проблема формування оптимального вантажного плану полягає в розв'язанні множини складних взаємопов'язаних задач багатокритеріальної оптимізації. Практичне вирішення зазначеної проблеми знаходиться в площині пошуку субоптимальних рішень вказаних задач, що відповідають запитам практики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Iris, C., Pacino D. (2015). A survey on the ship loading problem. Computational logistics. Springer.. P. 238–251
2. Twiller, J. V., Sivertsen, A., Pacino, D., Jensen, R. M. (2024). Literature survey on the container stowage planning problem. European Journal of Operational Research vol. 317. no. 3. P. 841–857.
3. Бень А.П., Соколов А.В. (2024). Система підтримки прийняття рішень з формування вантажних планів контейнеровозів. Науковий вісник Херсонської державної морської академії, № 1(28). — С. 175–184.

УДК 656.61.052:681.51

ДОСЛІДЖЕННЯ МАНЕВРУ «ACCELERATION TURN» ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛІНЕАРИЗОВАНОЇ МОДЕЛІ СУДНА

*Товстокорий О. М., Зінченко С. М.
Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Повороти і розвороти судна, особливо на протилежний курс, вимагають багато вільного простору, якого часто немає, особливо при маневруванні в стиснених водах. Тому постає питання, яким чином виконати поворот або розворот на найменшій акваторії.

Корнараки в роботі [1] пише, що розворот одногвинтового судна на контр курс — це елементарний маневр, під час якого повною мірою проявляється вплив керма та гвинта на поворотність судна. На обмеженому просторі, як правило, маневрують за допомогою керма та головних двигунів. Дія гвинта на поворотність буде найбільшою, коли судно не має руху, ефективність керма зростає зі збільшенням швидкості судна.

У роботі [2] Chase досліджує поворот судна з прямим вітрильним оснащенням, використовуючи переміщення полюсу повороту.

У роботі [3] House зазначає, що для розвороту в стисненому місці, потрібно використовувати максимально можливості керма (кермо на борт) і гвинта (повний хід).

Кнут Баккен у роботі [4] описує алгоритм дій при повороті судна в обмеженому просторі (розмір акваторії становить 1,5 довжини судна) для конвенційного одногвинтового судна. Запропонований автором метод відомий як метод «Acceleration turn».

Seong Gi Seo у роботі [5] розглядає переміщення полюсу повороту під час виконання маневру «Acceleration turn», рис. 1. та дає рекомендації щодо практичного застосування.

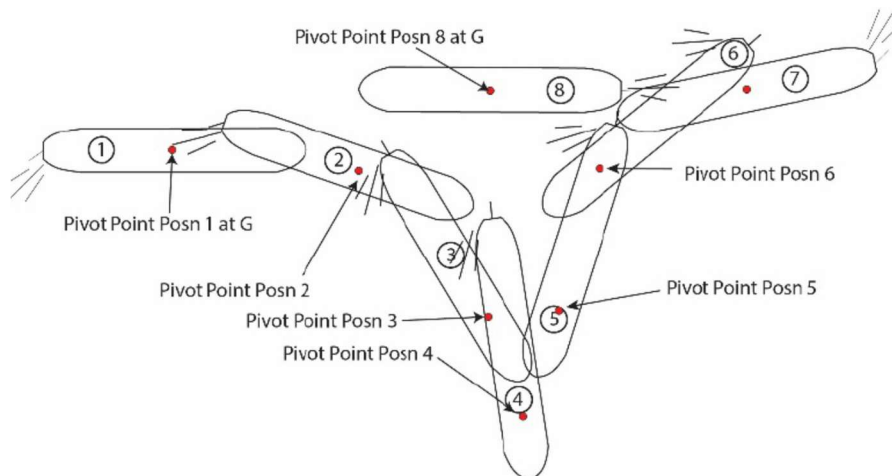


Рисунок 1 — Короткий розворот

Авторами даної роботи розроблені методи автоматичного маневрування із використанням полюсу повороту [6–9], надлишкового керування [10, 11], методи динамічного позиціонування [12,13], автоматичного штормування [14–18], тощо.

Актуальність дослідження. Із зазначеного вище опису робіт видно, що для виконання маневру на обмеженій акваторії використовується метод «Acceleration turn». Проте, автори відомих робіт описують лише приблизну схему виконання маневру, без детального аналізу складових маневру та без наведення конкретних даних про тривалість етапів та значень керувань. Тому, подальше уточнення параметрів маневру «Acceleration turn» залишається актуальною науково — технічною задачею.

Постановка задачі. Оптимізувати параметри маневру «Acceleration turn», з метою мінімізації області маневрування.

Результати дослідження. Розіб'ємо маневр «Acceleration turn» на п'ять етапів таким чином, щоб керування на кожному етапі не змінювалися, рис. 2.

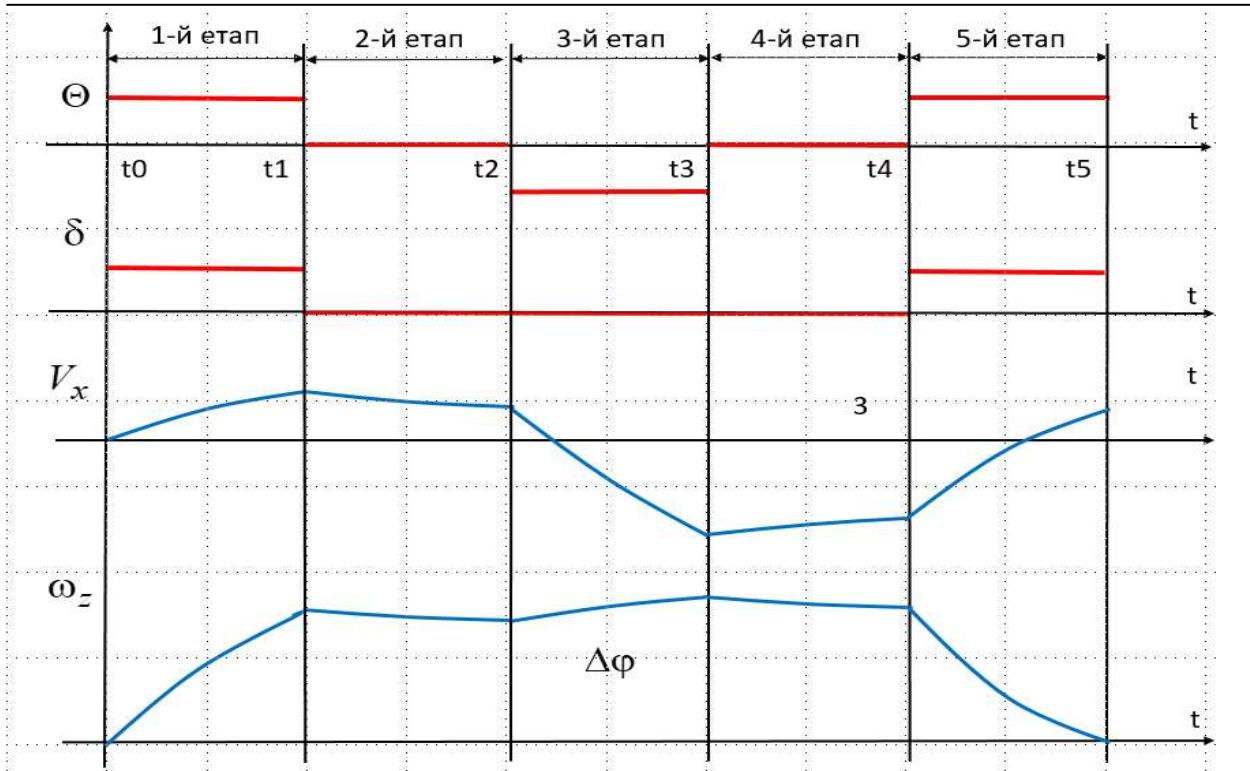


Рисунок 2 — Схема маневру «Acceleration turn»

Це дозволить знайти аналітичні рішення лінеаризованої системи диференціальних рівнянь поздовжнього та кутового руху на кожному етапі.

$$\begin{cases} m \dot{V}_x + \frac{\partial R_x}{\partial V_x} V_x = \frac{\partial P_x}{\partial \Theta} \Theta - \frac{\partial R_x}{\partial \delta} |\delta| \\ I_z \dot{\omega}_z + \frac{\partial M_z}{\partial \omega_z} \omega_z = -\frac{\partial P_y}{\partial \Theta} \Theta l_\Theta - \frac{\partial M_z}{\partial \delta} \delta \end{cases}, \quad (1)$$

Відомо, що розмір площі циркуляції визначається абсцисою і ординатою полюсу повороту. Для конвенційних одnogвинтових суден більш суттєвою із них є ордината полюсу повороту

$$R_y = \frac{V_x}{\omega_z}. \quad (2)$$

Із формули (2) видно, що зменшення ординати полюсу повороту і площі циркуляції можна досягти за рахунок зменшення поздовжньої швидкості V_x і збільшення кутової швидкості ω_z руху. Якщо маневр виконується у кілька етапів, рис.2, то мінімізація ординати полюсу повороту (2) на кожному етапі призводить до мінімізації області розвороту в цілому.

Перед початком маневру визначають напрямок розвороту (через правий або лівий борт). Так як на активних етапах розвороту (1,3,5) кутову швидкість потрібно збільшувати, то й сумарні керуючі моменти на цих етапах повинні бути одного знаку

$$\text{sign} \left\{ -\left(\frac{\partial P_y}{\partial \Theta} \right)_F \Theta l_\Theta - \left(\frac{\partial M_z}{\partial \delta} \right)_F \delta \right\} = \text{sign} \left\{ \left(\frac{\partial P_y}{\partial \Theta} \right)_R \Theta l_\Theta \right\}.$$

$$\text{Враховуючи, що } \left(\frac{\partial P_y}{\partial \Theta} \right)_R \gg \left(\frac{\partial P_y}{\partial \Theta} \right)_F, \quad \text{sign} \left\{ -\left(\frac{\partial M_z}{\partial \delta} \right)_F \delta \right\} \approx \text{sign} \left\{ \left(\frac{\partial P_y}{\partial \Theta} \right)_R \Theta l_\Theta \right\},$$

тобто напрямок розвороту визначається напрямком моменту, створеного боковою силою

гвинта на етапі 3.

На першому етапі телеграф переміщують вперед і утримують у даному положенні, стерно перекладають таким чином, щоб забезпечити напрямок розвороту, який визначається боковою силою гвинта на задньому ходові судна. Із другого рівняння системи (1) видно, що найбільшого усталеного значення кутової швидкості можна досягти, якщо моменти від обертання гвинта і стерна співпадають за напрямком і найбільші за величиною. Із першого диференційного рівняння системи (1) видно, що сили упору гвинта і опору стерна завжди протилежно направлені, незалежно від напрямку повороту стерна, і швидкість усталеного руху буде найменшою при максимальному відхиленні стерна. Отже, оптимальними керуваннями, які мінімізують ординату полюсу повороту на першому етапі будуть $\Theta = \Theta_{\max}, \delta = \delta_{\max}$.

На другому етапі телеграф переводять у положення STOP, а стерно встановлюють прямо. Система (1) на другому етапі матиме вигляд (3). Даний етап розвороту вимушений, так як телеграф може бути переведений у наступний реверсний режим лише через положення STOP. Так як на даному етапі зменшується кутова швидкість розвороту, то тривалість етапу повинна бути якомога меншою $(t_2 - t_1) \rightarrow \min$, із врахуванням обмежень на мінімально необхідний час знаходження телеграфу у положенні STOP

$$\begin{cases} m\dot{V}_x + \frac{\partial R_x}{\partial V_x} V_x = 0, V_x(t_1) = V_{x1} \\ I_z \dot{\omega}_z + \frac{\partial M_z}{\partial \omega_z} \omega_z = 0, \omega_z(t_1) = \omega_{z1} \end{cases} \quad (3)$$

На третьому етапі телеграф переміщують назад і утримують у даному положенні. Стерно прямо. Під дією реверсу гвинта швидкість судна зменшується до нуля, потім стає від'ємною і судно починає рухатися заднім ходом. Під дією моментів, створюваних боковою силою гвинта, судно збільшує кутову швидкість обертання до $\omega_z(t_3)$. Система (1) для третього етапу матиме вигляд

$$\begin{cases} m\dot{V}_x + \frac{\partial R_x}{\partial V_x} V_x = \frac{\partial P_x}{\partial \Theta} \Theta - \text{sign}(V_x) \frac{\partial R_x}{\partial \delta} |\delta|, V_x(t_2) = V_{x2} \\ I_z \dot{\omega}_z + \frac{\partial M_z}{\partial \omega_z} \omega_z = -\frac{\partial P_y}{\partial \Theta} \Theta l_{\Theta}, \omega_z(t_2) = \omega_{z2} \end{cases} \quad (4)$$

Із другого рівняння системи (4) видно, що найбільшого значення кутової швидкості обертання $\omega_z > 0$ можна досягти за умови $\Theta = -\Theta_{\max}$. Із першого рівняння системи (4) також видно, що для найшвидшого гальмування сила реверсу гвинта повинна бути найбільшою, тобто $\Theta = -\Theta_{\max}$. Для першого і другого рівняння умови збігаються. Отже, оптимальним на третьому етапі буде керування $\Theta = -\Theta_{\max}, \delta = 0$.

На четвертому етапі телеграф переводять у положення STOP, кермо залишається прямо. Під дією сил і моменту опору середовища, швидкість заднього ходу та кутова швидкість обертання зменшуються. Даний етап розвороту вимушений, так як телеграф може бути переведений у наступний режим переднього ходу лише через положення STOP. Так як на даному етапі зменшується кутова швидкість розвороту, то тривалість етапу повинна бути якомога меншою $(t_4 - t_3) \rightarrow \min$, із врахуванням обмежень на мінімально необхідний час знаходження телеграфу у положенні STOP.

П'ятий етап аналогічний першому етапу.

Площа під графіком $V_x(t)$ дорівнює загальному поздовжньому переміщенню судна $X_g = \int V_x(t) dt$ і для ідеального розвороту повинна виконуватися умова $X_g = \int V_x(t) dt = 0$.

Площа під графіком $\omega_z(t)$ дорівнює загальному кутовому переміщенню судна $\varphi = \int \omega_z(t)dt$ і для ідеального розвороту повинна виконуватися умова $\varphi = \int \omega_z(t)dt = \pm\pi$.

Висновки. Досліджено маневр «Acceleration turn» із використанням лінеризованої математичної моделі судна. Розворот «Acceleration turn» розбито на 5 етапів, які характеризуються постійністю керувань. Записано умову мінімізації області розвороту. Визначено параметри оптимізації: величини керувань та тривалість етапів. Для кожного етапу наведено систему диференціальних рівнянь, проаналізовано рух судна, визначено оптимальні керування та тривалості етапів. Отримані результати відрізняються від відомих рішень тим, що дозволяють розрахувати маневр «Acceleration turn» із використанням математичного апарату, підтвердити, уточнити або спростувати існуючі положення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Корнаракі В. О. Маневрування суден, 1979. — 128 с.
2. Chase A. G. Sailing Vessel Handling and Seamanship — The Moving Pivot Point, The Northern Mariner, 1999. P. 53–59. https://www.cnrsscrn.org/northern_mariner/vol09/nm_9_3_53-59.pdf.
3. [3] House D. J. Ship Handling. Theory and practice, Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK.
4. Knut Bakken. Ship Handling, Ladehammery, 4 N-7040 Trondheim.
5. Seo S. G. Safer and More Efficient Ship Handling with the Pivot Point Concept, The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2026, Vol.10, Issue 4, P. 605–612. doi: 12.12716/1001.10.04.09.
6. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Nosov P., Popovych I., Kyrychenko K.. Pivot Point position determination and its use for manoeuvring a vessel. Ships and Offshore Structures. <https://doi.org/10.1080/17445302.2022.2052480>.
7. Zinchenko S., Tovstokoryi O. What is the Pivot Point and how to use it to control the vessel. Materials of the XII International Scientific and Practical Conference «Advanced Information and Innovative Technologies for Transport (MINTT – 2020)», May 27–29, 2020.
8. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Sapronov O., Petrovskyi A., Ivanov A., Tymofeiev K. Development of automatic control methods of vessel rotation around the pivot point without drift. Technology Audit and Production Reserves, 2022, Vol. 6(2(68)), P. 16–21. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.269364>.
9. Zinchenko S., Tovstokoryi O. Using the rotation center and pivot point to optimize vessel's maneuver, Materials of the VII International Scientific and Practical Conference «Life Safety in Transport and Production: Education, Science, Practice», Kherson, September 9–12, 2020, P. 108–112.
10. Zinchenko S., Kobets V., Tovstokoryi O., Nosov P., Popovych I. Intelligent System Control of the Vessel Executive Devices Redundant Structure, CEUR Workshop Proceedings, 2023, Vol–3403, P. 582–594. <https://ceur-ws.org/Vol-3403/paper44.pdf>.
11. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Nosov P., Popovych I., Kobets V., Abramov G. Mathematical support of the vessel information and risk control systems, CEUR Workshop Proceedings, 2020, Vol. 2805, P. 335–354. <http://ceur-ws.org/Vol-2805/paper25.pdf>.
12. Moiseenko V. S., Zinchenko S. M., capt. Tovstokoryi O. M. Automatic beam control of laser–optical position reference system, Materials of the II International Scientific and Practical Maritime Conference of the Department of Power Plants and TE of Odessa National Maritime University MPP & O-2020, April 2020, ODESSA–ISTANBUL–ODESSA. <https://drive.google.com/file/d/1HEX2RVuA1KV5JjMfQcqYZ1f4SCFMcy6a/view>.
13. Moiseienko V. S., Zinchenko S. M., Tovstokoryi O. M., Mamenko P. P., Mateichuk V. M., Kyrychenko K. V. Position keeping experiment using LOPRS and DGPS in rough sea, Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Problems of

- Sustainable Development of the Maritime Industry» (PSDMI–2021), 03–04 November, 2021.
14. Mateichuk V. M., Zinchenko S. M., Tovstokoryi O. M., Mamenko P. P., Artemenko A. G. Taking into account the slamming during automatic safe sailing in a storm, Матеріали 1 міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI–2021), Херсон: ХДМА, 03-04 листопада 2021.
 15. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Mateichuk V., Nosov P., Popovych I., Gritsuk I. Automatic vessel steering in a storm, Electrical, Control and Communication Engineering, 2022, Vol. 18, Issue 1, P. 66–74. <https://doi.org/10.2478/ecce-2022-0009>.
 16. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Mateichuk V., Nosov P., Popovych I., Perederyi V. Automatic Prevention of the Vessel's Parametric Rolling on the Wave, CEUR-WS.org, 2024, Vol. 3668, P. 235–246, 2024 (COLINS–2024). <https://ceur-ws.org/Vol-3668/paper16.pdf>.
 17. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Kyrychenko K., Nosov P., Popovych I. Analytical Model of a Ship's Stability on a Regular Wave, XX International scientific internet conference «Intelligent Systems of Decision-Making and Problems of Computational Intelligence» (ISDMCI-2024), Usti nad Labem, Czech Republic, Khmelnytskyi, Ukraine, June 20–23, 2024.
 18. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Mateichuk V., Nosov P., Popovych I., Kyrychenko K. Application of the conditional optimization method in the problem of vessel stormy sailing, XII International Scientific and Practical Conference «Information Control Systems & Technologies (ICST–Odessa–2024)», September 23–25, 2024. Odessa, Ukraine.

MULTICRITERIA OPTIMIZATION OF SITUATIONAL MANAGEMENT OF SEA TRANSPORTATION

Sharko O.V.¹, Stepanchikov D.M.², Movchan P.V.¹

*¹Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)*

*²Kherson National Technical University
(Ukraine)*

Introduction. Maritime transport plays a global role in the world economy, ensuring the reliable delivery of goods around the world. Extensive networks of shipping routes, ports and sea corridors provide conditions for globalization and strengthen the interconnectedness of the world economy. In the coming years, sustainable growth of maritime transport is expected, but unfavorable factors remain. It should be noted that the volume of maritime transport is growing more slowly than the gross domestic product. At the same time, the carrying capacity of the sea fleet is growing faster than the volume of maritime transport. This discrepancy in dynamics can be explained by inflationary pressures negatively affecting consumption, disruptions in global supply chains, a slowdown in the pace of globalization and trade in goods compared to the pace of trade in services.

Relevance of the study. The need to improve transport and logistics processes at the current stage of their development is due to the presence of uncertainties in the infrastructural and technological interaction of cargo carriers. Therefore, the development of new tools and mechanisms for managing maritime transport, taking into account changing situations and operating conditions, is becoming relevant. In such a formulation, the integrated use of management methods under uncertainty and a situational approach to the current situation is promising [1].

Statement of the problem. The unresolved parts of the general problem include optimization of solutions for the effective use of transport technologies under various practical situations of uncertainty and management risk. The aim of the work is multi-criteria optimization of situational management of maritime transport.

Research results. The input information of the problem being solved consists of determining the optimization parameters, which include: vessel loading, delivery duration, transition speed, main engine load, fuel consumption per day, deviations from the route, transportation cost.

A practical example is considered on the activities of the merchant vessel FUNDATAL (IMO 996 2988) with a deadweight of 3804 tons, making the transition from Turkey to Germany within three weeks. After deducting the weight of fuel and oil, the maximum volume of the carried cargo is 3650 tons. The maximum time the vessel stays in the open ocean is 40 days.

The duration of delivery is determined through the interaction of transport agents. This interaction involves the activities of the charter, acting as the customer of the transportation and the captain. The charter's desire is explained by economic considerations to deliver the cargo as quickly as possible. The actions of the captain take into account the actual situation of the route, the capabilities of the vessel and the crew. After reaching a consensus, the date of the cargo's passage and its passage to the destination is set, which determines the duration of delivery.

The calculated values of the transition speed in the normal mode of operation of the vessel are 10 knots.

The optimal load on the main engine is considered to provide a vessel speed of 10 knots. This value is 75% of the maximum.

Fuel consumption is calculated based on its use per day. With a 75% load on the main engine, providing a speed of 10 knots, this consumption is 3,5 tons per day.

Deviations from the route are determined by the specific features of the cargo being transported. The cases considered concern the transportation of general cargo: liquid, bulk, container. At the same time, there are frequent cases of sea transportation of specific flammable

cargo that enter into chemical reactions with the metal of ship equipment, fuel and oils. This requires strict routing taking into account calls at ports that have such protective safety measures for receiving cargo. In the event of sudden changes in weather conditions with a full load of the vessel and the influence of other difficult to take into account factors, a maximum deviation from the route of up to 500 miles is possible.

During a 21-day passage, the costs of fuel and lubricants amount to 3 thousand US dollars per day and 63 thousand dollars USA during the passage. Operating costs for the ship owner during the transit period are 7 thousand dollars USA per day. The ship's crew of 7 people receives on average 1100 dollars USA per day. Crew food is 95 dollars USA per day. Thus, the cost of the passage during the period under consideration is 235 095 dollars USA and will fluctuate depending on the specific conditions of the route and its activities.

The matrix of situational management of transportation and information support for transportation technologies is presented in Table 1.

Table 1 - Matrix of transportation of the vessel FUNDATAL (IMO 996 2988)

The current situation	Optimization parameters						
	loading of the vessel, t	delivery time, days	transition speed, knots	load on main engine, %	fuel consumption, t/day	deviation from route, miles	cost of transportation, thousand dollars USA
S ₀	3650	19	10	75	3,5	200	220
S ₁	3420	19	10	80	3,6	300	221
S ₂	3650	19	10	70	3,4	250	218
S ₃	2555	19	11	70	3,5	150	221
S ₄	2555	19	11	85	4,1	350	231
S ₅	2400	20	10	70	3,6	400	229
S ₆	2220	20	10	70	4,1	350	239
S ₇	2372	20	10	65	5,0	500	256
S ₈	2485	19	11	60	4,1	200	231
S ₉	2015	20	11	55	3,6	200	229
S ₁₀	1825	19	12	50	3,5	300	220

Table 1 examines specific situations of sea transport of a merchant vessel FUNDATAL (IMO 996 2988). At the same time, in practice, their complex manifestations are observed, hidden by possible interactions and uncertainties.

Situation S₀ is characterized by parameters for optimizing input information.

Situation S₁ is characterized by a slight decrease in loading compared to S₀ and a route duration of 19 days, but at the same time, additional uncertain characteristics of transportation appear, associated with the deviation of the route for accompanying cargo, which is reflected in the cost of transportation at 222 thousand dollars USA and in forcing the main engine to 80% with a fuel consumption of 3,6 tons/miles to meet delivery deadlines.

Situation S₂ is characterized by a slight tailwind. In this case, it is possible to reduce the load on the main engine to 70%, thereby reducing fuel consumption to 3,4 tons/day. The remaining transition parameters relative to the values specified in the input information remain unchanged.

Situation S₃ is characterized by the fact that the cargo is transported below the permissible mark. The transportation conditions are normal. Taking into account favorable weather conditions, it is possible to increase the speed to 11 knots, reducing fuel consumption to 3.5 tons/day and arrive at the destination port on time.

Situation S₄ is characterized by a decrease in the tonnage of the cargo being transported, which has a favorable effect on the operational parameters of the vessel, but at the same time, strong head currents are observed on some sections of the route and storms and hurricanes are expected. This forces us to increase the speed of passage of sections with normal functioning of

the vessel parameters to 11 knots in order to compensate for difficult sections of the passage and reach the planned estimated arrival time of 19 days.

Situation S_5 is characterized by an incomplete load of 2400 tons, which requires an additional call at other ports for accompanying cargo, an increase in the deviation from the route to 400 miles and an increase in the delivery time to 20 days.

Situation S_6 is characterized by normal parameters for the passage of cargo to the destination, however, on the section of passage through the locks, forced delays are possible due to their low throughput, possible collisions and damage to equipment. Excluding this section from the route requires an increase in such an indicator as a deviation from the route to 350 miles. At the same time, fuel consumption increases, the delivery time to 20 days and the total cost of transportation increases to 240 thousand dollars USA.

Situation S_7 is characterized by the fact that it differs little from situation S_6 . The difference consists in a slight increase in the volume of cargo transportation, an increase in deviations from the route for accompanying cargo to 500 miles and a decrease in the load on the main engine to 65%. Situation S_8 is characterized by the possibility of increasing the total volume of cargo transported to 2485 tons, which is achieved by increasing the load on the main engine to 60% and increasing the speed of passage to 11 knots, despite some deviations from the route for accompanying cargo of 200 miles. The cost of transportation is 220 thousand dollars USA.

Situation S_9 is characterized by the stability of the load on the main engine of 55% of the maximum, low fuel consumption of 3.6 tons per day and some increase in the delivery speed to 11 knots, which, with a deviation from the route of 200 miles, is achieved by increasing the intensity of the equipment used and maximizing operational factors.

Situation S_{10} is characterized by a change in the direction of the vessel's movement to exclude ballast passages and an increase in deviation from the route while maintaining the planned delivery times of goods. A tailwind during the crossing with a low load on the main engine of 50% of the maximum value in total ensures fuel consumption at minimum values, i.e. 3.5 tons/day.

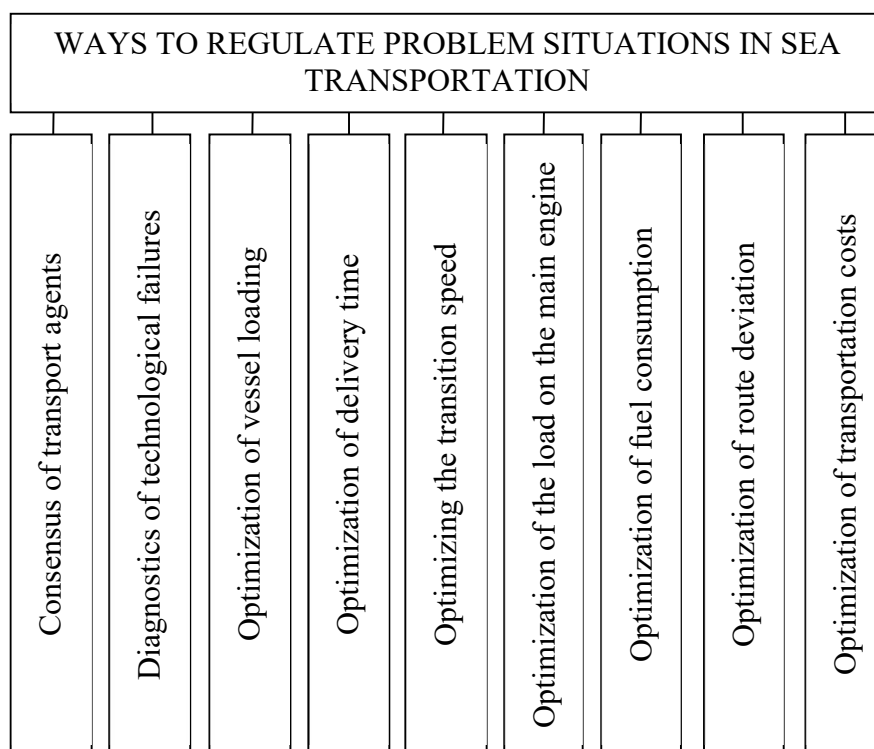


Figure 1 — Methods of regulating problematic situations in maritime transport

The considered situations of sea transport transportation can be characterized by the states of stability of the functioning of transport objects, variable states caused by changes, adjustment and change of operational parameters and new transformation states as a reaction to external

disturbances. Since here there is a complex influence of various factors on various parameters of sea transport transportation with varying degrees of focus, the only most rational way to solve such weakly structured and poorly formalized problems is multi-criteria optimization [2, 3]. Difficulties in determining the values of the parameters of optimization of transport transportation lie in their situational interaction when developing strategies for responding to disturbing effects. The structuring of the main states and solutions for regulating problem situations, compiled on the basis of the work performed, is presented in Fig. 1.

Conclusions. The considered practical situations of passing a real route allowed us to establish the influence of external disturbances on the controlled operational parameters of the vessel and to develop practical recommendations for responding to uncertainty states in the implementation of transportation. It was established that the most rational way to solve transportation problems under uncertainty is multi-criteria optimization. The prospects of the integrated use of management methods under uncertainty and situational management in the current situation are shown. The presented information on the situations of passing a route under external disturbances and internal capabilities of the transport system can be used as data analytics for optimizing traffic flows.

REFERENCES

1. Sharko O., Buketov A., Klevtsov K., Sapronov O., Akimov O. Modeling of transport and logistics schemes of freight transportation under global risks. Problems of friction and wear. 2023, №3 (100), PP.94–105.
2. Sharko O., Yanenko A. Structuring the main directions of research to value the excess resource of transport structures and materials. Advances in mechanical engineering and transport. 2024, №1(22), PP. 47–54.
3. Sharko O., Stepanchikov D., Sharko A., Yanenko A., Movchan P. Application of multicriteria analysis in the study of thermodynamic processes in ship repair and transport infrastructure. Scientific bulletin Kherson State Maritime Academy. 2024, № 1 (28), PP.117–133.

**СЕКЦІЯ:
ТРЕНАЖЕРНІ СИСТЕМИ ТА ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР
НА ТРАНСПОРТІ**

**SECTION:
SIMULATOR SYSTEMS AND HUMAN FACTOR IN TRANSPORT**

ВІРТУАЛЬНИЙ ТРЕНАЖЕРНИЙ СИМУЛЯТОР ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Гузь А.М.

Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. На сьогоднішній день віртуальні технології стрімко розвиваються, що сприяє активному формуванню нових напрямів їх застосування. Однією з галузей, де ці технології набувають особливого значення, є транспортна сфера. В умовах сучасної професійної підготовки спостерігається низка викликів, пов'язаних із формуванням компетентностей майбутніх фахівців морського транспорту. Зокрема, обмежене практичне застосування теоретичних знань ускладнює процес їх засвоєння, оскільки відсутність реального досвіду перешкоджає ефективному перенесенню абстрактних понять у практичну діяльність. На жаль, істотного зменшення складової людського фактору в останній статистиці стану безпеки судноплавства та аварійності на морському транспорті не відбувається. Розглянемо статистику стану безпеки судноплавства та аварійності на морському транспорті в Україні (у тому числі і за її межами, але із українськими суднами), включаючи маломірні (малі) судна, за січень — грудень 2024 року. За результатами проведених розслідувань аварійних подій, що трапилися протягом 2024 року, встановлено, що причинами їх виникнення були [1]:

1) організаційні причини — 4 випадки (34%) (порушення вимог відповідних Правил плавання, Обов'язкових постанов по морським портам щодо неналежної організації несення вахтової служби на ходовому містку для забезпечення безаварійного плавання судна, а також визначення належного технічного і морехідного стану баржі під час її прийому-передачі від головного судна каравану до підмінної команди з обслуговування несамохідного флоту), тоді як у 2023 року — 11 випадків (39%);

2) технічні причини — 5 випадків (42%) (неналежна організація виконання правил технічного обслуговування рульового та якірного пристрою судна, а також експлуатації головних двигунів, зокрема відсутність контролю за станом паливних і масляних фільтрів та їх вчасною заміною відповідно до плану технічного обслуговування або раніше через незадовільний (засмічений) стан паливних та масляних фільтрів, використання), проти 13 випадків (47%) протягом 2023 року;

3) навігаційні причини — 2 випадки (16%) (здійснення навалу на інші судна, що стоять біля причалу, неврахування безпечної дистанції та невиконання відповідного маневру для запобігання навалу/зіткненню, зокрема під час здійснення маневрів по швартуванню/відшвартуванню суден до/від причалів, постановці на якір тощо), проти 4 випадків (14%) протягом січня-червня у 2023 році;

4) психофізіологічні — 1 випадок (8%) (неадекватна поведінка моряка-кухара, його особиста необережність, збуджений стан та психологічний розлад, пов'язаний, можливо, з напруженістю трудового процесу, психоемоційними причинами, пов'язаними, зокрема, зі складною ситуацією в Україні через запроваджений воєнний стан тощо, що призвело до залишення судна моряком-кухарем в морі (падіння за борт), у 2023 році такі випадки відсутні.

Європейське агентство морської безпеки опублікувало свій Щорічний огляд морських аварій та інцидентів за 2024 рік, в якому представлені статистичні дані про морські аварії та інциденти за період з 1 січня 2014 року по 31 грудня 2023 року, надані державами-членами ЄС. Людський фактор у морських аваріях з 2014 по 2023 рік [2]:

- 58,4% нещасних випадків були пов'язані з діями людини, та
- 49,8% факторів, що впливають на події, були пов'язані з людською поведінкою.

У сукупності, людський фактор становив 80,1% розслідуваних нещасних випадків та інцидентів. Щодо сфери «Людський фактор», 43,2% рекомендацій щодо безпеки та

вжитих заходів містяться в підкатегорії «навчання, навички та досвід».

Така невтішна статистика змушує шукати нові методи підвищення якості практичної підготовки фахівців морського транспорту.

Актуальність дослідження. Одним із чинників, що зумовлює інтеграцію технологій віртуальної реальності (VR) у процес підготовки фахівців морського транспорту, є обмеженість та недостатня ефективність традиційних методів навчання, які можуть дати лише певний позитивний ефект, оскільки не можливо відтворити в межах навчального кабінету або навіть на території тренажерного полігону більшість можливих сценаріїв аварійних ситуацій на судні так, щоб таке навчання було абсолютно безризиковим. Таким чином, здобувач освіти може не набути достатньої готовності до професійної діяльності, до непередбачуваності та потенційної небезпеки моря, оскільки йому не вистачає досвіду та практичних навичок. Віртуальна реальність, в свою чергу, має революційні перспективи впливу на набуття практичних навичок у морській освіті.

Постановка задачі. Віртуальні тренажерні симулятори дозволяють змогу проводити тренування, подібні до практичних занять на судні, знижуючи ризики і надаючи інтерактивний досвід, а також значно підвищити мотивацію і залученість, наприклад, у сфері навчання техніки безпеки. Задачі дослідження складаються у визначенні ефективності віртуальної тренажерної підготовки та викликів, пов'язаних з реалізацією застосування віртуального тренажерного симулятора як інструменту підвищення якості практичної підготовки майбутніх фахівців морського транспорту.

Результати дослідження. Дослідження проводилося в групах курсантів першого курсу Херсонської державної морської академії, носить експлоративний характер і спрямоване на виявлення потенціалу використання віртуального тренажерного симулятора, на якому відпрацьовуються практичні навички, пов'язані з виконанням аварійних процедур і технікою безпеки на судні. У дослідженні використовувалися 8 комплектів VR-гарнітур, сумісних комп'ютерів з моніторами для дублювання зображення з 3-D окулярів та програмна платформа, яка моделює реалістичні умови судна та морського середовища. Виконувалися наступні завдання:

- евакуація з судна — тренування спуску рятувальної шлюпки в умовах надзвичайних ситуацій.
- обробка аварійних ситуацій — пожежогасіння, усунення несправностей, реагування на технічні збої.
- робота з обладнанням — ремонт, обслуговування та огляд обладнання на судні.
- комунікації та командна робота — взаємодія в командних сценаріях, управління кризовими ситуаціями.
- навчання систем безпеки — використання рятувальних засобів, навігаційних і комунікаційних систем.

Ці навички вимагають високої точності та повторюваності, що VR-тренажерний симулятор забезпечує в безпечних умовах.

Технологія віртуальної реальності, що використовувалася в морській підготовці під час дослідження, дала змогу створювати реалістичні симуляції, в яких кожна деталь, від диму, який ускладнює орієнтацію при пересуванні, до шуму працюючого обладнання в машинному відділенні судна, ретельно відтворена. Цей реалізм гарантує, що майбутні фахівці можуть сприймати і взаємодіяти з навколишнім середовищем у режимі реального часу, ухвалюючи рішення і реагуючи на ситуації так, як їм це потрібно буде робити на борту судна. Цей рівень занурення сприяє формуванню м'язової пам'яті та поглибленню розуміння робочих процедур, роблячи процес навчання більш ефективним і результативним. Про вищевказане свідчать результати опитування у формі анкетування наприкінці проходження курсів на віртуальному тренажерному симуляторі.

Опитування щодо ставлення майбутніх фахівців морського транспорту до навчання на основі віртуальної реальності мало наступні тези (кожна тезу можна було оцінити за 5-ступеневою шкалою: Повністю не згоден/Згоден/Важко відповісти/Згоден/Повністю

згоден):

1. Навчання через середовище віртуальної реальності зручно;
2. Середовище віртуальної реальності дозволяє мені контролювати темп мого навчання;
3. Я буду рекомендувати використання віртуальної реальності в освіті;
4. Можливості навчання, які надає VR, здаються мені кращими, ніж інші звичайні методи навчання, які я знаю;
5. Мені подобається заняття у VR-середовищі;
6. Я обов'язково запишуся на ще один VR-курс в наступному навчальному році;
7. Я віддаю перевагу VR-курсам перед традиційним навчанням (діалог з викладачем, використання PowerPoint презентації тощо);
8. Навчання у віртуальній реальності допомагає мені запам'ятовувати більше інформації, ніж традиційне навчання;
9. Технологія навчання на основі VR робить курс більш цікавим;
10. Я хочу, щоб віртуальну реальність використовували і при викладанні інших освітніх компонент;
11. Використання VR робить мене більш сконцентрованим на занятті;
12. Використовувати технологію VR легко.

Висновки. Незважаючи на те, що дослідження надає лише результат обмеженого обсягу вибірки, воно дозволяє говорити про загальні висновки, які потребують подальшого вивчення, але попередньо можна констатувати наступне:

Впровадження VR через використання віртуального тренажерного симулятора в морській освіті може бути виправданим у довгостроковій перспективі. Хоча початкові витрати на придбання VR-систем і обладнання все ще досить високі, вони компенсуються за рахунок:

- зниження витрат на тренування, оскільки багато практичних занять можна проводити у віртуальному середовищі;
- підвищення безпеки, що скорочує ризики і можливі збитки через помилки через недостатню практику;
- масштабованості навчання — один раз створену програму віртуального тренажерного симулятора можна використовувати для навчання більшої кількості майбутніх фахівців морського транспорту;
- Прискорення процесу навчання, що знижує загальний час підготовки фахівців;
- Абсолютна більшість позитивних відгуків від курсантів (93%, або 26 з 28 учасників анкетування), які пройшли тренування на віртуальному тренажерному симуляторі.

Загалом, використання VR може підвищити ефективність навчання, особливо за великої кількості складних тренувань, які вимагають високого рівня техніки безпеки в реальному середовищі.

Незважаючи на наявні переваги інтеграції віртуального тренажерного симулятора в професійну підготовку майбутніх фахівців морського транспорту, додаткових досліджень потребують проблеми та виклики провадження VR технологій, серед яких високі початкові витрати, технічні обмеження, проблеми адаптації, обмеження тактильних відчуттів, навчання викладачів тощо. Ці обмеження вимагають комплексного підходу та балансу між віртуальними та реальними тренуваннями.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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 січень — грудень 2024 року з наростаючим підсумком. URL: <https://marad.gov.ua/ua/diyalnist/stan-avarijnosti-ta-bezpeki-sudnoplavstva-na-vodnomu-transporti> (дата звернення 24.04.2025).
2. Щорічний огляд морських аварій та інцидентів за 2024 рік. URL:

<https://safety4sea.com/emsa-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2024/> (дата звернення 26.04.2025).

3. Buenaobra, N, Dela Cerna Jr. Impact of Virtual Reality in Maritime Education and Training: The Case of the Maritime Academy of Asia and the Pacific. The International Journal on Open and Distance e-Learning. 2018, Vol. 4, No. 2.

КРИЗА БЕЗПЕКИ НА МОРІ: ДЕТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ АВАРІЇ КОНТЕЙНЕРОВОЗА «DALI» ТА РОЛЬ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ МАШИННОГО ВІДДІЛЕННЯ У ПОПЕРЕДЖЕННІ НАСЛІДКІВ

Іванов А.А., Шпілєвая Т.М.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Морські перевезення залишаються основою глобальної торгівлі, забезпечуючи транспортування 90% світових вантажів. Однак зростання інтенсивності судноплавства та складність сучасних суден підвищують ризики аварій. Інцидент із контейнеровозом «Dali» у Балтиморі в 2024 році став прикладом того, як технічні збої в поєднанні з недостатньою підготовкою екіпажу можуть призвести до катастрофічних наслідків. Ця публікація детально аналізує аварію «Dali», акцентуючи на причинах знеструмлення, діях екіпажу та необхідності посиленої тренажерної підготовки персоналу машинного відділення для відпрацювання навичок реагування на аварійні ситуації. Окремо розглядаються сучасні технології попередження аварій із зазначенням їхніх переваг і недоліків.

Актуальність досліджень. Аварії на морі часто є результатом поєднання технічного збою, людського фактору та зовнішніх умов. Звіт ІМО (2024) вказує, що 80% морських інцидентів пов'язані з помилками екіпажу, зокрема через недостатню підготовку до дій в умовах аварій, таких як втрата електроенергії. Інцидент із «Dali» підкреслив критичну потребу в якісній підготовці персоналу машинного відділення, адже знеструмлення судна може паралізувати навігацію та рушійні системи, створюючи загрозу зіткнень, посадки на мілину чи екологічних катастроф. Тренажерна підготовка, зокрема вправи на симуляторах машинного відділення, є ключовим інструментом для формування навичок швидкого та ефективного реагування.

Постановка задачі. Аналіз аварії контейнеровоза «Dali». 26 березня 2024 року контейнеровоз «Dali» (довжина 300 м, вантажопідйомність 10,000 TEU) втратив електроживлення під час виходу з порту Балтимора, що призвело до зіткнення з мостом Френсіса Скотта Кі. За даними звіту Національної ради з безпеки на транспорті (NTSB, 2024), аварія сталася через послідовність подій:

1. Технічний збій — несправність у головній енергосистемі викликала перше знеструмлення. Екіпаж частково відновив живлення, але через кілька хвилин стався другий збій, імовірно через перевантаження генераторів або коротке замикання.

2. Втрата керованості — без електроенергії припинили роботу рушійні системи та стернове управління, що унеможливило маневрування в обмеженому просторі каналу.

3. Людський фактор — екіпаж не зміг оперативно активувати резервні системи або скоординувати дії з береговими службами. Звіт NTSB вказує на затримку в ручному перемиканні на аварійний генератор (понад 60 секунд) і недостатню підготовку до таких сценаріїв.

4. Наслідки — зіткнення спричинило обвал мосту, загибель 6 осіб, економічні збитки на суму \$1,5 млрд і тимчасове припинення роботи порту Балтимора. [1]

Цей інцидент виявив системні проблеми:

- недостатня надійність енергосистем: суднові генератори не мали достатньої надмірності для критичних ситуацій.
- Низька готовність екіпажу: персонал машинного відділення не був належно підготовлений до швидкого усунення знеструмлення.
- Відсутність автоматизації: судно не мало сучасних систем автоматичного перемикання на резервне живлення, що могло б скоротити час реакції.

Аварія «Dali» стала прикладом того, як критична залежність судна від електроенергії вимагає не лише технічного вдосконалення, а й посиленої підготовки екіпажу до дій в екстремальних умовах.

Результати досліджень. Для запобігання подібним інцидентам ключову роль відіграє підготовка персоналу машинного відділення на симуляторах, зокрема через вправу Engine Room Simulator Exercise (ERS), реалізовану на таких платформах, як Kongsberg Digital K-Sim Engine або Wärtsilä NTPro 5000. Ці тренажери відтворюють реальні умови машинного відділення, моделюючи аварійні ситуації, такі як знеструмлення, відмова генераторів чи паливних систем.[3]

Детальний опис Engine Room Simulator Exercise

Мета вправи: формування навичок діагностики, ізоляції та усунення несправностей енергосистем у критичних ситуаціях, зокрема під час «blackout» (повної втрати електроенергії).

Структура вправи:

1. сценарій: моделюється збій головного генератора через коротке замикання або перевантаження. Судно втрачає живлення рушійних систем, стерна та навігаційного обладнання.
2. Завдання екіпажу:
 - виявити причину збою (аналіз показників панелі управління, перевірка ланцюгів).
 - Ізолювати несправний компонент (наприклад, відключити пошкоджений генератор).
 - Активувати резервний генератор або аварійну систему (за 30–60 секунд).
 - Відновити роботу критичних систем (рушії, стерно, зв'язок).
3. Умови: вправи проводяться в умовах стресу (шум, вібрація, таймер), що імітують реальну аварійну ситуацію.
4. Тривалість: одна сесія триває 20–30 хвилин, повторюється 5–10 разів для закріплення навичок.

Технологічна база:

Kongsberg K-Sim Engine

Опис: 3D-симулятор із точною моделлю машинного відділення, включаючи двигуни MAN B&W, генератори та системи управління. Підтримує до 50 сценаріїв аварій.

Переваги: реалістичність (95% відповідності реальним умовам), інтеграція з навігаційними тренажерами для комплексних вправ.

Недоліки: висока ціна (\$1–2 млн за комплекс), потреба в кваліфікованих інструкторах [2].

Wärtsilä NTPro 5000

Опис: симулятор із підтримкою хмарних технологій, що дозволяє дистанційне навчання. Цей симулятор моделює сучасні LNG-двигуни та гібридні системи.

Переваги: гнучкість, надає можливість навчання онлайн, нижча вартість (\$500,000+).

Недоліки: менш деталізована візуалізація порівняно з Kongsberg; обмеження в складних сценаріях.

Результати підготовки:

- швидкість реакції: після 10 сесій час відновлення живлення скорочується з 2 хвилин до 30–40 секунд;
- точність дій: помилки при ізоляції несправностей зменшуються на 60%;
- стресостійкість: екіпаж демонструє впевненість у критичних умовах, знижуючи паніку;
- практичний ефект: дослідження Kongsberg (2023) показують, що регулярні тренування знижують імовірність аварій через людський фактор на 25%. [4]

Рекомендації для впровадження:

- включити ERS до обов'язкової програми сертифікації за STCW для офіцерів машинного відділення.
- Проводити тренування 2–3 рази на рік із фокусом на знеструмлення та відновлення систем.
- Інтегрувати тренажери з навігаційними симуляторами для відпрацювання взаємодії між містком і машинним відділенням.
- Розробити спеціалізовані сценарії, що відтворюють аварію «Dali», а саме послідовні збої генераторів та обмежений час реакції.

Огляд сучасних технологій попередження аварій

Для зниження ризиків, подібних до інциденту з «Dali», використовуються такі системи:

1. Системи моніторингу енергосистем

DNV Insight

Опис: платформа для реального часу аналізу роботи генераторів, двигунів і розподільних мереж. Використовує AI для прогнозування збоїв.

Переваги: виявлення аномалій за 5–10 хвилин до критичного збою; зниження витрат на ремонт на 15%.

Недоліки: висока початкова вартість (\$500,000); потреба в навчанні персоналу.

ABB Ability Genix

Опис: хмарна система моніторингу з підтримкою резервного перемикання живлення.

Переваги: автоматизація переходу на аварійний генератор за 10 секунд; інтеграція з ECDIS.

Недоліки: залежність від стабільного зв'язку; складність встановлення на старих суднах.

2. Навігаційні системи ECDIS FURUNO FMD-3200:

Опис: Електронна картографічна система з інтеграцією AIS і радарів.

Переваги: Автоматичне виявлення зон ризику; оновлення карт у реальному часі.

Недоліки: Вразливість до кібератак; 40 годин навчання для екіпажу.

Raytheon Anschütz Synapsis NX:

Опис: Інтегрована платформа для навігації з резервними модулями.

Переваги: Стійкість до збоїв; інтуїтивний інтерфейс.

Недоліки: Висока ціна (\$200,000+); складність ремонту в морі.

3. Аварійний зв'язок GMDSS SAILOR 6000:

Опис: Система для передачі сигналів лиха через супутники та радіо.

Переваги: Надійність у віддалених зонах; швидкість передачі сигналу (10 секунд).

Недоліки: Обмежена пропускна здатність у зонах високого трафіку.

Starlink Maritime

Опис: Супутниковий інтернет для оперативного зв'язку з берегом.

Переваги: Висока швидкість (до 350 Мбіт/с); підтримка відеоконференцій.

Недоліки: Щомісячна підписка (\$5,000); вразливість до погодніх умов.

Порівняння технологій. DNV Insight переважає ABB Genix за точністю прогнозування, але ABB швидше реагує на збої. ECDIS FURUNO є економічнішим, але Synapsis NX надійніший у критичних умовах. GMDSS залишається стандартом для аварій, тоді як Starlink оптимальний для щоденної комунікації.

Реагування на аварії.

Дистанційний моніторинг: Системи, як ABS Nautical Systems, дозволяють береговим службам аналізувати стан судна в реальному часі.

Евакуація: Самонадувні плоти Viking LifeCraft розгортаються за 2 хвилини, але потребують регулярного тестування.

Екологічний захист: Судна-скупбери OSRV локалізують до 90% нафтових розливів за 6 годин.[4]

Висновки. Аварія «Dali» виявила вразливість суден до знеструмлення та недостатню підготовку екіпажу. Вправи на тренажерах, таких як Kongsberg K-Sim Engine, дозволяють відпрацювати швидке відновлення живлення, знижуючи ризик катастроф. Інтеграція систем DNV Insight, ECDIS FURUNO та GMDSS підвищує безпеку, але потребує інвестицій. Посилення стандартів STCW і регулярні тренування є критично необхідними для запобігання подібним інцидентам у майбутньому.[5]

ЛІТЕРАТУРА

1. NTSB. Звіт про аварію контейнеровоза «Dali», 2024.
2. Kongsberg Digital. K-Sim Engine Manual, 2023.
3. DNV. Blackout Prevention Brochure, 2023.
4. Wärtsilä. NTPro 5000 Simulator Guide, 2023.
5. IMO. Human Element in Maritime Accidents, 2024.

DIGITAL PILOTS & DRIVERS: ТРЕНАЖЕРНІ СИСТЕМИ ЯК КЛЮЧ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ЛЮДСЬКОГО ПОТЕНЦІАЛУ НА ТРАНСПОРТІ

Кохан І.Р.

*Харківський автомобільно-дорожній фаховий коледж
(Україна)*

Вступ. Транспортна галузь є ключовою складовою сучасної економіки, забезпечуючи переміщення людей та вантажів. Водночас, вона є джерелом потенційних ризиків, де людський фактор відіграє значну роль у виникненні аварій та інцидентів [2, с. 5]. З розвитком технологій тренажерні системи стали потужним інструментом для підготовки, перепідготовки та оцінки персоналу на різних видах транспорту – від авіації (наприклад, повнопілотажні авіасимулятори CAE) [4, с. 112] та залізниці (симулятори управління локомотивами Transurb) до автомобільного (VR-тренажери Virage Simulation) [3, с. 78] та морського транспорту (морські симулятори Kongsberg Digital). Метою цієї статті є огляд сучасного стану використання цих систем у контексті людського фактору на транспорті. Ми проаналізуємо їхню еволюцію від простих механічних пристроїв до складних інтерактивних комплексів, розглянемо ключові аспекти людського фактору, на які вони спрямовані [5, с. 31], обміняємося думками щодо їхньої ефективності та визначимо перспективні напрями для подальших наукових досліджень у цій важливій сфері.

Сучасні тренажерні системи значно еволюціонували, пропонуючи високий ступінь реалізму та інтерактивності [3, с. 23; 4, с. 215]. Серед основних типів можна виділити:

- симулятори польоту та водіння [4, с. 233]: Ці системи забезпечують імітацію реальних умов керування транспортним засобом. Наприклад, в авіації широко використовуються повнопілотажні авіасимулятори (Full Flight Simulators — FFS), такі як серії CAE 7000XR ([посилання: <https://www.google.com/search?q=https://www.cae.com/civil-aviation/pilot-training/full-flight-simulators/cae-7000xr/>]), які відтворюють кабіну літака з високою точністю, включаючи візуалізацію, звукове супроводження та тактильний зворотний зв'язок. У автомобільній галузі прикладом є симулятори від компанії FAAC Driving Simulator, що використовуються для навчання професійних водіїв.
- Віртуальна реальність (VR) та доповнена реальність (AR) [5, с. 122]: VR- та AR-технології створюють імерсивні навчальні середовища для відпрацювання конкретних процедур та сценаріїв. Наприклад, компанія HTX розробляє VR-тренажери для різних галузей, включаючи підготовку до дій в надзвичайних ситуаціях на транспорті. AR може використовуватися для накладання навчальної інформації на реальне обладнання під час технічного обслуговування (приклад: Score AR).
- Програмні тренажери [3, с. 102]: ці системи надають можливість моделювання різних ситуацій та відпрацювання дій в інтерактивному режимі на комп'ютері. Прикладом є вже згаданий City Car Driving, який хоча і є ігровим продуктом, але використовується і в навчальних цілях для початкової підготовки водіїв. У залізничній галузі існують програмні симулятори, такі як Open Rails, що дозволяють моделювати рух поїздів.
- Комбіновані тренажерні комплекси [5, с. 134]: ці системи інтегрують різні технології для забезпечення комплексного навчання та оцінки. Наприклад, морські навчальні центри можуть використовувати повномасштабні симулятори суднової кабіни, доповнені VR-модулями для відпрацювання окремих процедур (приклад: навчальний центр Maersk Training).

Ці системи широко застосовуються для навчання стандартних операційних процедур, відпрацювання дій в нештатних ситуаціях (наприклад, відмова обладнання, складні погодні умови), розвитку навичок прийняття рішень у критичних ситуаціях та вдосконалення командної роботи, особливо в багаточленних екіпажах.

Людський фактор охоплює широкий спектр аспектів, пов'язаних з можливостями, обмеженнями та характеристиками людини, які впливають на безпеку та ефективність транспортних систем [2, с. 6–7; 5, с. 40]. До ключових аспектів належать:

- когнітивні процеси: увага, сприйняття, пам'ять, прийняття рішень, вирішення проблем. Когнітивні помилки, такі як помилки уваги або неправильна інтерпретація інформації, можуть призвести до небезпечних ситуацій [5, с. 45].
- Фізіологічний стан: втома, стрес, стан здоров'я, вживання алкоголю або наркотичних речовин можуть значно погіршити працездатність оператора транспортного засобу.
- Психологічні фактори: мотивація, емоційний стан, особистісні якості також впливають на поведінку та прийняття рішень.
- Ергономіка: взаємодія людини з робочим середовищем, включаючи дизайн кабіни, інтерфейси управління та інформаційні дисплеї, має бути оптимізована для мінімізації помилок та підвищення комфорту.
- Комунікація та командна робота: особливо важливі в багаточленних екіпажах (наприклад, в авіації або на морському транспорті), де ефективна комунікація є критично важливою для безпеки.

Тренажерні системи надають унікальні можливості для впливу на різні аспекти людського фактору:

- розвиток когнітивних навичок: тренажери дозволяють створювати сценарії, що вимагають від операторів швидкого прийняття рішень, аналізу складних ситуацій та ефективного вирішення проблем. Регулярні тренування можуть покращити увагу, пам'ять та інші когнітивні функції [5, с. 45].
- Управління стресом та втомою: моделювання стресових ситуацій у контрольованому середовищі допомагає навчити операторів зберігати спокій та приймати зважені рішення під тиском. Тренажери також можуть використовуватися для навчання стратегій боротьби з втомою [5, с. 51].
- Покращення ергономіки: тренажерні системи можуть використовуватися для оцінки та оптимізації дизайну інтерфейсів та робочих місць з урахуванням антропометричних та когнітивних особливостей людини [5, с. 60].
- Відпрацювання комунікації та командної роботи: симулятори дозволяють моделювати сценарії, що вимагають ефективної взаємодії між членами екіпажу, відпрацьовувати протоколи обміну інформацією та прийняття спільних рішень [4, с. 312].
- Ідентифікація слабких місць та помилок: тренажерні сесії надають можливість виявити потенційні помилки та слабкі місця в діях операторів без ризику для реальних транспортних засобів та пасажирів [3, с. 150].

Незважаючи на значні переваги, існують певні виклики та питання, що потребують обговорення:

- вартість та доступність: розробка та впровадження високореалістичних тренажерних систем може бути досить дорогим, що обмежує їхню доступність для деяких організацій [3, с. 168].
- Проблема реалізму: забезпечення адекватного рівня реалізму в тренажерних системах є складним завданням. Недостатній рівень імітації може призвести до того, що навички, отримані на тренажері, не будуть повністю переноситися в реальні умови [4, с. 278].
- Оцінка ефективності навчання: необхідні надійні методи оцінки ефективності навчання на тренажерних системах та їхнього впливу на реальну безпеку [5, с. 140].
- Індивідуалізація навчання: адаптація тренажерних програм до індивідуальних потреб та особливостей навчання різних операторів є важливим, але складним завданням [3, с. 160].
- Інтеграція з іншими методами навчання: тренажерні системи повинні бути інтегровані з іншими методами навчання та оцінки для забезпечення комплексного розвитку професійних навичок [4, с. 325].
- Етичні аспекти використання даних: збір та аналіз даних про дії операторів під час тренажерних сесій порушує питання конфіденційності та етики їхнього використання [5, с. 174].

Для подальшого розвитку та ефективного використання тренажерних систем у контексті людського фактору на транспорті необхідні міждисциплінарні дослідження в

таких напрямках:

- Розробка більш реалістичних та доступних тренажерних технологій: використання новітніх досягнень у галузі віртуальної та доповненої реальності, штучного інтелекту та машинного навчання для створення більш імерсивних та адаптивних тренажерних систем [4, с. 382].
- Удосконалення методів оцінки когнітивних та психофізіологічних станів [5, с.185] операторів у тренажерних середовищах: розробка об'єктивних показників для оцінки рівня стресу, втоми, уваги та прийняття рішень під час тренувань.
- Дослідження впливу різних рівнів реалізму тренажерів на перенесення навичок у реальні умови: Визначення оптимального балансу між вартістю, складністю та ефективністю тренажерних систем.
- Розробка індивідуалізованих тренажерних програм на основі аналізу когнітивних профілів та стилів навчання операторів.
- Використання тренажерних систем для прогнозування та запобігання помилкам, пов'язаним з людським фактором, у реальних транспортних системах.
- Дослідження ергономічних аспектів взаємодії людини з новими технологіями в транспорті (наприклад, автономними системами) за допомогою тренажерів [5, с. 190].
- Вивчення впливу командної взаємодії та комунікації в змодельованих сценаріях на ефективність та безпеку транспортних операцій.

Аналіз практичного застосування тренажерних систем у різних транспортних галузях демонструє їхню значущість у підвищенні кваліфікації персоналу та рівня безпеки. Наприклад, в авіації регулярні тренування пілотів на повноцінних авіасимуляторах є обов'язковою вимогою міжнародних стандартів [1,с.233; 4, с.295]. Ці тренування включають відпрацювання дій у критичних ситуаціях, таких як відмова двигуна, складні метеоумови або нештатні режими польоту, що практично неможливо безпечно відтворити в реальних умовах. Згідно зі статистикою, авіація є одним з найбезпечніших видів транспорту, і значну роль у цьому відіграє саме якісна підготовка на тренажерних системах.

У залізничному транспорті тренажери використовуються для навчання машиністів управлінню локомотивами різних серій, відпрацювання дій при відмовах обладнання, проїзді складних ділянок колії та взаємодії з диспетчерським центром. Практика показує, що використання симуляторів дозволяє значно скоротити кількість помилок, пов'язаних з людським фактором, особливо на початкових етапах роботи [3, с. 97].

В автомобільній галузі тренажерні системи набувають все більшого поширення не лише для підготовки професійних водіїв (вантажівок, автобусів, спеціальної техніки), але й для навчання безпечного водіння широкого загалу. Симулятори дозволяють моделювати небезпечні ситуації, такі як ожеледиця, аквапланування або раптові перешкоди, і навчати водіїв правильним реакціям без ризику для себе та оточуючих [3, с. 135].

Однак, на практиці часто виникає проблема недостатнього рівня залученості під час тренувань [3, с. 138]. Якщо сценарії здаються нереалістичними або нудними, ефективність навчання значно знижується. Також важливим є якість інструкторського складу, який повинен вміти не лише керувати тренажером, але й ефективно доносити навчальний матеріал та аналізувати помилки курсантів [4, с. 318].

Одним з перспективних напрямів розвитку тренажерних систем є інтеграція біометричних даних для моніторингу фізіологічного та емоційного стану оператора під час тренування. Датчики серцевого ритму, електродермальної активності, рухів очей можуть надавати цінну інформацію про рівень стресу, втоми, уваги та емоційного стану. Ця інформація може бути використана для адаптації складності тренувальних сценаріїв у реальному часі, надання персоналізованого зворотного зв'язку та виявлення потенційних ризиків, пов'язаних з психофізіологічним станом оператора.

Наприклад, якщо система фіксує підвищений рівень стресу або ознаки втоми, сценарій може бути спрощений або тренування може бути тимчасово призупинено. Зібрані біометричні дані можуть також використовуватися для аналізу реакцій оператора на різні

подразники та розробки більш ефективних стратегій управління стресом та втомою [5, с. 200].

Ще одним інноваційним напрямом є використання штучного інтелекту (ШІ) для створення більш інтелектуальних та адаптивних тренажерних систем. ШІ може аналізувати дії оператора під час тренування, виявляти закономірності в його помилках та пропонувати індивідуалізовані рекомендації щодо покращення навичок. Крім того, ШІ може використовуватися для генерації більш складних та непередбачуваних сценаріїв, що краще імітують реальні умови та вимагають від оператора гнучкості та креативності у прийнятті рішень.

Розробка портативних та доступних тренажерних систем на базі технологій віртуальної та доповненої реальності також є важливим напрямом. Такі системи можуть бути використані для навчання та перепідготовки персоналу без необхідності використання дорогих повномасштабних симуляторів, що особливо актуально для невеликих транспортних компаній або для навчання у віддалених локаціях.

Нарешті, зростає важливість інтеграції тренажерних систем з системами управління безпекою руху (SMS). Дані, отримані під час тренувань, можуть використовуватися для виявлення системних проблем та розробки проактивних заходів щодо запобігання аваріям та інцидентам [1, с.371].

Висновки. Практичний досвід підтверджує значну роль тренажерних систем у підвищенні безпеки на транспорті. Однак для подальшого підвищення їхньої ефективності необхідно враховувати аспекти залученості курсантів та якості інструкторського складу. Впровадження новітніх технологій, таких як біометричні дані та штучний інтелект, відкриває нові можливості для створення більш персоналізованих, адаптивних та ефективних тренажерних систем. Розвиток портативних VR/AR рішень та їхня інтеграція з системами управління безпекою руху також є перспективними напрямками, які можуть зробити навчання на тренажерах більш доступним та результативним. Подальші міждисциплінарні дослідження та активний обмін практичним досвідом є ключем до розробки та впровадження інноваційних тренажерних рішень, які допоможуть мінімізувати вплив людського фактору та зробити транспортні системи ще безпечнішими.

Тренажерні системи є потужним інструментом для підвищення безпеки та ефективності транспортних процесів шляхом мінімізації негативного впливу людського фактору [2, с.10; 5, с.210]. Вони надають унікальні можливості для навчання, оцінки та розвитку ключових навичок операторів у контрольованому та безпечному середовищі. Однак для подальшого прогресу в цій галузі необхідні міждисциплінарні дослідження, спрямовані на розробку більш реалістичних, доступних та ефективних тренажерних технологій, а також на глибоке розуміння взаємозв'язку між тренажерними системами та різними аспектами людського фактору на транспорті. Обмін думками та спільні зусилля науковців, розробників та представників транспортної галузі сприятимуть пошуку нових напрямів і впровадженню інноваційних рішень для забезпечення більш безпечного та надійного майбутнього транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Авіаційні правила України. Частина VI. Льотна експлуатація. Наказ Державної авіаційної служби України від 19.07.2013 № 590. Київ, 2013. 380 с.
2. Березовський, М. Д. Людський фактор у безпеці авіації. Науковий вісник Національного авіаційного університету. Серія: Безпека польотів. 2010. № 17. С. 5–10.
3. Іванов, П. П.; Сидоров, С. С. Тренажерні системи в підготовці водіїв автотранспортних засобів : монографія. Харків : ХНАДУ, 2018. 185 с.
4. European Union Aviation Safety Agency. EASA Aircrew Training Manual. Cologne, Germany: EASA, 2020. 450 p.
5. Людський фактор та ергономіка в транспортних системах : збірник наукових праць / за ред. О. В. Петрова. Київ : Транспорт України, 2023. 210 с.

UDK 656.61.052:621.43

ПІДХОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ФАКТОРУ СУДНОВОДІЯ В ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДНА

Кочубей П.О., Носов П.С.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Сучасний розвиток морського транспорту стикається з викликами та завданнями, серед яких особливе місце займає питання раціонального управління судном. Актуальність цього дослідження полягає у визначенні та аналізі ролі людського фактора у процесах прийняття рішень на судах, особливо під час виконання складних маневрів у непередбачуваних ситуаціях та під час проходження навчально-тренажерної підготовки [1].

Враховуючи глобальні виклики, такі як забезпечення екологічної безпеки та підвищення енергоефективності морського транспорту, потрібні дослідження що мають як теоретичне значення, так і практичну цінність для галузі морських перевезень задля покращення безпеки мореплавства, зниження ризиків аварій та сприянню ефективної експлуатації суднових технічних систем [2].

Основний матеріал дослідження. Розвиток обчислювальних потужностей за останнє десятиліття став каталізатором значних досягнень у галузі комп'ютерного бачення, відкривши нові горизонти для інновацій та автоматизації. Цей прогрес забезпечує трансформацію багатьох сфер, зокрема автомобільної промисловості, медицини, а також низки інших галузей, де технології комп'ютерного зору сприяли підвищенню ефективності, точності та безпеки процесів. У контексті морського транспорту ці досягнення створюють нові можливості для інтеграції передових технологій, що підкреслює важливість подальших досліджень у цьому напрямку для забезпечення його сталого розвитку та підвищення безпеки судноплавства.

Інтеграція комп'ютерного бачення в судноводіння відкриває нові перспективи для більш глибокого аналізу взаємодії штурмана та технічного обладнання містку. Це дозволяє отримати нові дані, які раніше залишалися поза увагою або потребувало використання численних непростих у впровадженні сенсорів, таких як електрокардіографи (ECG) або окуляри для відстеження руху очей, що ускладнювало широкомасштабне застосування таких методів. Використання комп'ютерного бачення усуває ці обмеження, роблячи процес більш практичним і доступним.

Особлива увага приділяється вивченню фізіологічного та психологічного стану морських штурманів, що безпосередньо впливає на їх здатність приймати оптимальні рішення в реальному часі [3]. Перевантаження когнітивної або фізіологічної складової може призводити до помилок у судноводінні, що створює загрозу для безпеки судна, екіпажу та навколишнього середовища. Застосування RGB-камер для моніторингу та аналізу діяльності морських штурманів дозволить ідентифікувати ключові показники, пов'язані з когнітивним станом, поведінковими особливостями та загальною продуктивністю.

Ідентифікація індивідуальних особливостей штурманів, особливо під час навчально-практичної підготовки зокрема тренажерної, їх реакції на зовнішні подразники та впливу стресових факторів є складним і багатоаспектним завданням, яке потребує системного та структурованого підходу [4]. Для забезпечення ефективності дослідження головним завданням роботи є розробка інтелектуальної системи для визначення поточного рівня когнітивного навантаження штурмана на основі аналізу рисунку обличчя, включно з виявленням мікровиразів, що свідчать про емоційний стан, стрес чи втому.

Наразі експеримент проводиться в навчальних лабораторіях Херсонської державної морської академії з використанням навігаційного симулятора *Navi-Trainer Professional*

5000, розробленого компанією Wärtsilä. Цей симулятор повністю відповідає вимогам Міжнародної морської організації (IMO) та Конвенції STCW (Міжнародні стандарти підготовки, дипломування та несення вахти для моряків). Симулятор оснащений трьома моніторами, які відображають елементи навігаційних систем, включаючи основні параметри управління судном, ситуаційну обізнаність та інформацію про судноплавну обстановку (Рис.1).



Рисунок1 — Навігаційний тренажер як експериментальна база

Для збору даних використовується вебкамера Logitech HD Pro Webcam C920, яка розташована на рівні очей штурмана, як показано на зображенні. Камера закріплена так, щоб забезпечити оптимальний кут огляду, дозволяючи фіксувати рухи голови, обличчя та очей під час виконання завдань. Ця позиція камери гарантує, що всі ключові мікровирази та фізіологічні показники будуть захоплені з максимальною точністю.

Для обробки зібраних відеоданих використовується мова програмування Python, яка є стандартом у наукових дослідженнях завдяки своїй універсальності та широкій системі бібліотек. Однією з ключових бібліотек, що застосовується в цьому проєкті, є OpenCV (Open Source Computer Vision Library), яка надає потужні інструменти для роботи із зображеннями та відео. OpenCV використовується для попередньої обробки відео, такої як нормалізація кольорів, видалення шумів та підготовка кадрів до подальшого аналізу. Завдяки інтеграції Python та OpenCV, обробка даних відбувається ефективно та в реальному часі, що забезпечує високу точність аналізу.

Опис експерименту. Експеримент спрямовано на аналіз поведінки штурмана в умовах різного рівня когнітивного навантаження шляхом виконання двох типів завдань: легкого та складного. Легке завдання імітує рутинну роботу в спокійних умовах, коли погода без хвиль і вітру, навігаційна обстановка характеризується мінімальним рухом, а курсанти підтримують заданий курс і швидкість без необхідності виконання складних маневрів. Цей сценарій створює умови з мінімальним когнітивним навантаженням, що дозволяє оцінити базовий стан штурмана. Складні завдання, навпаки, представляють ситуації, що вимагають більшої уваги та швидкого прийняття рішень. Курсанти стикаються з несприятливими погодними умовами, такими як поривчастий вітер та помірні хвилі, а також інтенсивним рухом суден у вузькій протоці, наприкладі Босфор. Вони повинні реагувати на аварійні сигнали, виконувати маневри для уникнення зіткнень та вирішувати проблеми з навігаційним обладнанням. Такі сценарії моделюють високий рівень когнітивного навантаження, характерного для реальних умов судноводіння.

Аналіз та обробка відеоряду. Аналіз відеоданих починається з обробки кожного

кадру для визначення зон інтересу, таких зон обличчя як очі, рот і положення голови. Для цього використовується MobileNetV2 [5], згортна нейронна мережа імплементована в бібліотеці MediaPipe [6] яка забезпечує швидке і точне виявлення ділянок обличчя у кадрах відео.

На основі ключових точок обличчя, визначених за допомогою MediaPipe, розраховуються три основні метрики: EAR (Eye Aspect Ratio), LAR (Lip Aspect Ratio) і Head Yaw [7–9]. EAR використовується для моніторингу частоти моргання, що є важливим показником втоми, а LAR аналізує зміни положення губ, які сигналізують про стрес або емоційний стан. Метрика Head Yaw оцінює поворот голови штурмана вліво чи вправо, що дозволяє зрозуміти, на який монітор він спрямовує свою увагу під час виконання завдань. Ці метрики слугують додатковими входними даними для згорткової нейронної мережі (CNN), яка також фіксує просторові ознаки з кожного кадру відеоряду.

Було використано комбінований підхід: застосування CNN та мануально пораховані метрики, виходячи із гіпотези, що такий підхід дасть об'єктивні результати, бо саме ці метрики є критичними у визначенні когнітивного стану судноводія у режимі реального часу. Схему обробки даних представлено на Рисунку 2.



Рисунок 2 — Схема аналізу ідентифікаторів по даним відеоряду

Мануальні метрики

EAR (Eye Aspect Ratio) використовується для аналізу частоти моргання, яка є індикатором втоми. EAR розраховується за формулою (1):

$$EAR = \frac{\|p_2 - p_6\| + \|p_3 - p_5\|}{2 \cdot \|p_1 - p_4\|}, \quad (1)$$

де p_1 - p_6 — ключові точки на вколо очей (Рис. 3).

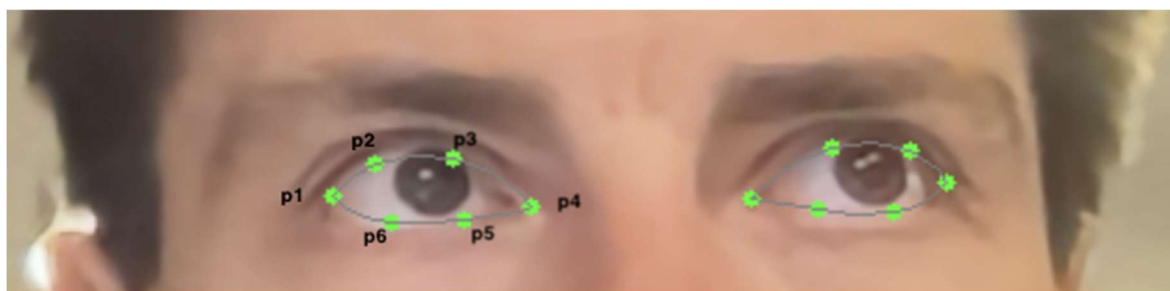


Рисунок 3 — Автоматизована ідентифікація контуру очей судноводія

LAR (Lip Aspect Ratio) дозволяє оцінювати емоційний стан через зміну положення губ (Рис. 4) (2):

$$LAR = \frac{\|q_2 - q_8\|}{q_1 - q_4}, \quad (2)$$

q_1, q_2, q_4, q_8 — ключові точки навколо губ.

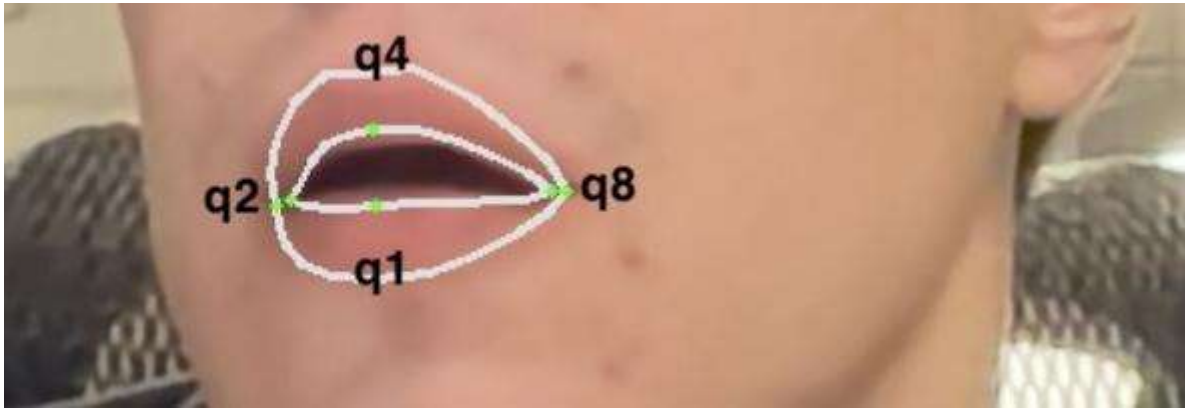


Рисунок 4 — Автоматизована ідентифікація контуру рота

Head Yaw (Кут повороту голови) θ визначається за допомогою ключових точок обличчя (очі, кінчик носа) (Рис. 5), як (3):

$$\theta = \arctan 2(\text{nose\_vector}_x, \text{horizontal\_vector}_x) \cdot \frac{180}{\pi}. \quad (3)$$

Горизонтальний вектор (4):

$$\text{horizontal\_vector} = \begin{bmatrix} \text{righth\_eye}_x - \text{left\_eye}_x \\ \text{righth\_eye}_y - \text{left\_eye}_y \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Вектор носу (5):

$$\text{nose\_vector} = \begin{bmatrix} \text{nose\_tip}_x - \text{eye\_midpoint}_x \\ \text{nose\_tip}_y - \text{eye\_midpoint}_y \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Середня точка між очима (6):

$$\text{eye\_midpoint} = \frac{\text{left\_eye} + \text{right\_eye}}{2}. \quad (6)$$

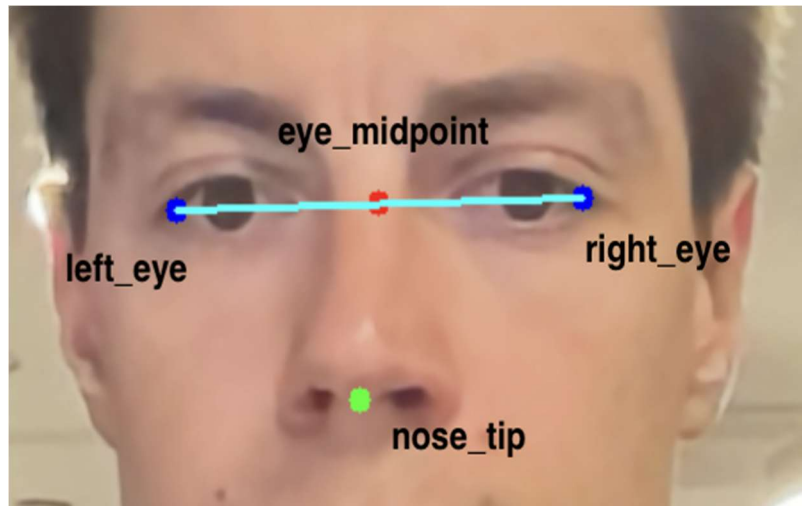


Рисунок 5 — Процес CNN-фіксування просторових ознак

У рамках дослідження, CNN використовуються для визначення просторових ознак із відеокадрів. Основною операцією в CNN є згортка, яка дозволяє виділяти ключові аспекти зображення, такі як межі, текстури та форми [10]. Схематична робота згортної мережі позначена на Рисунку 6.

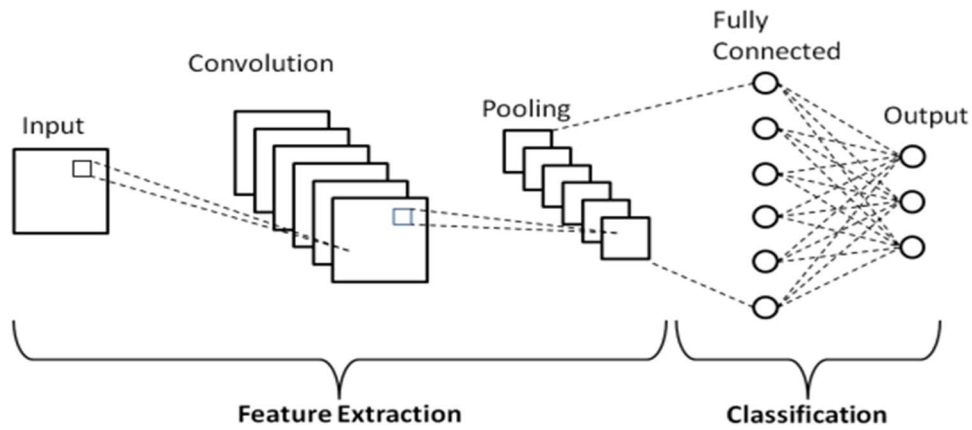


Рисунок 6 — Схема роботи CNN

Згортка (Convolution) обчислює вихідний тензор ознак F за допомогою ядра згортки (Kernel) [11] та вхідного зображення I (Input) (Рис. 7) (7):

$$F(i, j) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N K(m, n) \cdot I(i + m, j + n), \quad (7)$$

де $I(i + m, j + n)$ - пікселі сусідньої області вхідного зображення,
 $K(m, n)$ — ядро згортки,
 $F(i, j)$ — значення виходу (Output) для точки (i, j) .

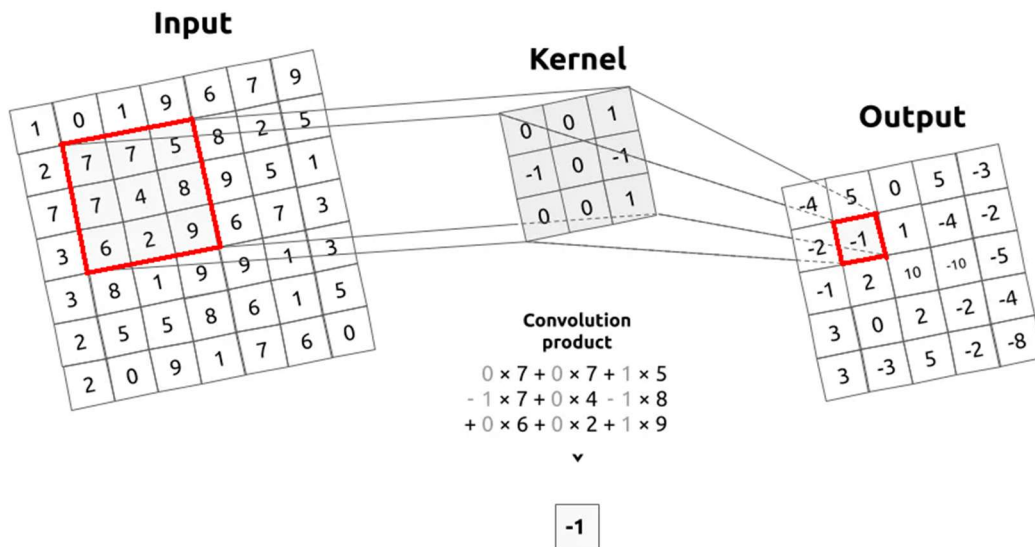


Рисунок 7 — Принцип роботи згортної мережі

Після згортки значення пропускаються через функцію активації ReLU, яка робить модель нелінійною. Це необхідно, щоб мережа могла моделювати складні залежності. В нашому випадку це складні вирази обличчя які можуть свідчити про втому або напругу: підняті щок, опущені кінчики губ, тощо (8).

$$\text{ReLU}(x) = \max(0, x). \quad (8)$$

Наступний крок це Пулінг (Pooling Layer), що використовується для зменшення розмірності ознак тензора, зберігаючи найбільш релевантну інформацію. Найпоширеніший варіант — max-pooling:

Max-pooling вибирає найбільше значення в кожній області, зменшуючи розмір даних, підвищуючи стійкість до зсувів і скорочуючи обчислювальні витрати (9).

$$P(i, j) = \max_{m, n \in k} F(i + m, j + n). \quad (9)$$

Останнім кроком є Шари Об'єднання (Fully Connected Layers). Після кількох згорткових і пулінгових шарів результат (тензор ознак) перетворюється у вектор фіксованої довжини. Цей вектор передається через Fully Connected Layers, які виконують фінальну класифікацію (10):

$$y = W \cdot x + b, \quad (10)$$

де x — вектор ознак,
 W — матриця ваг,
 b — вектор зміщення,
 y — вихідний вектор.

Навчання відбувається шляхом оптимізації параметрів (ваг і зсувів) у всіх шарах за допомогою алгоритмів, таких як градієнтний спуск, а функція витрат визначає наскільки точним є передбачення моделі (11):

$$L = - \sum_{i=1}^N y_i \log(\hat{y}_i), \quad (11)$$

де N — кількість класів,
 y_i — справжня мітка,
 $\hat{y}_i$ — ймовірність, передбачена моделлю для класу i .

Поєднання CNN для аналізу відеокادрів із вручну розрахованими метриками дозволяє створити багатовимірний підхід до аналізу когнітивного стану штурмана. Модель класифікує завдання, яке виконує судноводій, на легке або складне, спираючись на комбінацію просторових ознак із відео та ключових метрик, таких як EAR, LAR і Head Yaw.

Такий метод забезпечує точну оцінку стану штурмана в реальному часі, дозволяючи ідентифікувати рівень складності виконуваних завдань. Це створює потенціал для адаптивного управління робочим навантаженням штурмана, сприяючи підвищенню безпеки та ефективності судноводіння. А також створення алгоритмів прогнозування рівня втоми та готовності до виконання професійних обов'язків, що базуються на аналізі фізіологічних і поведінкових показників, отриманих у реальному часі.

Висновок. Отже, в рамках дослідження було запропоновано систему моніторингу виконання навігаційних завдань у реальному часі шляхом аналізу положення тіла оператора-судноводія, жестів та рухів у просторі для оцінки рівня залучення та його когнітивного навантаження.

У подальшій роботі планується розробка мультиагентної ергатичної системи, здатної одночасно ідентифікувати просторові фізіологічні прояви кількох штурманів одночасно, оцінювати їх когнітивний стан та передбачати рівень втоми, що є особливо важливим у контексті командної роботи навігаційної вахти.

Ці етапи можуть стати першою ланкою до розробки універсальної моделі ефективних дій оператора-судноводія, яка сприятиме ідентифікації оптимальних рішень і запобіганню негативним проявам фактору людини.

Запропоновані підходи можуть покращити процес тренажерної підготовки курсантів і делегатів судноплавних компаній.

REFERENCES

1. Nosov P. S., Palamarchuk I.V., Safonov M.S., Novikov V.I. Modeling the manifestations of the human factor of the Maritime crew // Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipro) № 5 (77). — 2018. Pages 82-92. <https://doi.org/10.15802/stp2018/147937>.
2. Zinchenko, S., Kobets, V., Tovstokoryi, O., Nosov, P., & Popovych, I. (2023). Intelligent System Control of the Vessel Executive Devices Redundant Structure. In CEUR Workshop

Proceedings (Vol. 3403, Paper 44, pp. 582-594). CEUR-WS.org.

3. Zinchenko S.M., Nosov P.S., Popovych I.S. Control redundancy as a quantitative measure of maneuverability // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2021. № 3(21). С. 23-35.

4. Носов П.С., Тонконогий В.М., Яковенко О.Є. Застосування адаптивних функцій для впливу на модель знань студента // Тр. Одес. політехн. ун-та. Одеса: ОНПУ. Вып.1(25). 2006.— С. 118–122.

5. Sandler, Mark, et al. «MobilenetV2: Inverted residuals and linear bottlenecks». Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2018. <https://arxiv.org/abs/1801.04381>.

6. Lugaresi, Camillo, et al. «Mediapipe: A framework for building perception pipelines» preprint arXiv:1906.08172 (2019). <https://arxiv.org/abs/1906.08172>.

7. Saeed, Anwar & Al-Hamadi, Ayoub & Ghoneim, Ahmed. (2015) Head Pose Estimation on Top of Haar-Like Face Detection: A Study Using the Kinect Sensor. Sensors (Basel, Switzerland). 15. 20945-20966. DOI: 10.3390/s150920945 <https://www.researchgate.net/publication/281587953>

8. Mehta, Sukrit, et al. (2019) «Real-time driver drowsiness detection system using eye aspect ratio and eye closure ratio». Proceedings of international conference on sustainable computing in science, technology and management (SUSCOM), Amity University Rajasthan, Jaipur-India.

9. Sri Mounika, T. V. N. S. R., et al. (2022) «Driver drowsiness detection using eye aspect ratio (EAR), mouth aspect ratio (MAR), and driver distraction using head pose estimation». ICT Systems and Sustainability: Proceedings of ICT4SD 2021, Volume 1. Springer Singapore.

10. Pollák, Martin & Gabštur, Peter & Kočíško, Marek. (2024). Prediction of Errors in the Field of Additive Manufacturing Technology. TEM Journal. 849-855. DOI:10.18421/TEM132-01.

11. Canny Edge Detection from Scratch with Pytorch in Python URL: https://www.codespeedy.com/canny-edge-detection-from-scratch-with-pytorch-in-python/#google_vignette

НАВЧАЛЬНИЙ ТРЕНАЖЕР З ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ МПЗЗС–72

Матейчук В.М., Бень А.П., Зінченко С.М., Онишко Д.М.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Безпека світового судноплавства є предметом постійної уваги міжнародної наукової спільноти та регуляторних органів. Інтенсивність руху суден, різноманітність їх типів та мінливість гідрометеорологічних умов створюють потенційні умови до виникнення зіткнень, що можуть мати значні людські, екологічні та економічні наслідки. В умовах глобалізації морських торговельних шляхів, уніфікація стандартів поведінки учасників судноплавства набуває особливої актуальності [1–3].

Фундаментальну роль у забезпеченні безпеки та організації морського руху відіграють Міжнародні правила запобігання зіткненням суден у морі (МПЗЗС–72), або COLREGs. Цей комплексний нормативно-правовий акт, розроблений та адміністрований Міжнародною морською організацією (ІМО), є результатом багаторічних наукових досліджень, практичного досвіду та міжнародної співпраці.

У контексті підготовки висококваліфікованих морських фахівців, всебічна та систематична перевірка знань Міжнародних правил запобігання зіткненням суден у морі (МПЗЗС–72) у здобувачів морських навчальних закладів набуває особливої ваги. Це не просто академічна вимога, а фундаментальна складова формування компетентного та відповідального вахтового офіцера, здатного забезпечити безпеку людського життя, судна, вантажу та морського середовища.

Впровадження спеціалізованих програмних засобів може істотним чином оптимізувати процес навчання та контролю засвоєння фундаментальних знань, необхідних для безпечного несення вахти та запобігання аварійним ситуаціям на морі.

Актуальність дослідження. В епоху стрімкої цифровізації всіх сфер людської діяльності, розроблення сучасного, інтерактивного та ефективного програмного забезпечення для навчання та перевірки знань Міжнародних правил запобігання зіткненням суден у морі (МПЗЗС–72) для здобувачів морських навчальних закладів є надзвичайно актуальним та стратегічно важливим [4–6]. Вивчення основ МПЗЗС–72 потребує розробки спеціалізованих програмних засобів для здійснення тренажерної підготовки судноводіїв. Особливою значущістю така підготовка набуває в контексті навчання фахівців здобувачів вищої освіти за судноводійними спеціальностями. Програмне забезпечення, що створюється, повинно реалізовувати динамічну візуалізацію навігаційних ситуацій, містити інтерактивні симуляції та відповідні навчальні модулі. Вищевказане значно підвищить рівень розуміння та запам'ятовування складних правил здобувачами вищої освіти, їх мотивацію до навчання.

Постановка задачі. Для штатного обладнання навігаційного тренажеру від компанії Wartsila «Navi-Trainer Professional 5000» необхідно розробити метод обміну та обробки навігаційних даних, алгоритмічне та програмне забезпечення навчального тренажеру з перевірки знань МПЗЗС–72. Даний навчальний тренажер відображатиме актуальну ситуацію щодо розходження з суднами з урахуванням МПЗЗС–72, відповідно до поточних параметрів руху суден, що дозволить суттєво підвищити ефективність навчання та контролю знань здобувачів.

Результати дослідження. Для вирішення поставленої задачі авторами дослідження з метою перевірки знань МПЗЗС–72 розроблено метод отримання параметрів руху суден від навігаційного тренажеру NTPRO 5000 через послідовний комунікаційний інтерфейс Serial Com Port. Навігаційна інформація з тренажерного судового обладнання за допомогою Serial Com Port інтерфейсу подається до програмного забезпечення навчального тренажеру з перевірки знань МПЗЗС–72 у вигляді повідомлень NMEA. NMEA — це спеціальний протокол для підтримки взаємодії морського навігаційного обладнання від різних виробників, розроблений Національною асоціацією морської електроніки.

Повідомлення NMEA містить заголовок, набір даних і поле контрольної суми для перевірки точності переданої інформації [7–8].

Для функціонування програмного забезпечення тренажеру, що створено, важливими є моніторинг показників, отриманих від навігаційного обладнання (GPS, Log, Gyro, Arpa, UAI). Показники отримані від GPS, Log, Gyro використовуються для визначення позиції власного судна та вектору його руху. Ара — для визначення пеленгу та дистанції суден цілей. UAI — для отримання додаткової інформації про місцезнаходження суден цілей і їх векторів руху (курс та швидкість суден цілей передається в системі AIS). Таким чином, запропонований метод дозволяє отримувати повну інформацію про судна цілі з навігаційного тренажеру двома способами, які доповнюють один одного та підвищують надійність функціонування системи.

При розходженні судноводій візуально або з використанням технічних засобів оцінює положення суден цілей щодо власного і приймає рішення щодо маневрування на підставі ситуації що складається, вимог МПЗС–72, інших рекомендацій та обставин плавання. Класифікація правил МПЗС–72 зображена на рис.1. Як видно на схемі, правила щодо розходження суден описуються в частині В. Саме їх необхідно враховувати в навчальному тренажері з перевірки знань МПЗС–72.

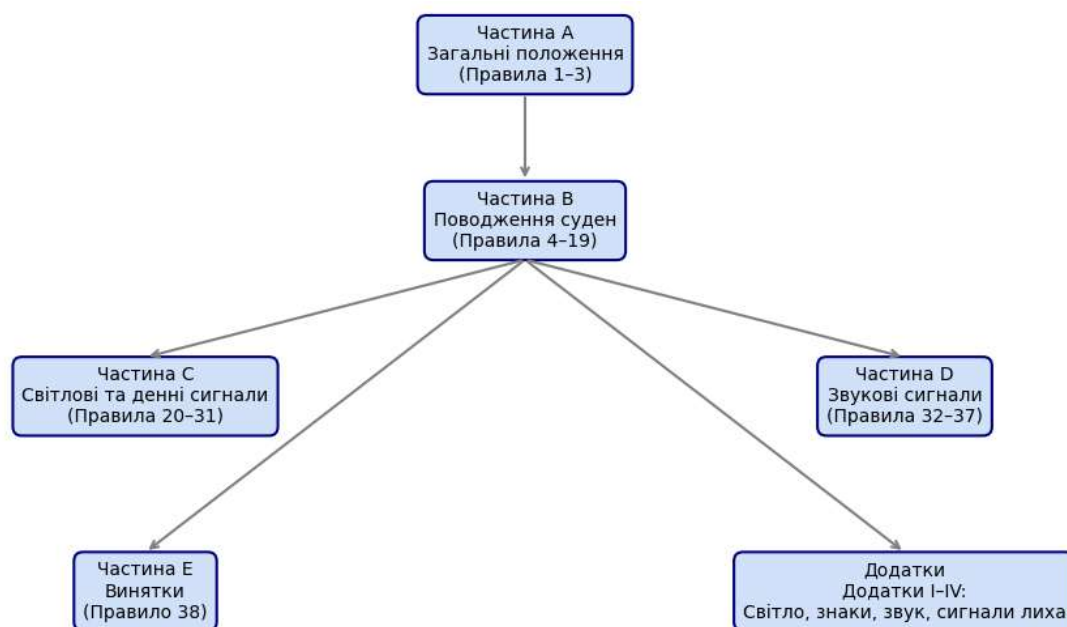


Рисунок 1 — Схема класифікації правил МПЗС–72

Для класифікації суден цілей за ступеню їх небезпечності основними параметрами є мінімальна відстань, на яку наблизяться судна при збереженні поточних курсів (Closest Point of Approach), час до моменту найменшої відстані між суднами (Time to CPA). Було розроблено класифікацію суден цілей за ступеню їх небезпечності відповідно до параметрів руху (рис. 2).

CPA, милі	TCPA, хвилини				
	<5	5-10	10-15	15-20	>20
<0.5	дуже значна	дуже значна	дуже значна	дуже значна	значна
0.5-1	дуже значна	дуже значна	значна	значна	значна
1-1.5	дуже значна	значна	значна	значна	не значна
1.5-2	значна	значна	не значна	не значна	не значна
>2	значна	не значна	не значна	не значна	не значна

Рисунок 2 — Класифікація безпеки суден цілей за параметрами CPA та TCPA

Враховуючи правила розходження суден, інтерактивний модуль перевірки знань правил МПЗЗС–72 в реальному часі оцінює ризики зіткнення з суднами цілями, що встановлені у вправі викладачем та характеризує судна цілі щодо ступеню небезпеки, описує правила МПЗЗС–72, до яких відноситься та чи інша навігаційна обстановка та описує маневр розходження для уникнення зіткнення.

Висновки. На підставі проведених досліджень було розроблено метод отримання параметрів руху суден від навігаційного тренажеру NTPRO 5000 та розроблено алгоритм класифікації суден цілей за ступеню їх небезпечності. На основі розробленого методу та алгоритму було створено інтерактивний модуль перевірки знань здобувачів вищої освіти стосовно правил МПЗЗС–72, та їх застосування в залежності від навігаційних ситуацій, що мали місце на навігаційному тренажері.

ЛІТЕРАТУРА

1. Popovych, I. S., Cherniavskiy, V. V., Dudchenko, S. V., Zinchenko, S. M., Nosov, P. S., Yevdokimova, O. O., Burak, O. O. & Mateichuk, V. M. (2020). Experimental Research of Effective “The Ship’s Captain and the Pilot” Interaction Formation by Means of Training Technologies. *Revista ESPACIOS*, Vol. 41(№11). Page 30. Retrieved from: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n11/20411130.html>.
2. Pavlo Nosov, Ihor Popovych, Serhii Zinchenko, Vasyl Cherniavskiy, Viktor Plokhikh, Halyna Nosova (2020). The research on anticipation of vessel captains by the space of Kelly’s graph. *Revista Inclusiones*, Vol: 7 num Especial, pp. 90–103.
3. Zinchenko, S., Ben, A., Nosov, P., Popovych, I., Mateichuk, V., & Grosheva, O. (2020). The vessel movement optimisation with excessive control, *Bulletin of university of Karaganda. Physics*, 99(3), 86–96. <https://doi.org/10.31489/2020Ph3/86-96>.
4. Зінченко С.М., Ляшенко В.Г.. Розходження з маневруючими цілями // Науковий вісник ХДМА №2 (17), с. 36–43, 2017. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/555/499>.
5. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Шалаева А.А. Розрахунок та реалізація маневру розходження з судами цілями в бортовому обчислювачі // Матеріали IV МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві освіта, наука, практика», Херсон, 14-16 вересня 2017р., с. 230–235.
6. Zinchenko S.M., Nosov P.S., Mateichuk V.M., Mamenko P.P., Grosheva O.O. Automatic Collision Avoidance with many targets, including maneuvering ones // Materials of the International scientific and practical conference dedicated to the memory of professors Fomin Yu. Ya. And Semenov V. S., Odessa (Ukraine) — Istanbul (Turkey) — Odessa (Ukraine), 24–28 April 2019, pp. 343–349.
7. Mateichuk V., Zinchenko S., Nosov P. Automatic evaluation of skill of controlling ship in navigation simulator // Materials of the VII International Scientific and Practical Conference «Life Safety in Transport and Production: Education, Science, Practice», Kherson, September 9–12, 2020, p.149-152.
8. Serhii Zinchenko, Vadym Mateichuk, Pavlo Nosov, Ihor Popovych, Oleksandr Solovey, Pavlo Mamenko, Olga Grosheva. Use of Simulator Equipment for the Development and Testing of Vessel Control Systems / *Electrical, Control and Communication Engineering*. — 2020. — Vol.16. — №2. — P.58–64. DOI: 10.2478/ecce-2020-0009. <https://sciendo.com/pdf/10.2478/ecce-2020-0009>.

CONSIDERATIONS OF THE HUMAN FACTOR IN THE OPERATION OF THE RAILWAY TRANSPORT

Nerubatskyi V. P., Falieiev F. R., Ohurtsov S. S.

*Ukrainian state university of railway transport
(Ukraine)*

Introduction. The human factor has always been and continues to be one of the most important factors in traffic safety during the operation of railway transport. It is one of the prerequisites that can lead to the negative consequences in the operation of the railway. In railway transport, the term «human factor» is mostly interpreted as the lack of professional competence of individual railway employees. Therefore, an important prerequisite for railway safety is constant monitoring of the professional competence of railway workers.

Relevance of research. The relevance of the study lies in the need to improve the training and psychophysical assessment of railway workers. Negative consequences on the railway are caused by the inability or inability to adequately respond to unforeseen circumstances. This requires a review of approaches to training, regular training and monitoring of the psychological and physical condition of workers. In addition, conducting an analysis and identifying the main problems in railway transport related to the human factor will contribute to the development of the concept of its management and increasing the safety, reliability and efficiency of the transport industry.

Objectives. Conducting an analysis of the causes of the human factor and proposing measures to increase the professional competence of employees in the field of railway transport, which in turn will make it possible to achieve a reduction in physical and psychological limitations that lead to the problem of the human factor as a cause of negative consequences when driving traction rolling stock on the railway.

Research results. The human factor is an essential aspect of the operability and safety of many technical systems [1]. The problem of the human factor in railway transport is one the leading issues in meeting the needs for carriage of passengers and goods while ensuring the safety of traffic and transported goods. The professional incompetence of workers, their inadequate attitude to their professional duties and disregard for the rules set out in the rules of technical operation of railways and job descriptions often cause undesirable consequences in the operation of railway transport.

For a deeper understanding of the need to introduce simulators for personnel, a comparative analysis of the experience of implementing and using simulator systems in European countries was conducted. For example, VR simulators implemented by Deutsche Bahn (Germany). The company relies on high-tech VR/AR training with attention to the individual reaction and behavior of drivers and dispatchers, but pays less attention to team interaction. In contrast, Network Rail (Great Britain) focuses on team simulators. The training includes the work of dispatchers, technical teams and drivers in non-standard situations, improving their communication and coordination of actions in real time. SNCF (France) uses VR simulators with elements of cognitive load analysis, which allows you to detect overload when performing routine operations. This approach allows you to more deeply understand the impact of fatigue and routine errors. Thus, European operators (SNCF and Network Rail) emphasize team and psychological training, while Deutsche Bahn emphasizes the application of technological solutions focused on individual learning and automated error control.

Humans will continue to play active roles in manufacturing processes, however, those roles may change over time [2]. The capabilities of professional staff are limited by the physical and psychological characteristics of each person. Physical limitations are most often caused by fatigue, illness, injury or bad habits. These limitations lead to cases where, when one of the employees is overworked, he is unable to respond to various unforeseen situations. Due to impaired vision, locomotive crew members cannot see a traffic light sign or an obstacle in the train's path. Workers bad habits primarily include smoking and alcohol. Consumption of these harmful substances can

lead to impaired reaction or even impairment of locomotive control.

Better vetting and medical screening of staff can reduce the occurrence of these restrictions. It is the selection of more physically fit staff and the introduction of more frequent medical examinations that will minimize the impact of the human factor due to the physical limitations of employees.

Psychological limitations manifest themselves in overstrain, emotional stress and depression. Deterioration of the psychological state is the main reason for the inability to make quick decisions in the face of negative circumstances and situations. Fear and uncertainty about their actions while the train is in motion can lead to inaction in the event of unusual circumstances and, as a result, to a tragedy.

Continuous qualitative checks of railway workers directly involved in traffic by psychologist, and assistance in case of a deterioration in their psychological state, will help to eliminate psychological limitations, for example, by introducing group sessions to identify the problem. It is also important to improve working conditions in railway transport. All these measures will help prevent a significant amount of human factor due to the psychological limitations of railway workers.

Improving professional competence is one of the most important tasks in railway transport. The introduction of new tools and methods to reduce the factors of physical and psychological limitations will improve the professional skills and competence of staff. For example, the introduction of special simulators for locomotive crews and a more comprehensive knowledge test will help to improve their professional reliability. The introduction of additional occupational health and safety training and measures will help to improve the safety competence of employees.

The development and installation of the latest auto-driving systems will allow locomotive crew members to rest on the road. This will help to avoid fatigue as a cause of physical or psychological limitations. Another option is to introduce simulations for railway workers. This will help prepare staff for various unforeseen events and situations by immersing employees in a variety of simulation conditions.

Conclusion. Based on the analysis, it can be said that taking into account the human factor is an integral part of ensuring the safety of railway transport. It is measures to improve the professional competence of professional staff that will help reduce the occurrence of the human factor as a cause of unforeseen situations and undesirable consequences during the operation of railway transport.

REFERENCES

1. Janota A., Pirník R., Ždánky J., Nagy P. Human factor analysis of the railway traffic operators. *Machines*. 2022. Vol. 10, Iss. 9. 820. DOI: 10.3390/machines10090820.
2. Reiman A., Kaivo-oja J., Parviainen E., Takala E. P., Lauraeus T. Human factors and ergonomics in manufacturing in the industry 4.0 context—A scoping review. *Technology in Society*. 2021. Vol. 65. 101572. DOI: 10.1016/j.techsoc.2021.101572.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРНИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ НА ГРОМАДСЬКОМУ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТІ

Нерубацький В.П., Шаповалова Д.С.

*Український державний університет залізничного транспорту
(Україна)*

Вступ. З огляду на глобальні тенденції щодо скорочення викидів вуглецю та переходу до сталого розвитку, громадський електротранспорт виступає одним з найбільш перспективних напрямків для впровадження новітніх технологій енергозабезпечення. Суперконденсатори є однією з таких технологій, що поєднує високу потужність, швидкість заряджання та тривалий термін експлуатації, що робить їх перспективними для використання в транспортних системах великих міст.

Актуальність досліджень. Низький рівень викидів CO₂ та необхідність зменшення залежності від викопних джерел енергії вимагають інноваційних підходів у розвитку транспорту. Важливою складовою цих змін є електричний транспорт, застосування якого дає змогу суттєво знизити екологічне навантаження та витрати на паливо. Однак, успішне впровадження нових енергозабезпечувальних технологій вимагає ретельного дослідження і пошуку оптимальних рішень. Суперконденсатори є одним з таких рішень, які здатні забезпечити швидке заряджання, високу потужність і ефективну рекуперацію енергії, що робить їх дуже перспективними для використання на електричному громадському транспорті.

Постановка задачі. Метою цього дослідження є оцінка перспективи застосування суперконденсаторних систем накопичення енергії на громадському електротранспорті. Завданням є аналіз технічних характеристик суперконденсаторів, їхніх переваг та обмежень порівняно з іншими технологіями накопичення енергії, а також оцінка потенціалу їх інтеграції в інфраструктуру міського транспорту.

Результати досліджень. Основною перевагою суперконденсаторів є їх висока питома потужність, що дає змогу здійснювати швидке заряджання та ефективну рекуперацію енергії під час гальмування. Це особливо важливо для громадського транспорту, де інтенсивні зупинки і старт мають значний вплив на споживану енергію. Також суперконденсатори здатні витримувати велику кількість циклів заряджання і розряджання без значних втрат, що підвищує надійність і зменшує витрати на обслуговування.

У ході дослідження було проаналізовано приклади практичного використання суперконденсаторів у транспортних системах. Зокрема, електробуси системи TOSA у місті Женева (Швейцарія) демонструють можливість заряджання на проміжних зупинках протягом 15...20 секунд за допомогою спеціального швидкісного обладнання. Аналогічна технологія застосовується в місті Шеньчжень (Китай), де понад 15000 електробусів використовують суперконденсатори для зниження навантаження на електромережу та підвищення ефективності рекуперації.

Імітаційне моделювання, проведене на базі стандартного маршруту довжиною 12 км, показало, що система рекуперації з використанням суперконденсаторів дозволяє зменшити витрати електроенергії на 25...30 % порівняно з системами, що працюють виключно на акумуляторах. Це забезпечується ефективним збереженням енергії гальмування та її повторним використанням під час розгону.

Для більш глибокого розуміння ефективності технології було проведено порівняльний аналіз технічних характеристик суперконденсаторів провідних виробників – Skeleton Technologies, Maxwell Technologies та Eaton. Модель SkelMod 102V від Skeleton вирізняється високою питомою потужністю та енергетичною щільністю близько 10 Вт·год/кг, максимальним струмом розряду до 500 А і терміном служби понад 1 млн циклів, що робить її надзвичайно ефективною для експлуатації в умовах інтенсивного міського трафіку з частими зупинками. У свою чергу, суперконденсатори серії BCAP від

Maxwell демонструють стабільну роботу в широкому діапазоні температур, мають трохи нижчу енергетичну щільність (5...8 Вт·год/кг), проте забезпечують високу термостійкість і надійність при довготривалій експлуатації. Компанія Eaton спеціалізується на модульних рішеннях із компактною конструкцією та зменшеною масою, що робить їх особливо зручними для використання у малогабаритному електротранспорті або як частину допоміжних енергетичних систем. Такий різноманітний набір характеристик дозволяє гнучко підходити до вибору суперконденсаторів відповідно до специфіки транспортних завдань — від коротких міських маршрутів із високою частотою зупинок до міжміських поїздок із обмеженими можливостями для заряджання [1, 2].

Проте, суперконденсатори мають одну важливу обмежену характеристику — порівняно низьку питому енергію, що лімітує їх застосування на довгих маршрутах без підзарядки. Для вирішення цієї проблеми розробляються гібридні системи накопичення енергії, які поєднують суперконденсатори з акумуляторами [3, 4]. Такі системи дають змогу забезпечити необхідну автономність на довгих маршрутах, одночасно зберігаючи переваги швидкого заряджання та рекуперації енергії. Наприклад, у Варшаві реалізовано пілотний проєкт використання електробусів з комбінованими модулями (суперконденсатори + літій-іонні батареї), що дозволяє працювати на маршрутах довжиною до 120 км з підзарядкою лише на кінцевих зупинках. Це забезпечує гнучкість у плануванні транспортної інфраструктури та зниження залежності від контактної мережі.

Вдосконалення цієї технології також можливе через використання новітніх матеріалів, таких як графен і нанокompозити, що дозволяють підвищити питому енергію суперконденсаторів [5]. За результатами експериментів, проведених Університетом Манчестера, використання графенових електродів дозволяє збільшити щільність енергії до 60 % порівняно з традиційними активованими вуглецями. Іншою важливою умовою є розвиток інфраструктури для швидкої підзарядки, що стане критичним етапом на шляху до масового впровадження цієї технології [6].

Висновки. Перспективи застосування суперконденсаторних систем на громадському електротранспорті є багатообіцяючими, оскільки вони дозволяють значно знизити енергоспоживання та екологічне навантаження на навколишнє середовище. Водночас необхідно продовжувати дослідження в напрямку підвищення питомої енергії суперконденсаторів і створення ефективних гібридних систем, які забезпечать необхідну автономію для транспорту на різних типах маршрутів. Розвиток такої інфраструктури також стане важливим кроком на шляху до сталого розвитку міського транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Radu P. V., Szelag A., Steczek M. On-board energy storage devices with supercapacitors for metro trains—case study analysis of application effectiveness. *Energies*. 2019. Vol. 12, Iss. 7. 1291. DOI: 10.3390/en12071291.
2. Ghaviha N., Campillo J., Bohlin M., Dahlquist E. Review of application of energy storage devices in railway transportation. *Energy Procedia*. 2017. Vol. 105. P. 4561–4568. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.03.980.
3. Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A. Energy efficient ways of using energy accumulators in the Smart Grid concept. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2023. Вип. 66. С. 11–15. DOI: 10.15407/publishing2023.66.011.
4. Нерубацький В. П., Плахтій О. А., Машура А. В., Гордієнко Д. А. Аналіз технічних характеристик акумуляторних батарей і систем заряджання електромобілів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2019. Том 24, № 6. С. 11–19. DOI: 10.18664/ikszt.v24i6.185510.
5. Ul Hoque M. I., Donne S. W., Holze R. Graphene nanocomposite materials for supercapacitor electrodes. *Encyclopedia*. 2024. Vol. 4, No. 1. P. 101–116. DOI: 10.3390/encyclopedia4010009.
6. Navarro G., Torres J., Blanco M., Nájera J., Santos-Herran M., Lafoz M. Present and future of supercapacitor technology applied to powertrains, renewable generation and grid connection applications. *Energies*. 2021. Vol. 14, Iss. 11. 3060. DOI: 10.3390/en14113060.

УДК 656.6

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО РОЗРОБКИ ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ

Носов П.С.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Зростаючий рівень автоматизації складних технічних систем і водночас стійка тенденція аварійності, значна частка яких пов'язана з людським фактором, зумовлює науковий інтерес до розробки ергатичних систем в транспортній галузі [1]. Незважаючи на вдосконалення алгоритмів керування, сучасні підходи до підготовки операторів [2], спостерігаються прояви як неналежної інтерпретації даних так і неочікуваних реакцій у критичних ситуаціях. Крім того, із зростанням складності інтерфейсів і процедур експлуатації підвищується когнітивне навантаження екіпажу, що створює «зону невизначеності» та значно збільшує ризик відмов.

У цьому контексті системний огляд методів ризик-менеджменту, моделювання поведінки операторів, класифікації ситуацій та розробки стратегій захисту дозволяє не лише узагальнити наукові підходи, а й визначити ключові прогалини, що є критично важливими для підвищення безпеки та надійності ергатичних систем.

Основний матеріал дослідження. Враховуючі актуальність зазначених напрямів підвищення безпеки експлуатації транспортних засобів, проведемо аналіз літературних джерел.

У роботі [3], узагальнено, що управління ризиком в авіації базується на чіткій структурі: від ідентифікації небезпек і класифікації ситуацій до оцінки ймовірності та тяжкості наслідків із подальшим прийняттям рішень і впровадженням заходів зниження ризику в реальному часі. Ефективна підтримка оператора досягається через мультимодальні сигнали, лаконічні алгоритми дій та динамічне регулювання рівня автоматизації, а ергономічне проектування інтерфейсів сприяє швидкому сприйняттю критичних даних і мінімізації когнітивного навантаження. Таким чином, поєднання методології оцінки ризику з адаптивними технологічними й організаційними рішеннями забезпечує своєчасне виявлення загроз і прийняття оптимальних дій екіпажем.

У дослідженні [4], автор обґрунтував важливість синергетичного підходу до аналізу людського фактора в ергатичних системах морського транспорту, поєднавши ергономічні, психологічні та технічні аспекти в єдину концептуальну рамку. Автор запропонував модель оптимізації взаємодії екіпажу й автоматизованих систем з практичними рекомендаціями щодо тренінгів, адаптивних інтерфейсів та мультимодальних сигнальних систем. Науковий вклад полягає в уніфікації матриці взаємодії людина–техніка, що створює підґрунтя для подальших досліджень. Для розширення наукового спектру у перспективі постає необхідність в розробці математичних моделей ризику для практичного впровадження запропонованих підходів.

У публікації [5] чітко окреслено проблему невизначеності в ергатичних системах, введено поняття «невизначеності стану» яке розділено на стохастичну та нестохастичну форми. Проведено ґрунтовну класифікацію факторів невизначеності, від генетично зумовлених реакцій людини до змінних метео- і виробничих умов, та виокремлено шляхи їх мінімізації через підвищення інформаційної складової. Автор запропонував власну систематизацію факторів, практична значимість якої полягає в архітектурі моніторингових систем і рекомендаціях для програм сертифікації персоналу. Однак дослідження потребують емпіричної верифікації і моделювання впливу факторів, що вказує на потребу в розробці адаптивних алгоритмів «перемикання» режимів керування.

У роботі [6] було порівняно три лінійні передавальні моделі оператора в CISO-задачі керування транспортним засобом — екскаватором. Науковий інтерес полягав в аналізі керування режимів роботи і формалізації. Ідентифікація параметрів виконана методом

найменших квадратів за експериментальними даними. Формалізація базується на лінійній інерційній динаміці з експоненціальною затримкою, що моделює когнітивний час реакції, але не враховує нелінійні й адаптивні ефекти при втомі чи екстремальних навантаженнях.

Подальший аналіз формалізації розкрито в роботі [5], де запропоновано комплексну методологію моделювання ергатичних систем із динамічним захистом на базі сингулярних диференціальних рівнянь із малим параметром: поєднано асимптотичні та чисельні методи для наближень розв'язків, формалізовано оптимізацію вартості захисту та досліджено стійкість і хаотичні режими. Проведено аналіз прилеглої області із локалізованими сингулярними моделями й обчислювальними алгоритмами для задачі Коші зі змінними параметрами, а також у формалізації функцій вартості. Водночас в обмеженнях підходу залишається інтеграція адаптивних алгоритмів спостереження, що визначає напрямки подальших досліджень.

У статті [8] визначено системну невідповідність між формально підтвердженою функціональною безпекою ергатичних систем управління та їх реальною надійністю в експлуатації: експоненційний закон розподілу відмов демонструє, що захисні механізми лише відкладають прояв небезпечного стану, тоді як у допоміжному режимі ймовірність відмови стрімко перевищує допустимі рівні вже за першу годину. Запропоновано розширити методику оцінки безпеки, уніфікуючи показники безвідмовності (λ) та інтенсивності людських помилок ($\lambda_{\text{люд}}$) із процедурою функціонального тестування, і включити в випробування моделювання захисних режимів із врахуванням часу допустимого простою та ймовірності помилок. Формалізація через подвійну експоненційну модель із «зсувом» і «умовно-захисним» інтервалом чітко відокремлює штатний і допоміжний ризики, однак лінійність і стаціонарність λ -параметрів та відсутність розподілів і кореляцій обмежують застосування моделі.

В публікації [9] описано ймовірнісне моделювання надійності складних ергатичних систем в авіації, представивши трьохфазну марківську модель із двовимірним простором станів внутрішніх технічних підсистем та зовнішніх умов експлуатації. Запропонована декомпозиція ймовірностей переходів із експоненційним розподілом часу перебування забезпечує чітке формалізоване оцінювання безвідмовності, а алгоритми проектування й графі функціонування дають інструментарій для моніторингу та планування технічного обслуговування й підготовки екіпажу. Хоча запропонована модель чітко формалізує надійність з урахуванням внутрішніх і зовнішніх процесів, її базування на стаціонарних експоненційних розподілах та відсутність адаптивних і нелінійних механізмів ускладнює моделювання в реальних динамічних умовах експлуатації транспортного засобу.

У статті [10], авторами обґрунтовано ефективність експертних методів для оцінювання діяльності операторів ергатичних систем, виділивши циклічний характер операторської діяльності (сприйняття-прийняття рішення-контроль), розробивши алгоритм фільтрації експертів на основі коефіцієнта конкордації та чітку чотириступеневу процедуру опитування й обробки результатів. Науковим доробком авторів є інтеграція статистичних методів узгодженості з алгоритмічною валідацією експертної групи. Водночас відсутність аналізу чутливості вибору порогів свідчить про потребу в подальшому дослідженні статистичних параметрів і розширенні методів узгодженості задля підвищення надійності та гнучкості підходу.

Висновок. Підводячи підсумок, можна визначити, що сучасні методи моделювання й управління ергатичними системами спираються на чітко побудовані структури керування ризиками, а також синергетичні підходи до людино-технічної (машинної) взаємодії [11–13]. Водночас усі дослідження виявляють спільні обмеження: лінійність формалізацій, стаціонарні розподіли часу до відмов, недостатня адаптивність алгоритмів і брак кількісної верифікації людських параметрів операторів транспортних засобів. Для підвищення реальної безпеки та надійності ергатичних систем необхідно розвивати нелінійні моделі, інтегрувати термінальні показники інтенсивності відмов та помилок людини - оператора, а також більше спиратись на дані експериментів і тренажерних симуляцій.

Такий підхід створить науково обґрунтовану базу для розробки інтегрованих інструментів у ергатичних системах транспорту для підвищення їх безпеки експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Nosov P. S., Palamarchuk I.V., Safonov M.S., Novikov V.I. Modeling the manifestations of the human factor of the Maritime crew // Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipro) № 5 (77). — 2018. Pages 82-92. <https://doi.org/10.15802/stp2018/147937>.
2. Носов П.С., Тонконогий В.М., Яковенко О.Є. Застосування адаптивних функцій для впливу на модель знань студента // Тр. Одес. политехн. ун-та. Одеса: ОНПУ. Вып.1(25). 2006. — С. 118–122.
3. Скрипець А. В., Буров О. Ю., Павлов В. В. Інженерна психологія, ергономіка та людський чинник в авіації : навч. посіб. — Київ : НАУ-друк, 2010. — 708 с.
4. Мельник О. М. Дослідження впливу фактора людини на ергатичні системи управління на транспорті / О. М. Мельник // Транспортні системи та технології перевезень. — 2023. — № 25. — С. 10–18. — Режим доступу: <https://doi.org/10.15802/tstt2023/284487>.
5. Бочковський А. П. Невизначеність стану ергатичних систем: фактори, причини та шляхи мінімізації / А. П. Бочковський // Інженерія середовища та безпека життєдіяльності. — 2016. — № 14(2). — С. 114–121.
6. Мрачковський Д. Розробка математичної моделі оператора в людино-машинній системі керування кар'єрним екскаватором / Д. Мрачковський // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. — 2023. — Том 62, № 3. — С. 41–49. — Режим доступу: <https://doi.org/10.32782/2072-2052.2023.3.62.4>
7. Альджаафрах М. Р. А. А. Математичне моделювання та обчислювальні методи дослідження ергатичних систем з динамічним захистом : автореф. дис. ... канд. техн. наук / М. Р. А. А. Альджаафрах. — Харків : ХНУРЕ, 2018. — 28 с.
8. Каменєв О. Ю. Проблематика підходів до дослідження безпеки використання ергатичних систем керування на залізничному транспорті / О. Ю. Каменєв // Наука та прогрес транспорту. — Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізнич. транспорту. — 2013. — Вип. 2(44). — С. 7–16. — ISSN 2307-3489.
9. Юрченко О. І., Готун О. В. Дослідження надійності ергатичної системи «Повітряний корабель–екіпаж–середовище» / О. І. Юрченко, О. В. Готун // Безпека авіац. транспорту. — 2000. — Вип. 1–2. — С. 241–243. — ISSN 1727-3088.
10. Stenin A., Gubskiy A., Polshakova O. Expert evaluation of the ergatic systems operators activity / A.Stenin, A. Gubskiy, O. Polshakova // Радіоелектроніка, інформатика, управління. — 2013. — № 1. — С. 141–143. — <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2013-1-22>.
11. Popovych, I. S., Cherniavskyi, V. V., Dudchenko, S. V., Zinchenko, S. M., Nosov, P. S., Yevdokimova, O. O., Burak, O. O. & Mateichuk, V. M. (2020). Experimental Research of Effective «The Ship's Captain and the Pilot» Interaction Formation by Means of Training Technologies. Revista ESPACIOS, Vol. 41(№11). Page 30. Retrieved from: <https://www.revistaespacios.com/ a20v41n11/ 20411130.html>
12. Pavlo Nosov, Ihor Popovych, Serhii Zinchenko, Vasyl Cherniavskyi, Viktor Plokhikh, Halyna Nosova (2020). The research on anticipation of vessel captains by the space of Kelly's graph. Revista Inclusiones, Vol: 7 num Especial, pp. 90–103.
13. Zinchenko, S., Ben, A., Nosov, P., Popovych, I., Mateichuk, V., & Grosheva, O. (2020). The vessel movement optimisation with excessive control, Bulletin of university of Karaganda. Physics, 99(3), 86–96. <https://doi.org/10.31489/2020Ph3/86-96>.

УДК 656.6

DEVELOPMENT OF A FORMAL MODEL OF AN ADAPTIVE ERGATIC SHIP MOTION CONTROL SYSTEM

Pavlo Nosov¹, Anton Nosov²

¹*Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)*

²*Outlaw Eagle Manufacturing, Designer and Draftsperson
(Canada)*

Introduction. The modern maritime transport sector faces a number of challenges: traffic intensity in coastal and port areas, weather conditions, and multisensor navigation aids, among others. Under such conditions, a navigator must simultaneously process data from radar, AIS, ECDIS, engine-and-hydraulic system sensors, and electrical system sensors. Autopilot automation and warning systems are focused on the technical and navigational aspects of ship dynamics, but they do not treat the human operator—the navigator—as the central element of the ergatic motion-control system. Although ECDIS alarms, phantom trajectory visualizations, and AIS target overlays are continuously active in real time, the navigator does not always perceive the situation objectively [1].

Therefore, there is a need to develop an integrated formal model that implements situational control of the ergatic ship-motion system, in which automation modes, support algorithms [2], and bridge-deck interfaces dynamically adapt to the current risk level in the waterway, the watch-team's workload, and the navigator's psychophysiological state.

Main body of the study.

Taking into account the relevance of the study, we now turn to the construction of a formal model of the adaptive ergatic ship-motion control system.

1. Definition of model parameters and state vector.

We introduce the following components: ship physical parameters: course, speed, position, autopilot engagement level; operator psychophysiological state; external navigational factors: closest-point-of-approach distance (CPA), traffic density, wave height, visibility, wind speed, current speed; navigation-situation perception index.

1.1. Continuous state (1).

$$x(t) = \begin{bmatrix} \varphi(t) \\ V(t) \\ p(t) \\ z(t) \end{bmatrix}, h(t) \in [0, 1], \quad (1)$$

where,

- $\varphi(t)$ — is the ship's course (degrees),
- $V(t)$ — is the ship's speed (knots),
- $p(t)$ — is the ship's position (Lat, Lon),
- $z(t)$ — is the autopilot activation level,
- $h(t)$ — is the navigator's cognitive workload (dimensionless).

1.2. External-navigation-factor vector (2).

$$c(t) = [d_{CPA}, p_{AIS}, H_{wave}, V_{vis}, W_{wind}, C_{current}], \quad (2)$$

where,

- d_{CPA} — is the distance to the closest point of approach,
- p_{AIS} — is the vessel density,
- H_{wave} — is the wave height,
- V_{vis} — is the visibility range,
- W_{wind} — is the wind speed,
- $C_{current}$ — is the current speed.

1.3. Perception adequacy coefficient [3] (3).

$$q(t) = R_{nav} e^{-\alpha_h h(t)} \cdot e^{-\alpha_T T_{scan}(t)} \cdot e^{-\alpha_S \frac{S(t)}{N_{max}}}, \quad (3)$$

where,

$q \in [0,1]$ — is the navigator's perception quality,

R_{nav} — is the reliability of the navigation equipment,

T_{scan} — is the situation-scan periodicity,

$S(t)$ — is the number of active information channels on the bridge,

N_{max} — is the maximum number of channels the operator can process,

$\alpha_h, \alpha_T, \alpha_S > 0$ — are sensitivity coefficients.

1.4. Risk index [4] (4).

$$R(t) = \sum_{i=1}^4 w_i \tilde{c}_i(t), \quad \tilde{c}_1 = 1 - \frac{d_{CPA}}{D_{max}}, \tilde{c}_2 = \frac{p_{AIS}}{p_{max}}, \tilde{c}_3 = \frac{H_{wave}}{H_{max}}, \tilde{c}_4 = \frac{1}{V_{vis}/V_{max}}, \quad (4)$$

where,

w_i — factor weights ($\sum w_i = 1$),

$D_{max}, p_{max}, H_{max}, V_{max}$ — are normalization constants.

2. Discrete risk-level modes (5).

$$\sigma(t) \in \{LowRisk, MedRisk, HighRisk\}, \sigma = \begin{cases} LowRisk, & R < \rho_1, \\ MedRisk, & \rho_1 \leq R < \rho_2, \\ HighRisk, & R \geq \rho_2. \end{cases} \quad \rho_1, \rho_2 \in (0,1). \quad (5)$$

3. Continuous dynamics in each mode [5, 6] (6).

$$\begin{aligned} \dot{\varphi} &= \omega_{AP}(\sigma) \mu u_{AP} + k_{rudder}(\sigma) (1 - \mu) u_{rudder} + k_{wind} W_{wind} \cos(\psi_{wind} - \varphi), \\ \dot{V} &= a_{eng}(\sigma) u_{eng} - r_{drag}(V) + k_{curr} C_{curr} \cos(\theta_{curr} - \varphi), \\ \dot{p} &= V [\cos \varphi, \sin \varphi]^T, \\ \dot{z} &= \Phi_{\sigma}(x, z), \\ \dot{h} &= -\alpha(\sigma) h + \sum_{i=1}^6 \beta_i(\sigma) \tilde{c}_i(t), \end{aligned} \quad (6)$$

where,

u_{AP} — is the autopilot control,

u_{rudder} — is the rudder control,

u_{eng} — is the engine-mode control,

$\mu \in [0,1]$ — is the automation level.

$\omega_{AP}, k_{rudder}, a_{eng}, \alpha, \beta_i$ — are mode function σ .

4. Discrete transitions taking into account operator's situation perception (7).

$$\sigma^+ = \gamma(R, h, q) = \begin{cases} LowRisk, & R < \rho_1 \wedge h < h_{th1} \wedge q > q_{th1}, \\ MedRisk, & (\rho_1 \leq R < \rho_2) \vee (h_{th1} \leq h < h_{th2}) \vee (q_{th2} < q < q_{th1}), \\ HighRisk, & R \geq \rho_2 \vee h \geq h_{th2} \vee q \leq q_{th2}, \end{cases} \quad (7)$$

where,

$h_{th1} < h_{th2}, q_{th1} > q_{th2}$ are — thresholds.

5. Adaptive automation (8).

$$\mu^+ = A(R, h, \sigma, q), \begin{cases} \mu \rightarrow 1, \sigma = LowRisk \wedge h < h_{low} \wedge q > q_{high}, \\ \mu \sim 0,5, \sigma = MedRisk \wedge (q_{low} < q \leq q_{high}), \\ \mu \rightarrow 0, \sigma = HighRisk \vee q \leq q_{low} \vee h > h_{high}. \end{cases} \quad (8)$$

6. Complete hybrid ergatic-system model (9).

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f_{\sigma(t)}(x, u, \mu(t)), \\ \dot{h} &= \delta_{\sigma(t)}(h, c(t)), \\ q(t) &= \Psi(h(t), T_{scan}(t), R_{nav}, S(t)) \\ \sigma^+ &= \gamma(R(t), h(t), q(t)), \\ \mu^+ &= A(R(t), h(t), \sigma(t), q(t)). \end{aligned} \quad (9)$$

7. Analysis of unified scenarios (Table 1).

Table 1. Unified data for risk modeling

Scenarios	R	h	q	μ	σ
Open sea	0,15	0,2	0,85	0,90	LowRisk
Harbor	0,45	0,6	0,55	0,50	MedRisk
Port	0,75	0,8	0,25	0,10	HighRisk

8. Determination of perception-adequacy thresholds.

8.1. Information-load model for the navigator-operator (10).

$$\lambda_s(t) = \frac{S(t)}{N_{max}}. \quad (10)$$

$S(t)$ — is the number of active sources.

N_{max} — is the operator's maximum information-processing capacity.

8.2. Modified formula incorporating perception quality λ (11).

$$q(t) = R_{nav} e^{-\alpha_h h} e^{-\alpha_T T_{scan}} e^{-\alpha_S \lambda_S}. \quad (11)$$

8.3. Threshold determination.

Experimental calibration: series of tests with varying S , T_{scan} , and h ; collection of performance $P(\text{time, errors})$

Construction of the performance function (12):

$$P(q) \approx \frac{1}{1 + \exp(-a(q - q_0))}. \quad (12)$$

Threshold selection.

q_{95} — is the navigator succeeds at least 95 % of the time under demanding but controlled conditions,

q_{80} — is the baseline acceptability of operator actions (80 % success) (13).

$$q_{95} = q_0 + \frac{1}{a} \ln \frac{0,95}{0,05}, \quad q_{80} = q_0 + \frac{1}{a} \ln \frac{0,80}{0,20} \Rightarrow q_{th1} = q_{95}, \quad q_{th2} = q_{80}. \quad (13)$$

Thus, a functional accounting for individual perception thresholds of navigational situations by operators is obtained.

Conclusion. The proposed formal model will ensure: state completeness: tracking of ship physical parameters (φ , V , p , z), operator cognitive load (h), external navigational factors (CPA, traffic, waves, visibility, wind, current), plus perception (q) and risk (R) indices as two scalars to support decision making.

Situational risk classification: based on R , the system switches to one of three modes (LowRisk, MedRisk, HighRisk) corresponding to open sea, harbor, or port, enabling adaptive

support strategies and automation.

Hybrid dynamics: in each mode, differential equations describe ship motion (rudder, engine modes, external forces) and change in h ; their parameters depend on mode σ and automation μ , providing integrated human–machine–environment modeling.

Adaptive transitions: the function $\gamma(R, h, q)$ instantly changes mode σ when thresholds ($\rho_{1,2}$, $h_{th1,2}$, $q_{th1,2}$) are crossed, and the rule $A(R, h, \sigma, q)$ adjusts automation level μ , ensuring rapid reaction to threats and workload.

Personalized q_{th} thresholds: perception coefficient q accounts for cognitive state, scan frequency, and multitasking; thresholds q_{95} and q_{80} are computed via a logistic curve $P(q)$ with individual operator parameters, adapting to their processing capacity.

Practical significance: combining ship-motion modeling with automatic identification of psychophysiological and situational states creates a single ergatic system capable of real-time adjustment of control and support modes [7-9].

The approach paves the way for future simulation-based extensions to handle more complex navigational scenarios and operator states.

REFERENCES

1. Nosov P. S., Palamarchuk I.V., Safonov M.S., Novikov V.I. Modeling the manifestations of the human factor of the Maritime crew // Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipro) № 5 (77). — 2018. Pages 82–92. <https://doi.org/10.15802/stp2018/147937>.
2. Носов П.С., Тонконогий В.М., Яковенко О.Є. Застосування адаптивних функцій для впливу на модель знань студента // Тр. Одес. политехн. ун-та. Одесса: ОНПУ. Вып.1(25). 2006. — С. 118–122.
3. Wickens, C.D., Hollands, J.G., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2013). Engineering Psychology and Human Performance (4th ed.). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315665177>.
4. Zhang, Wenjun & Liu, Zihao & Ma, Xiaoxue. (2024). Research on Navigation Risk Assessment of Unmanned Ship Under Complex Navigation Conditions. Journal of Marine Science and Engineering. 12. 1947. <https://doi.org/10.3390/jmse12111947>.
5. Fossen, T. I. (2011). Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. John Wiley & Sons, Ltd. First published 8 April 2011. Print ISBN 978-1-119-99149-6; Online ISBN 978-1-119-99413-8. <https://doi.org/10.1002/9781119994138>.
6. Goebel, Rafal & Sanfelice, Ricardo & Teel, Andrew. (2009). Hybrid Dynamical Systems. Control Systems, IEEE. 29. 28 - 93. <https://doi.org/10.1109/MCS.2008.931718>.
7. Popovych, I. S., Cherniavskyi, V. V., Dudchenko, S. V., Zinchenko, S. M., Nosov, P. S., Yevdokimova, O. O., Burak, O. O. & Mateichuk, V. M. (2020). Experimental Research of Effective The Ship's Captain and the Pilot" Interaction Formation by Means of Training Technologies. Revista ESPACIOS, Vol. 41(№11). Page 30. Retrieved from: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n11/20411130.html>
8. Pavlo Nosov, Ihor Popovych, Serhii Zinchenko, Vasyl Cherniavskyi, Viktor Plokhikh, Halyna Nosova (2020). The research on anticipation of vessel captains by the space of Kelly's graph. Revista Inclusiones, Vol: 7 num Especial, pp. 90-103.
9. Zinchenko, S., Ben, A., Nosov, P., Popovych, I., Mateichuk, V., & Grosheva, O. (2020). The vessel movement optimisation with excessive control, Bulletin of university of Karaganda. Physics, 99(3), 86–96. <https://doi.org/10.31489/2020Ph3/86-96>

НАВІГАЦІЙНІ ТРЕНАЖЕРИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ВИЯВЛЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ СУДНОВОДІЇВ В СИТУАЦІЙНОМУ КЕРУВАННІ БЕЗПЕКОЮ СУДНОПЛАВСТВА

Носов П.С., Дягилева О.С., Пономарьова В.П.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Використання суто технічних та теоретичних аспектів не є достатнім, оскільки для майбутнього судноводія потрібен також практичний досвід, а саме: тренажерна підготовка [1]. Непідготовленість навігаторів до прийняття рішень та дій в екстремальних умовах може потенційно призвести до серйозних аварій, травм і навіть втрати життів [2] (Рис. 1).

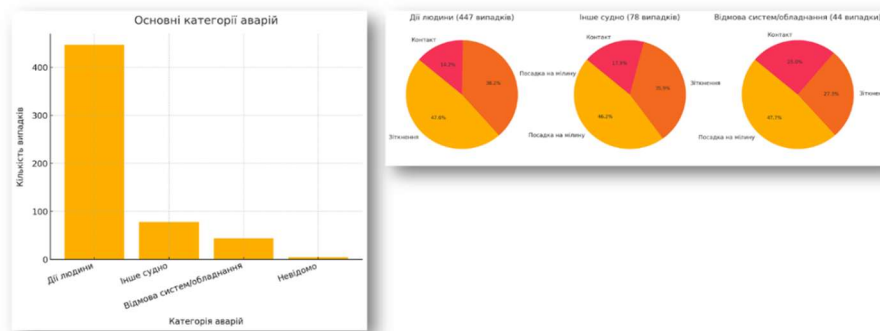


Рисунок 1 — Аварійні ситуації з вини фактору людини

Невиконання критичних стандартів безпеки, таких як МППЗС-72, може призвести до катастрофічних наслідків, включаючи зіткнення суден, аварії та значні штрафи [3]. Тому важливий рівень досвіду інструктора з тренажерної підготовки, який дозволяє йому оцінити ситуацію руху судна при виконанні тих чи інших вправ здобувачами освіти.

Через збільшення обсягу інформації, що надходить від навігаційних систем, судноводії часто стикаються з перевантаженням, що може призвести до помилок. Важливо розробити системи, які ефективно фільтруватимуть та встановлювати пріоритети до інформації.

Покращення ситуаційної обізнаності у складних навігаційних умовах, особливо у вузьких каналах та портах, судноводії можуть не мати повної картини ситуації. Важливо впровадити технології, які допоможуть створити всебічну та точну картину навігаційної ситуації.

Підходи щодо вирішення проблем безпеки судноводіння

Відображення прогнозованої, «фантомної» траєкторії руху судна під час зміни курсу судна зазвичай, яка дозволяє отримати прогноз в середньому на 6–8 хвилин і не враховує подальші зміни курсу, прогноз будується лише для однієї дії. То того ж не враховано ефект «останньої милі», що може тривати навіть і до 10 хвилин, коли судно залишається некерованим.

Отже виникає невизначеність що відображається у коливаннях траєкторії руху судна під час керування судном операторами-судноводіями при проходженні тренажерної практики на симуляторах.

На зображеннях показано роботу курсанта на симуляторі. Де він проходить через Босфор (Рис.2). Тут показано багато зайвих рухів. Відповідно до поданих графіків це свідчить про його невпевненість по курсу та по швидкості. Наче показники кривої показані більш-менш. Це свідчить про те, що здобувач освіти має непогану теоретичну підготовку, але йому бракує практичного досвіду. Тому під час тримання курсу та його зміни треба усвідомлювати послідовність своїх рухів та аналізувати їх.

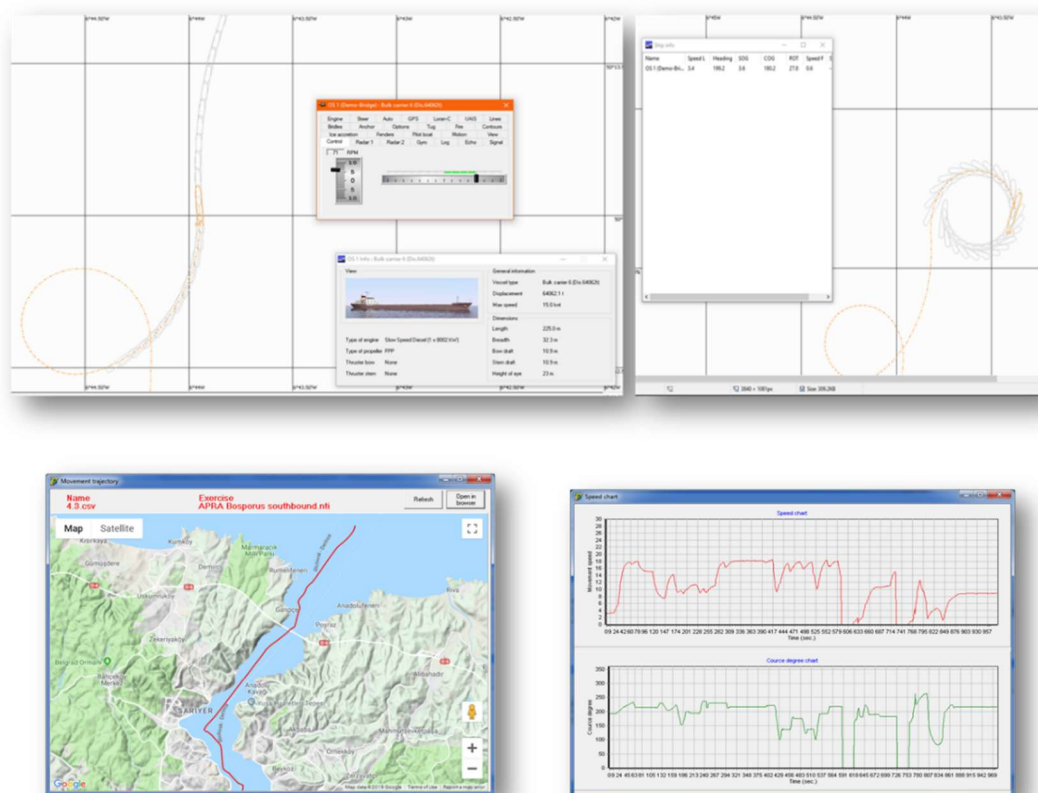


Рисунок 2 — Аналіз дій судноводія при переході протокою Босфор

Аналіз та візуалізація траєкторій руху судна на основі зчитування навігаційних даних з електронних дисплеїв дають змогу глибше оцінювати ефективність маневрування, особливо в умовах складних навігаційних районів — портах, протоках або поблизу небезпечних ізобат.

Є такі навігаційні тренажери «Wartsila Transas». Але принцип роботи останнього вищевказаного тренажера полягає у тому, що якщо навіть перейшов певну точку на карті, то на екрані з'являється віконце, яке подає запит подальших дій. Якщо в теорії курсант зробить правильний вибір дій, то на практиці він як судноводій може допустити помилку. Тому авторами спільно із викладачами кафедри управління судном, наочних матеріалів та за допомогою штучного інтелекту, розроблено програму, яка розпізнає окремі області на екрані. Завдяки тестуванню, це дозволило в режимі реального часу перенести ці дані на іншу систему, яка працює як система підтримки прийняття рішень. На судні не можна встановлювати власне програмне забезпечення, але можна встановити додаткові системи, якщо працює камера.

Таким чином, завдяки програмі було досліджено невпевненість судноводія у своїх діях через брак практичного досвіду. І вже система підказує подальших його алгоритм дій для покращення ситуації.

Сегментація траєкторії судна на фрагменти, що відображають різні стратегії штурмана, передбачає ретельний аналіз гідрографічних умов та лоцій, а також урахування експертних рекомендацій капітанів і навігаційних інструкторів.

Такий підхід дає змогу визначити критичні ділянки з підвищеною складністю маневрування, де часто відбуваються зміни курсу [4], і забезпечує ефективніше планування та контроль за рухом судна.

Під час тренування курсантів на симуляторах, здобувачі освіти в більшості випадках тримаються правильного курсу, не перетинають ліній розходження, наприклад: показано на рисунку тренування на симуляторах у протоці Босфор. Але все одно наявні неузгодженні траєкторії (Рис. 3).

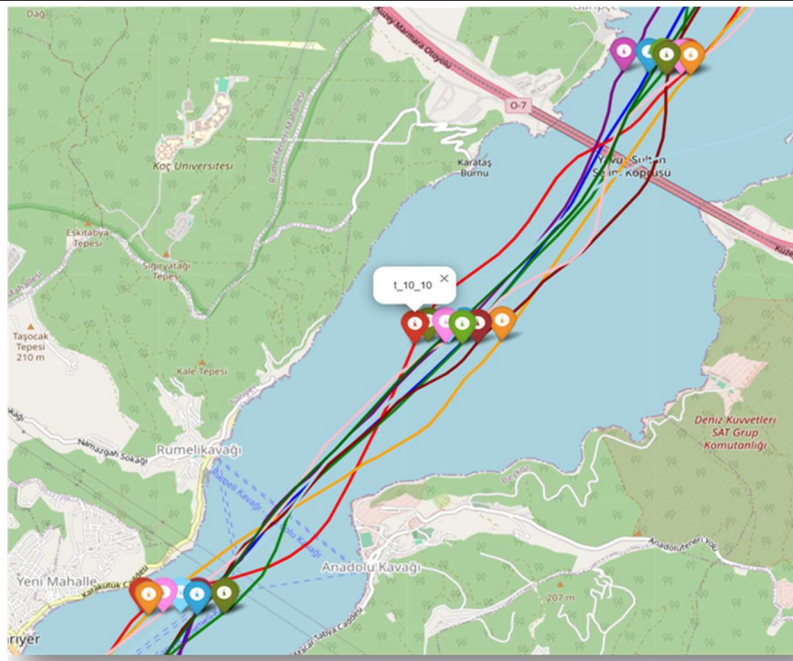
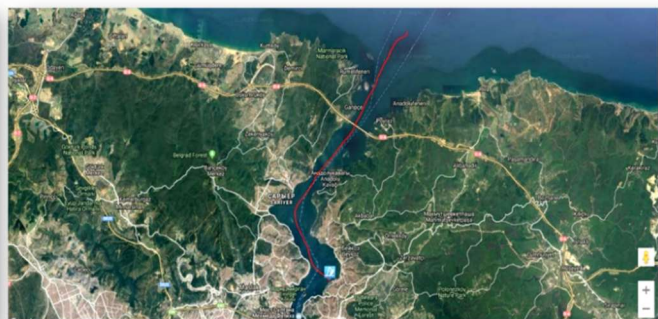


Рисунок 3 — Категорії траєкторій за рівнем ризику

Отже, це дозволяє нам, використовуючи траєкторію та цифровізацію, переходити до оцінки виконання маневрів. Наприклад, на рисунку показано наче злагоджену траєкторію руху судна у протоці Босфор, але курсант втратив контроль над його керуванням і потрапив в аварію (Рис. 4). Коли ми використовуємо дані з серверу ECDIS, наведено на рисунку ліворуч, то можемо сформувати модель поведінки судноводія і навіть мотиваційні ознаки [5–7].

TIME	LAT	LOX	COG	SOG	HOG	LOG	SET	DRIFT	SPDF	SPDA
0	41.25713646	29.15372911	193	3.122	193	3.122	103	0	-0.002	-0.002
5	41.25707015	29.15370873	193	3.126	193	3.126	103	0	0	-0.006
10	41.25700185	29.15368768	193	3.13	193	3.13	103	0	-0.001	-0.006
15	41.25693353	29.15366677	193	3.134	193	3.134	103	0	-0.001	-0.008
20	41.2568652	29.15364579	193	3.139	193	3.139	103	0	0	-0.009
25	41.25679688	29.15362476	193	3.143	193	3.143	103	0	-0.001	-0.01
30	41.25672856	29.15360382	193	3.148	193	3.148	103	0	-0.001	-0.011
35	41.25666024	29.15358285	193	3.152	193	3.152	103	0	0	-0.012
40	41.25659192	29.15356183	193	3.156	193	3.156	103	0	-0.001	-0.013
45	41.25651973	29.15354089	193	3.16	193	3.16	103	0	-0.001	-0.013
50	41.25644615	29.15351991	193	3.164	193	3.164	103	0	-0.001	-0.014
55	41.25637263	29.15349888	193	3.202	193	3.202	103	0	0.009	-0.026
60	41.25629818	29.15347564	193	3.452	193	3.452	103	0	0.039	-0.059
65	41.25621476	29.153451	192	4	194	3.999	103	0.1	0.333	-0.515
70	41.25611476	29.15342222	192	4.92	195	4.909	105	0.3	0.693	-1.36
75	41.255991	29.15338443	193	6.125	199	6.094	108	0.6	0.934	-2.163
80	41.2558408	29.15333135	195	7.324	203	7.267	112	0.9	1.034	-2.859
85	41.25566894	29.15325865	198	8.299	208	8.185	118	1.4	1.269	-4.022
90	41.25548283	29.15315881	204	9.131	215	8.963	124	1.7	1.304	-4.793

Експорт даних з симулятора TRANSAS



Траєкторія руху судна в локації Босфор

Рисунок 4 — Аналіз log-файлів з серверу ECDIS

Використовуючи нечіткі множинні і застосовуючи програмне забезпечення, яке дозволяє оцифрувати це, перевести в шкалу лінгвістичну нечітких множин, то ми можемо отримувати карту дій судноводія. Розроблена програма мовою Python аналізує дані з файлу CSV, які містять значення швидкості (SOG). Спираючись на ці дані, програма виконує дві основні задачі:

1. Категоризація даних: Значення швидкості розділяються на різні категорії, такі як «Дуже повільно», «Повільно», «Середньо», «Швидко», «Дуже швидко» і «Критично швидко».

Потім виводиться розподіл цих категорій, і програма створює стовпчасту діаграму для візуалізації цього розподілу.

2. Генерація нечіткої належності: Програма визначає функції належності для кожної з категорій швидкості на основі трапецієподібних функцій.

Ці функції показують, наскільки кожне значення швидкості відповідає різним категоріям (Рис. 5).

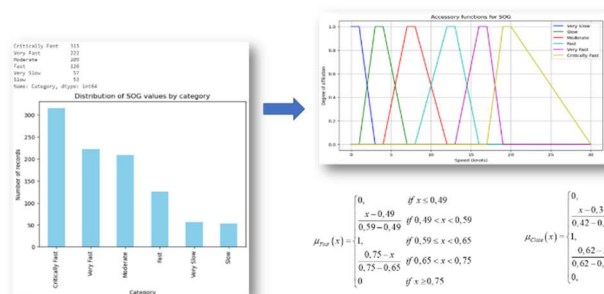


Рисунок 5 — Побудова нечітких множин програмним способом

На основі програмного коду були отримані відповідні графіки, що ілюструють показники руху судна за його експериментальними даними [8], у вигляді нечіткої функції приналежності.

Показано карту дій судноводія, його сприйняття швидкості, як її порівняти із запропонованою. Наприклад, якщо порівняти із запропонованою лоцманами або відомими фахівцями завдяки моделі лінгвістичної функції приналежності нечіткої, а потім перевести це у формули.

Якщо використовувати моделі цієї поведінки, то можна спрогнозувати дії та ступінь ризику судноводіїв. Узагальнені показники нечітких множин дозволяють визначити рівень ризику відповідних обставин. Індивідуальні особливості керування судном, притаманні кожному штурману, ускладнюють безпосереднє порівняння маневрів через різноманітність стилів управління та підходів до прийняття рішень (Рис. 6).

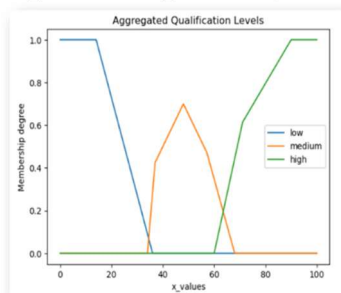
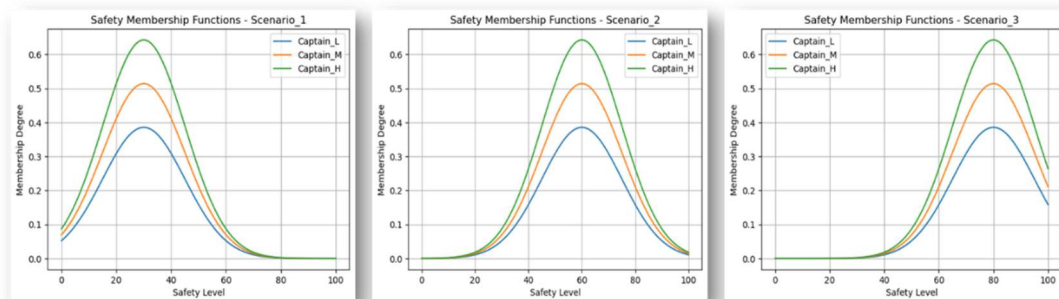


Рисунок 6 — Індивідуальні нечіткі функції приналежності курсанта

Водночас основними критеріями оцінки залишаються безпека судноплавства та ефективне використання ресурсів — передусім палива й часу. Відповідно, усі траєкторії маневрів, які відповідають цим критеріям, можна вважати задовільними.

Під час навчання курсант при використанні певних сценаріїв в різних локаціях, можна буде спрогнозувати ймовірність аварії або порушення правил безпеки (Рис. 7).



Сценарій 1: «Навігаційний маршрут через густі тумани в районі Сан-Франциско»

Сценарій 2: «Навігаційний маршрут через зону високої щільності руху в районі Суецького каналу»

Сценарій 3: «Навігаційний маршрут через штормову зону в Північній Атлантиці»

Рисунок 7 — Нечіткий аналіз ризику групи судноводіїв за сценаріями

Висновки. У результаті проведеного дослідження доведено ефективність використання навігаційних тренажерів як інструменту виявлення кваліфікаційних параметрів судноводіїв. Запропоновано й реалізовано методику аналізу та візуалізації траєкторій руху судна на основі зчитування навігаційних даних з ECDIS-серверу, що дозволяє виявляти невпевнені маневри курсантів при проходженні складних ділянок маршруту судна. Розроблено програмне забезпечення, яке в режимі реального часу розпізнає ключові області на екрані тренажера й передає інформацію до системи підтримки прийняття рішень із застосуванням нечіткої логіки. Побудовані нечіткі функції приналежності швидкості та індивідуальні карти дій судноводія підтвердили можливість цифрової оцінки ризику маневрування та прогнозування аварійних ситуацій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Nosov P. S., Palamarchuk I.V., Safonov M.S., Novikov V.I. Modeling the manifestations of the human factor of the Maritime crew // Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Dnipro) № 5 (77). — 2018. Pages 82–92. <https://doi.org/10.15802/stp2018/147937>.
2. Носов П.С., Тонконогий В.М., Яковенко О.Є. Застосування адаптивних функцій для впливу на модель знань студента // Тр. Одес. политехн. ун-та. Одесса: ОНПУ. Вып.1(25). 2006. — С. 118–122.
3. Zinchenko, S., Kobets, V., Tovstokoryi, O., Nosov, P., & Popovych, I. (2023). Intelligent System Control of the Vessel Executive Devices Redundant Structure. In CEUR Workshop Proceedings (Vol. 3403, Paper 44, pp. 582-594). CEUR-WS.org.
4. Zinchenko S.M., Nosov P.S., Popovych I.S. Control redundancy as a quantitative measure of maneuverability // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. — Херсон: Херсонська державна морська академія, 2021. № 3(21). С. 23-35.
5. Popovych, I., Plokhiih, V., Hrys, A., Pavliuk, M., Nosov, P., & Zinchenko, S. (2023). Operationalization of footballers' emotional intelligence in the dimensions of motivational orientation: Analysis based on the basic positions. Journal of Physical Education and Sport (JPES), 23(3), 772-781. <https://doi.org/10.7752/jpes.2023.03095>.
6. Popovych, I. S., Cherniavskyi, V. V., Dudchenko, S. V., Zinchenko, S. M., Nosov, P. S., Yevdokimova, O. O., Burak, O. O. & Mateichuk, V. M. (2020). Experimental Research of Effective «The Ship's Captain and the Pilot» Interaction Formation by Means of Training Technologies. Revista ESPACIOS, Vol. 41(№11). Page 30. Retrieved from: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n11/20411130.html>
7. Pavlo Nosov, Ihor Popovych, Serhii Zinchenko, Vasyl Cherniavskyi, Viktor Plokhikh, Halyna Nosova (2020). The research on anticipation of vessel captains by the space of Kelly's graph. Revista Inclusiones, Vol: 7 num Especial, pp. 90-103.
8. Zinchenko, S., Ben, A., Nosov, P., Popovych, I., Mateichuk, V., & Grosheva, O. (2020). The vessel movement optimisation with excessive control, Bulletin of university of Karaganda. Physics, 99(3), 86–96. <https://doi.org/10.31489/2020Ph3/86-96>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВІВ КАТЕГОРІЙ ДОВІРИ ЕЛЕКТРОННИХ НАВІГАЦІЙНИХ КАРТ НА ПОПЕРЕДНЮ ПРОКЛАДКУ

Петровський А.В., Берест О.І.
Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. Безпека сучасного судноплавства має дуже високу залежність від надійності та точності навігаційних карт. Під час планування та виконання попередньої прокладки повинні враховуватися дуже багато факторів та бути взятими до уваги навігаційні небезпеки, які можуть собою уявляти, наприклад, рифи, скелясті береги, затонулі судна, і становлять загрозу для судноплавства. Точність та місцезнаходження цих небезпек може бути визначено завдяки категоріям довіри до карт — Zone Of Confidence (ZOC), що стали своєрідним орієнтиром для штурманів. В залежності категорії довіри до навігаційних даних розробляються і стратегії уникнення ризиків.

Актуальність досліджень. Штурмани можуть впевнено орієнтуватися та виконувати навігацію в водах категорій ZOC A1 і A2. У зонах довіри В ймовірність натрапити на небезпеки є мінімальною, але все ж залишається ймовірною. Виконуючи навігацію у зонах ZOC C потрібно бути особливо обережними, оскільки там можуть бути непозначені небезпечні предмети, особливо біля рифів і скелястих берегів. Води ZOC D вимагають підвищеної уваги, оскільки у цих зонах довіри дуже мало даних, вони застарілі або гідрографічне дослідження не проводилося зовсім. При плаванні у зонах ZOC U рекомендується, щоб вони отримували більший рівень небезпеки, як ZOC D. Важливим є приділення уваги до масштабу карти, так як вибір масштабу електронної навігаційної карти – Electronic Navigational Chart (ENC), тісно пов'язаний із завданнями, для яких ця карта створюється [1]. Зазвичай ENC, що призначені для прибережної навігації чи підходу до порту мають масштаб, при якому вони охоплюють значні акваторії, але деталізація об'єктів на них обмежена. В свою чергу для безпечного маневрування безпосередньо в порту використовують карти з більшим масштабом, які надають змогу штурману побачити об'єкти та небезпеки більш детально. На практиці це означає, що на прибережних ENC гідрографічна служба не ставить за мету відображати всі небезпеки з максимальною точністю. Наприклад, навіть якщо підводна небезпека займає деяку площу, на карті її можуть подати як точковий об'єкт. Це виправдано саме призначенням такої карти — для безпечного проходу на відстані, а не для маневрування поруч із небезпекою. Якщо ж потрібно детальніше відобразити небезпечний район, слід застосовувати карту з більшим масштабом. На жаль, відомі випадки, коли через використання карт з невідповідним масштабом або через відсутність у системі ECDIS карти з найбільшим масштабом і використання карти середнього масштабу із перевищеним масштабуванням, судна проходили занадто близько до ізольованих підводних небезпек і сідали на мілину [2]. Подібні аварії траплялися й тоді, коли площинні перешкоди через особливості масштабу компіляції даних були узагальнені до точкових об'єктів, а моряки не врахували цього. Аналогічні візуальні особливості і по відображенню символів точкової небезпеки – Isolated Danger Symbol (IDS), які не масштабуються разом із картою взагалі, і, може здаватися, при збільшенні масштабу, що судно вже не поряд із небезпекою. Варто пам'ятати, що надмірне масштабування карти руйнує зв'язок між масштабом відображення і тим, для чого ця інформація призначена. Карти великого масштабу охоплюють менші ділянки, але містять більше деталей, зокрема й щодо зон довіри. При переході на карту з меншим масштабом, дві сусідні зони CATZOC можуть об'єднатися, і тоді, з міркувань безпеки, доведеться орієнтуватися на зону з нижчим рівнем довіри. При цьому це може статися автоматично. При відповідних налаштуваннях карт у Electronic Chart Display and Information System (ECDIS). Також необхідно брати до уваги те, що категорія зон довіри до карти безпосередньо залежить від джерела гідрографічних даних. Гідрографічні дані можуть бути отримані різними методами дослідження, згідно яких їм призначають зону довіри.

Загальні рекомендації щодо призначення зон довіри (ZOC) такі [3](р.8):

- «Дані з портів зазвичай отримують класифікацію ZOC A1, A2 або B.

- Супутникові дані — ZOC C.
- Лазерне сканування з літака — ZOC B, іноді A2.
- Дані від приватних судновласників — ZOC D.
- Дані, зібрані до 1980 року, отримують класифікацію ZOC B, C або D. Як правило, чим старіші дані, тим нижча оцінка».

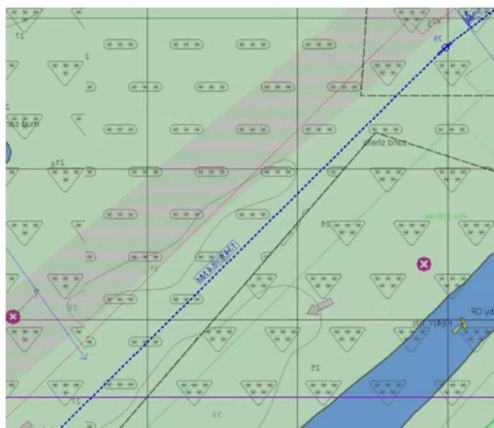
Використовуючи ці рекомендації, щодо зон довіри треба брати до уваги, що вони є загальними та гідрографічна служба може відступати від цих рекомендацій в залежності від кожного окремого випадку. У такому разі повинні бути використані локальні знання про район та навігаційні небезпеки. Згідно стандарту формату ENC S-57 [4] потенційно-небезпечними об'єктами для навігації є скелі, рифи, затонулі судна, а також окремі проміри глибин. При кодуванні цих об'єктів, а також при поданні промірів глибин, може додаватися додаткова інформація про якість даних. Ця інформація відноситься лише до конкретного об'єкта і може бути корисною для користувачів ENC, які прагнуть оцінити ступінь довіри до навігаційних даних у певному місці. Структура ENC дозволяє гідрографічним службам вносити таку додаткову інформацію, однак її наявність не є обов'язковою вимогою.

Постановка задачі. ІНО [3] пропонує вважати небезпечними для навігації лише вказані вище точкові підводні небезпеки. Але у той самий час, у тому ж документі, є інформація загальних рекомендацій щодо призначення зон довіри (ZOC), де акваторії призначається ZOC C, якщо вона обстежена супутниковими засобами. Виникає питання: якщо точкові підводні небезпеки мають категорію ZOC C, чи не потрібно вважати ізобати таких акваторій теж з таким ступенем точності георозміщення та глибини?

Результати досліджень. Слід вважати, що оскільки дослідження в одній тій самій акваторії проводяться в основному саме з використанням одних тих самих пристроїв та методів, то призначення категорій ZOC повинно бути однаковим як для точкових об'єктів (Obstructions, Rocks and reefs, Wrecks, soundings), так і лінійних (ізобат), і площадних, тобто зон «динамічної» мілини (оскільки така мілина може знаходитись будь де у колі відповідного до категорії довіри радіусу), обмежених безпечною ізобатою (залежить від призначеної ECDIS безпечної ізобати). Все це, звісно, якщо поряд з такими об'єктами знаходяться інші об'єкти відповідної категорії ZOC. Також краще користуватися правилом знаходження судна «ближче до небезпеки», за яким, якщо існує у даному місці декілька різних зон ZOC (рис.1 а, б), то на таких ділянках для забезпечення навігаційної безпеки можна скористатися двома способами:

1. Призначити додаткові шляхові точки, які поточне плече маршруту поділять на кількість ділянок, відповідно до дій кожної зони ZOC. По таких ділянках розрахувати безпечну глибину у межах припустимого відхилення від плеча маршруту — Cross Track Distance (XTD) - відповідно до поточної категорії ZOC.

2. По даному плечу маршруту подивитись найменші глибини у межах XTD і, відповідно до найнижчої, з присутніх категорій ZOC на плечі маршруту, розрахувати безпечну глибину над такою точковою глибиною.



а)



б)

Рисунок 1 — Наявність різних категорій ZOC на маршруті

Що стосується попередньої прокладки, яка пролягає поряд з віднесеними до ZOC B, C, D, U точковими небезпеками, можливі теж декілька варіантів обробки таких впливів, після визначення можливого георозміщення небезпеки (червоний контур навколо точкового об'єкту IDS у масштабі карти (рис.1а) відповідно до таблиці категорій ZOC [3]):

1. Якщо контур не перетинає плече маршруту, але знаходиться у межах XTD, зменшити, за дозволом капітана, межі XTD з відповідного борту судна (рис.1а)
2. Якщо перетинає, встановити додаткові точки/точку повороту для уникнення такого перетину.

Ізобати, які пролягають поряд з плечами маршруту категорій CATZOC B, C, D, U логічно уявити теж з неточним георозміщенням і глибиною внаслідок отримання даних з такою точністю одним і тим самим способом та пристроєм, наприклад, для категорії ZOC C — супутникові дані [3]. Тоді для позначення неточного георозміщення можна використати додатковий користувальницький шар інформації, на якому встановити Limited Danger Lines (LDL) зі статусом Depth з підписом можливої глибини (розрахованої, відповідно до таблиці категорій ZOC [3]) і повторюванням оригінального контуру ізобати такими сплайнами відповідно до можливого місцезнаходження ізобати у масштабі карти. Звісно, доцільно та достатньо розташовувати такі LDL зі сторони маршруту судна.

Висновки. Розглянуті правила віднесення об'єктів до категорій ZOC дозволили зробити припущення про неповне охоплення всіх можливих підводних небезпек, зокрема, ізобат. Подальші дослідження карт ENC (рис.1) привели до необхідності розробки рекомендацій щодо попередньої прокладки в умовах, коли на одному плечі маршруту зустрічаються декілька категорій ZOC, а також практичні поради щодо візуалізації можливого георозміщення лінійних об'єктів, які можуть приналежати до відповідних категорій ZOC.

ЛІТЕРАТУРА

1. S-66 Facts about Electronic Charts and Carriage Requirements (Edition 2.0.0, October 2024). URL: https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-66/S-66%20Ed%202.0.0_Final.pdf
2. Report on the investigation of the grounding of Ovit. URL: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/547c6f2640f0b60244000007/OvitReport.pdf>
3. Mariners' Guide to Accuracy of Depth Information in Electronic Navigational Charts (ENC). Edition 1.0.0 – September 2020. Published by the International Hydrographic Organization, 4b quai Antoine 1er Principauté de Monaco, p.23. URL: www.iho.int
4. S-57 Component Document Appendix A, Chapter 1 — Object Catalogue. URL: <https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-57/31ApAch1.pdf>

РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОГО ПРОГРАМНОГО МОДУЛЮ РАДАРУ BRIDGE MASTER E ДЛЯ УМОВ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Петровський А.В., Сокурєнко Я.О., Зяблов Д.О.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. В умовах стрімкого розвитку морської індустрії виникає питання необхідності пошуку нових можливостей організації навчального процесу. Стрімкий розвиток технологій у галузі морської освіти змінює підхід до підготовки висококваліфікованих судноводіїв. Традиційні методи навчання через неможливість прямого відображення інформації, а розвиток сучасних технологій в галузі морської освіти - через високу вартість технічних засобів та складнощі реалізації цих самих технологій - часто обмежені. В умовах зростаючої потреби в дистанційній формі підготовки фахівців-судноводіїв, постало питання з отриманням практичних навичок для поглибленого розуміння теоретичних знань. Традиційні практичні методи підготовки, стають недоступними, створюючи суттєвий розрив між освітніми можливостями та професійними вимогами.

Актуальність дослідження. Наявні демонстраційні моделі, попри їх цінності, створюють лише ілюзію повноцінного навчання. Гостро ця проблема виступає в неможливості практичного виконання комплексних завдань навігації, наприклад, при проведенні обсерваційних дій, що є одним з фундаментальних вмінь судноводія. Без доступу до радару ця критична важлива ланка професійної компетентності, не може бути розкрита повністю і залишиться лише теоретичними знаннями, що є неприпустимим для судноводіїв, оскільки модельний курс IMO 1.27 The Operational Use of Electronic Chart Display and Information Systems [1] прямо вказує на необхідність навичок щодо проведення обсерваційних дій. Навички можливо отримати у тренажерних класах, що на дистанційній формі навчання досягти неможливо, оскільки програмне забезпечення, яке імітує навігаційний місток, локалізовано. Сучасні дистанційні умови отримання практичних навичок користування демонстраційною версією ECDIS NaviSailor від компанії Wärtsilä не дозволяють повністю опанувати знаннями, необхідними для майбутнього судноводія. Особливо, якщо це стосується одночасного використання і ECDIS, і радару. Надання можливості курсантам відпрацювати основні навігаційні навички та здобути практичний досвід роботи на радарі в умовах: дистанційного навчання та відсутності рішень хмарних технологій, сприяє підвищенню рівня професійної підготовки судноводіїв відповідно до міжнародних вимог та стандартів безпеки мореплавства. Також актуальність даного дослідження охоплює інші аспекти сучасної морської освіти.

Постановка задачі. На даний час розроблені програмні комплекси тренажерів працюють одночасно: ECDIS + Conning Display + RADAR і коштують досить дорого. Залишається також необхідністю користування такими віртуальними навігаційними містками в очному форматі. При тому опанування навичками роботи у ECDIS відповідно до вимог навчання на тренажерах [2] і модельних курсів IMO 1.27 [1] та IMO 3.12 Assessment, Examination and Certification of Seafarers [3], вимагає можливість отримання таких навичок саме з використанням радару. Тому, розробка імітаційної програмної моделі інтерфейсу і функціоналу радару є одним з актуальних завдань подальшого створення або локального, або хмарного стенду для одночасного використання і ECDIS, і радару.

Результати досліджень. Відповідно до специфікацій формату карт S57 [4, 5] та функціоналу радару Bridge Master E [6] на мові програмування Python версії 3.12.3 у середовищі Spyder 6.0 було розроблено імітаційний програмний модуль SimulationBridgeMasterE. Оскільки не пропонується використання Conning display, то деякі функції щодо керування судном винесені на головний екран застосунку: хід судна та можливість повороту (рис.1).

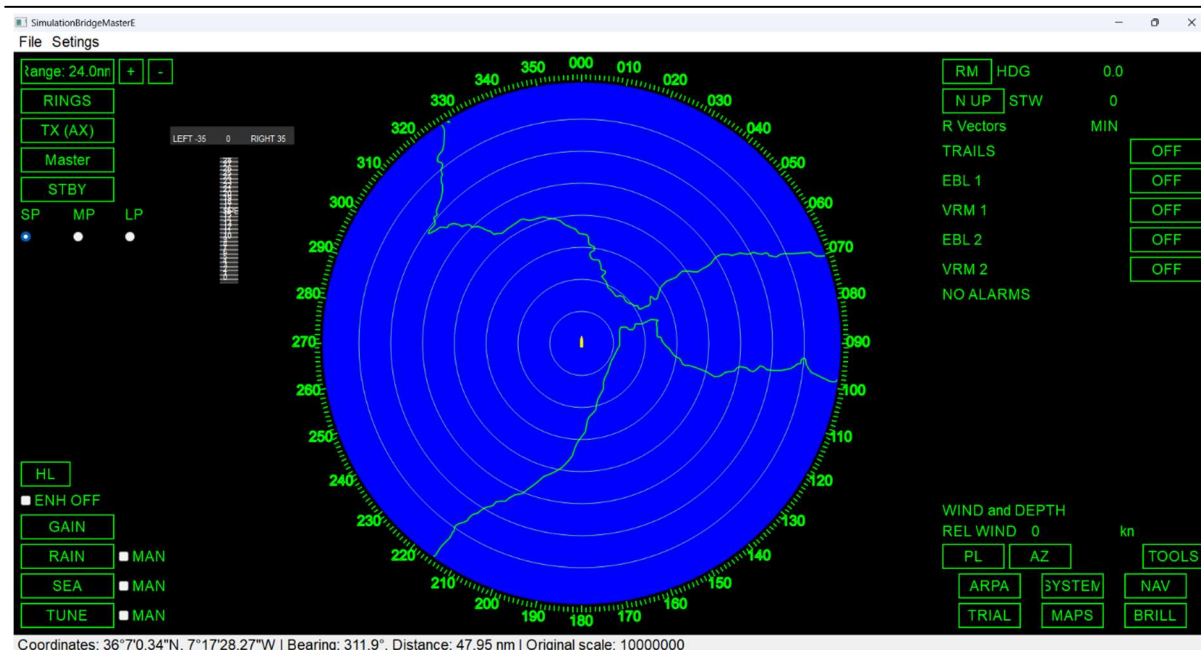


Рисунок 1 — Загальний вигляд головного екрану SimulationBridgeMasterE

Імітацію луна-сигналу зроблено відповідно до отриманої інформації Land Danger (контурів) з карти ENC (рис.1, 2).

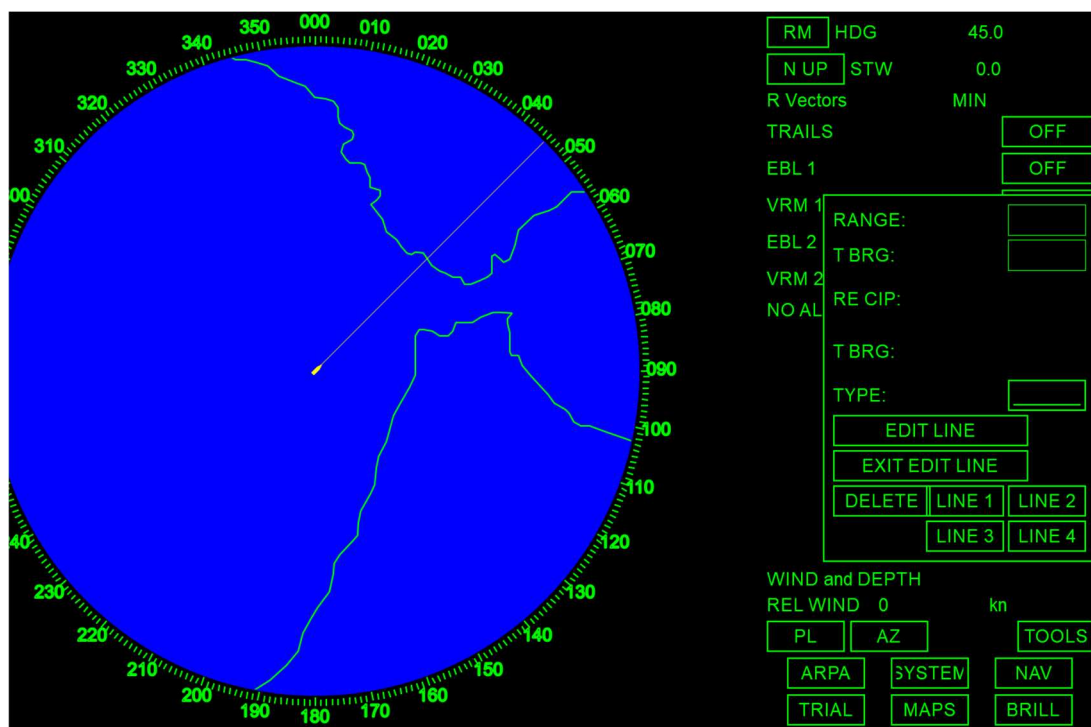


Рисунок 2 — Імітація луна-сигналу та використання меню паралельної індексації

На даний час розроблений функціонал дозволяє робити більшість дій, пов'язаних з функціями радару, без використання ARPA: зміна довжини імпульсу (здійснюється імітація подовження/скорочення візуального луна-сигналу), ПКД кільця, зміна орієнтації, паралельна індексація, визначення координат (імітація даних GPS – отримання з карти), дистанцій, пеленгів, завантаження маршруту у форматі .rt3 (рис.3).

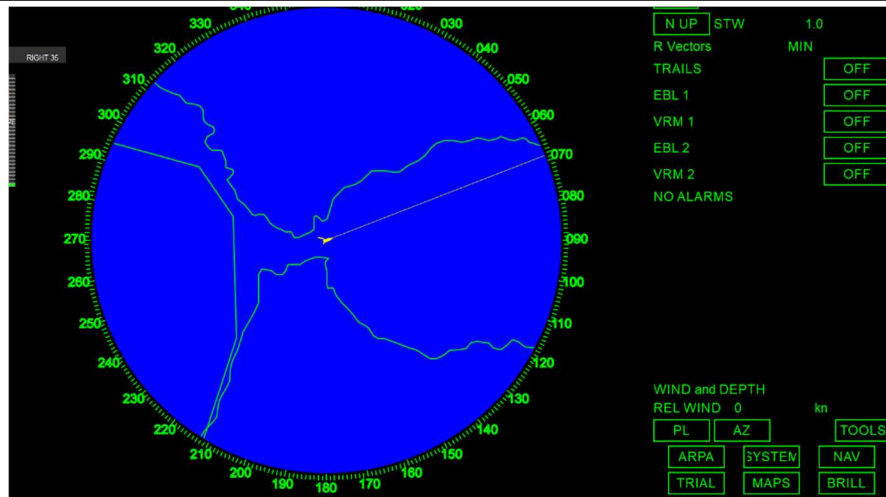


Рисунок 3 — Відображення маршруту

Фізико-математична модель судна не використовується, оскільки при подальшому розширенні функціоналу потрібно буде з'єднуватися з демонстраційною версією ECDIS NaviSailor, у якій не реалізовано у повному форматі фізико-математичну модель судна, як на тренажері NaviSailor 4000, який локалізований у класі тренажерів та вимагає очного використання.

Висновки. Розроблений програмний модуль імітує функціонал радару Bridge Master E тренажерного навігаційного містка і дозволяє використовувати його для самонавчання з метою отримання практичних навичок користування функціоналом радару. У подальшому планується отримувати ID карти з ECDIS для суміщення карти акваторії ECDIS та її імітації на радарі у вигляді контурів об'єктів Land Danger для повноцінного використання обох віртуальних приладів.

ЛІТЕРАТУРА

1. IMO 1.27 The Operational Use of Electronic Chart Display and Information Systems. https://www.academia.edu/36815902/THE_OPERATIONAL_USE_OF_ELECTRONIC_CHART_DISPLAY_AND_INFORMATION_SYSTEMS_ECDIS_IMO_Model_Course_IMO_1_27_A_TRAINING_PRESENTATION
2. Наказ Міністерства інфраструктури України 07.10.2014 № 491 «ВИМОГИ до тренажерного та іншого обладнання, призначеного для підготовки та перевірки знань судноводіїв з використання електронних картографічних та навігаційно-інформаційних систем» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1329-14#Text>
3. IMO 3.12 Assessment, Examination and Certification of Seafare. https://www.omtc.ua/images/library/security/imo_3_12_2017.pdf
4. IHO TRANSFER STANDARD for DIGITAL HYDROGRAPHIC DATA, 3.1 ed. (2000-2014), Special Publication No. 57, Publisher: International Hydrographic Bureau, MONACO, 2014, p.3-B-8. URL: <https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-57/31Main.pdf> (дата звернення 11.01.2025).
5. Manual on Codes, International Codes, Annex II to the WMO Technical Regulations Part B – Binary Codes, Part C – Common Features to Binary and Alphanumeric Codes. 2023 ed.; Publisher: WMO, Geneva, 2023, Volume I.2, No.306, p.1407. URL: https://library.wmo.int/records/item/35625-manual-on-codes-volume-i-2-international-codes?language_id=13&back=&offset= (дата звернення 11.01.2025)
6. BRIDGE MASTER E RADAR OPERATING INSTRUCTIONS https://www.morse.gr/ARPA_RADARS/Bridgemaster%20E%20Operating%20Instructions.pdf

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ СУЧАСНИХ ENC КАРТ ФОРМАТУ S57

Петровський А.В., Литовченко В.І.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Навігаційні інформаційні системи з кожним роком стають все більш необхідним інструментом для оцінки навігаційної обстановки протягом виконавчої прокладки, на стадії планування переходів завдяки збільшенню власного функціоналу, підвищення рівня свідомості офіцерського складу навігаційного містка. Змінене правило SOLAS V/19 вимагає, щоб усі новозбудовані пасажирські судна валовою місткістю 500 і більше, а також новозбудовані вантажні судна валовою місткістю 3000 і більше, які здійснюють міжнародні рейси, були оснащенні картографічними навігаційними інформаційними системами (EKNIS, ECDIS). Для існуючих суден запроваджується поетапне впровадження вимог до оснащення для всіх суден певного розміру, які здійснюють міжнародні рейси [1]. Коректне використання можливостей таких систем повинне підвищити безпеку судноплавства, але на глибинне розуміння суті програмної реалізації того чи іншого функціоналу EKNIS впливає не тільки пояснення у відповідних керівництвах від девелоперів EKNIS, а й знання щодо структури векторних карт.

Актуальність досліджень. Версії EKNIS набувають все більших перспектив розвитку внаслідок розширення як програмних компіляторів так і якості даних карт ENC. Якщо перші надають можливості щодо побудови нових EKNIS та розширення функціоналу існуючих, то якість структури ENC, систематизація картографічного опису, з програмної точки зору, надає можливість більш глибоко розуміти складові векторних навігаційних карт. Подальше використання таких знань у професійній діяльності зменшить кількість потенційних помилок при попередній та виконавчій прокладках. На жаль, зараз, при наданні інформації по темах Model Course 1.27 – Operational Use Of ECDIS для судноводіїв, на це мало звертають увагу, приділяючи її інтерфейсам на тренажерах Navi Trainer 5000, без надання глибокого розуміння складових компонентів карт ENC. Це призводить до підвищення витрат часу на пояснення при налагодженні карт для попередньої прокладки без гарантії засвоєння особливостей параметричного налагодження глибин.

Постановка задачі. При використанні відкритого програмного забезпечення типу OpenCPN можна отримати інформацію по векторним об'єктам як для користувача, що не надасть глибинного розуміння побудови векторних карт, тому пропонується використання додаткового програмного забезпечення, призначеного саме для перегляду та редагування даних карт формату S57 для розширення знань зі структури векторних карт, кількості їх шарів та бази даних на прикладі SeeMyENC 2.2.0.7 [3] з метою отримання інформації по шарах карти на прикладі карти GB4X0000.000.

Результати досліджень. Програмне забезпечення [3] з ліцензією Freeware (після реєстрації) дозволяє передивитись окремо по кожному векторному об'єкту його приналежність до відповідного інформаційного шару, отримати назви шарів інформації. На карті (рис.1) зліва зверху розташовані шари інформації, знизу — короткий опис (масштаб, редакція карти та ін.), у робочій частині — карта. Опис карти при цьому має контекстний тип, в залежності від обраного шару інформації. Для прикладу, помаранчевою стрілкою показаний обраний векторний об'єкт для дослідження: елемент точкової глибини з підписом 233м. У наявності також функціональний сенс кожного шару (Description), назва шару (Acronym) для звертання до його даних програмно.

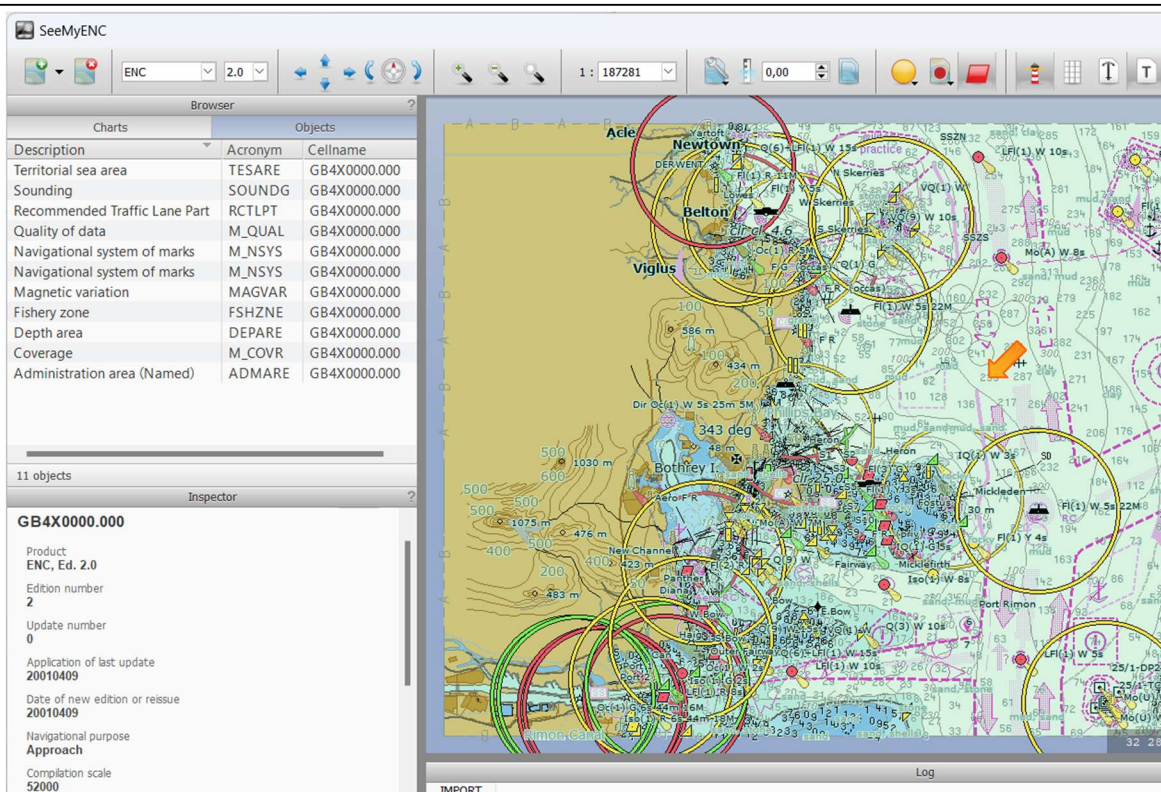


Рисунок 1 — Загальний вигляд досліджуваної векторної карти формату S57

На рис.2 можна побачити обраний шар DEPARE (Depth Area) для даного об'єкту і його кількісні характеристики у цьому інформаційному шарі:

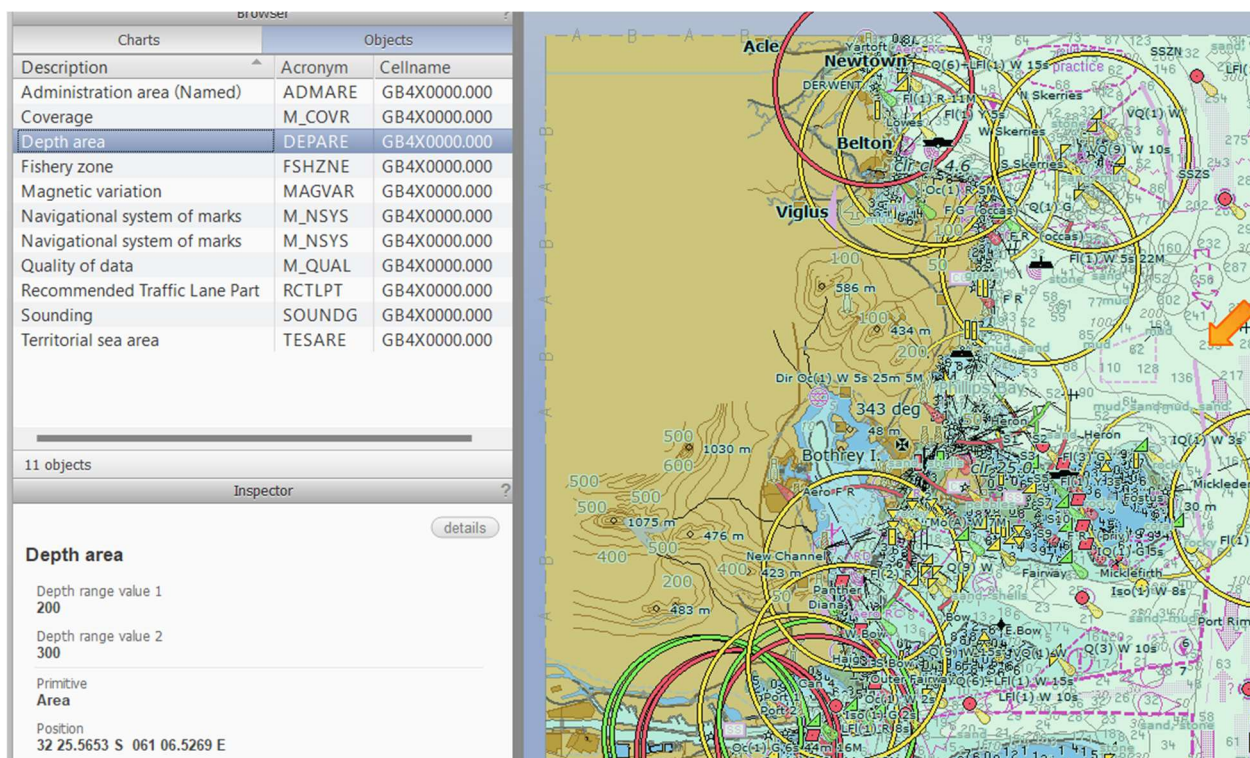


Рисунок 2 — Кількісні характеристики обраного об'єкту точкової глибини

Слід звернути увагу, що на деяких картах ENC, іноді немає ізобат в деяких областях, але є так звані Depth Area [4], які відображають дані точкових глибин, які за власними кількісними характеристиками приналежать цієї області. При цьому програмно вказані лише інтервали приналежності таких глибин до відповідної Depth Area. Такі інтервали

мають назви DRVA11 та DRVAL2. Наприклад, на картах Малакської протоки є такі area (рис.3):

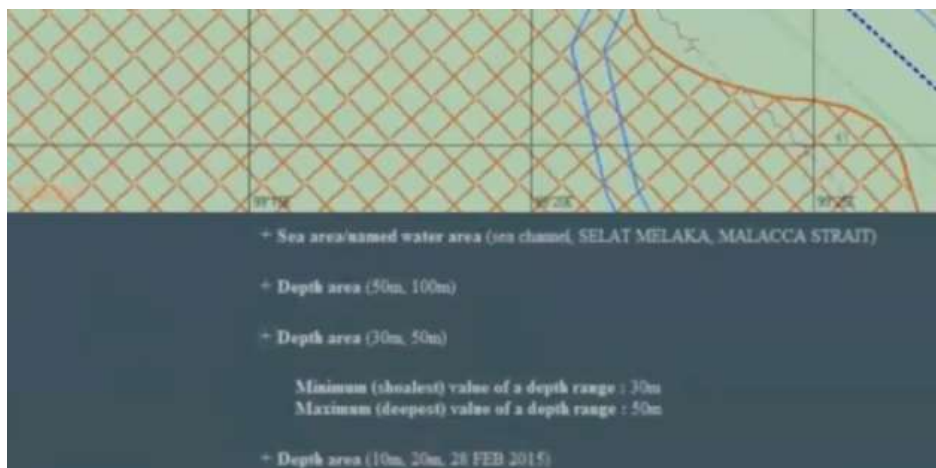


Рисунок 3 — Depth Area з глибиною від 30 до 50м (ECDIS NaviSailor 4000)

Depth Area на рисунку ECDIS NaviSailor 4000 з заштрихованою шаблоною, а ізобати в цій частині акваторії є лише 20м та 50м. Тому, при існуванні невеличких глибин за параметрами Safety Contour у цій частині вона все одно буде замальовуватися лінією, подібною Safety Contour від EKNIS, але її статус буде як глибина у Depth Area. Такі питання можуть виникнути, коли немає поряд ізобат, а точкові глибини при цьому все одно окреслені лініями як Safety Contour.

На прикладі об'єкту ізобати можна отримати інформацію (рис.4):

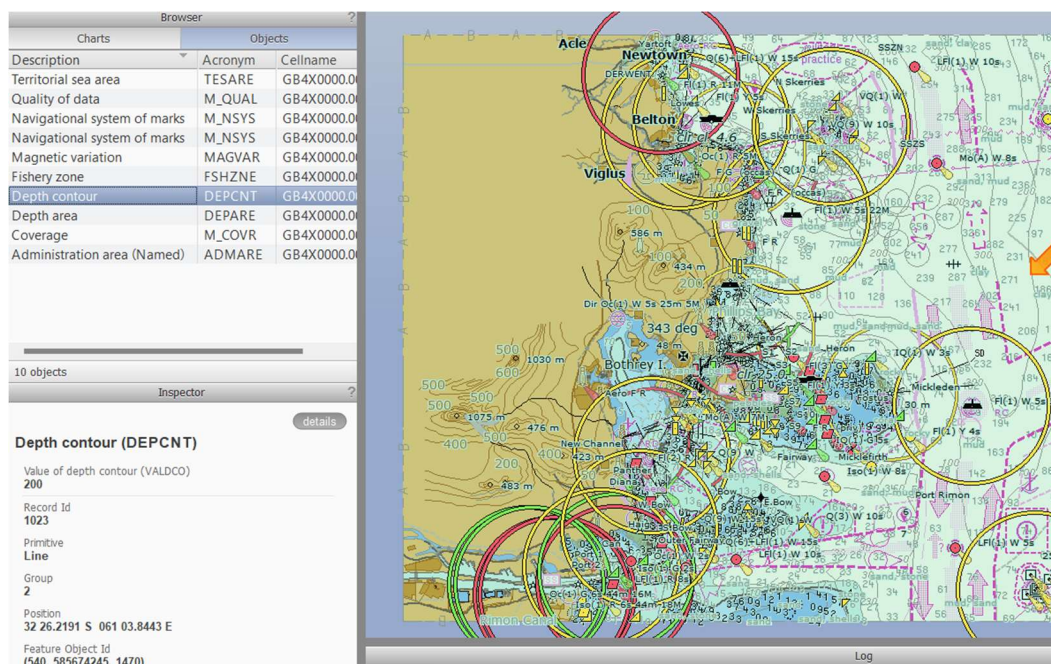


Рисунок 4 — Опис об'єкту ізобати Depth contour шару DEPCNT

Можливо проаналізувати шар, який відповідає за Category Zone Of Confidence: M-QUAL, у якому теж є власні особливості та інші інформаційні шари.

Також при оновленні карт частка штурманів зустрічаються з помилками, причиною яких є недосконале розуміння структури і шаблонів заповнення даними різних інформаційних шарів. Дата сет карти складається з відповідних назв шарів інформації та заповнених даних по особливому шаблону у межах кожного шару. Тому відповідний номер Presentation Library відповідає за можливість коректно графічно відобразити об'єкт на карті та правильно зчитати дані програмним кодом, внаслідок присутності у коді посилань на

назви всіх шарів та їх шаблони заповнення даними. Інша версія такої бібліотеки може призвести до помилок при відображенні карт (errors), оскільки програмно неможливо звернутися до деяких шарів інформації, і, відповідно отримати такі дані. У таких випадках ЕКНІС надасть знак питання на карті (якщо була можливість отримати хоча б координати розташування) або взагалі просто може пропустити такі шари інформації. ІМО не може перевірити алгоритми обробки, тому є регламентована версія сучасної бібліотеки — Presentation Library 4.0, яка підтримує всі сучасні векторні об'єкти. Саме її використання у ЕКНІС гарантує, що у програмному коді присутні назви всіх шарів інформації та відомі шаблони заповнення їх даними. Розуміння послідовності оновлення карт виникає з всебічної інформації про структуру карт. Кожне поточне оновлення комірок карти може здійснюватися за зміною даних по визначеному шаблону даних у межах кожного шару. Нова редакція може надати додаткові полігони, об'єкти, але тільки до вже існуючих шарів даних. Подальші оновлення такого видання можливі, тільки якщо є присутніми всі ID об'єкти всіх шарів інформації. Тому, якщо шар інформації не має даних про ID об'єкт, то і буде згенеровано помилку при оновленні. Рекомендований порядок оновлення є: оновлення каталогу карт, потім — оновлення дата сетів, далі — оновлення комірок карт. При практичному використанні слід завжди порівнювати спочатку номер отриманого видання і встановленого у ЕКНІС для даної карти. Якщо вони співпадають, то оновлення можливе, якщо ні, то спочатку потрібно оновити видання, а вже потім проводити оновлення комірок карти.

Висновки. Аналіз кожного шару інформації з наданням деталізованого опису векторних об'єктів значно розширює розуміння дата сетів карт S57. Саме ці знання виключають можливість помилок при оновленні карт, а при повсякденному використанні надають можливість зрозуміти сенс обробки векторних об'єктів та відображення результатів на екрані ЕКНІС.

ЛІТЕРАТУРА

1. ECDIS carriage requirements
<https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/ElectronicCharts.aspx>
2. IMO Model Course 1.27 — Operational use of ECDIS,
<https://www.furunottraining.com/operational-use-of-ecdis>
3. SeeMyEnc is a simple but effective S-57 chart.
viewer<https://seemyenc.software.informer.com/>
4. ENC Depth Areas. Quality control of sea-bottom surface continuity and error fixes.
Conference: 2020 Canadian Hydrographic Conference, At: Quebec City, Canada,
DOI:[10.6084/m9.figshare.11905599](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11905599)

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗОН НАВКОЛО ОБ'ЄКТІВ CATEGORY ZONE OF CONFIDENCE

Петровський А.В., Ісайчев А.Г.
Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. Сучасні морські перевезення практично неможливі без використання навігаційних інформаційних систем, які підвищують безпеку судноплавства та надають всебічну підтримку офіцерам навігаційного містка, автоматизуючи багато видів рутинної роботи. Але, незважаючи на постійне проходження підвищення кваліфікації з метою сертифікації штурманів по використовуванім ECDIS, це не впливає на складність оцінки навігаційної небезпеки. Наприклад, іноді зустрічаються карти ENC, які тільки на протязі одного плеча маршруту можуть декілька разів змінювати достовірність надання даних по глибинам. В таких умовах розуміння всіх тонкощів оцінювання ситуації набуває максимального значення.

Актуальність досліджень. Визначення безпечної глибини під кілем судна, Under Keel Clearance (UKC), є одним з головних критеріїв оцінки навігаційної безпеки плечей маршруту, оскільки його значення впливає на Safety Contour для подальшого розподілу акваторій на безпечні води та No Go Area. Однак, оскільки карти ENC можуть надавати різну за достовірністю інформацію в залежності від категорії Zone of Confidence (ZOC, CATZOC), ще й досі виникають складнощі при розрахуванні UKC. Наданий час, якщо розглядати карти з класифікацією за таким масштабом, як Coastal:

- ZOC B — навколо 40% від всієї кількості карт такого масштабу;
- ZOC C — навколо 30%;
- ZOC D — навколо 10%;
- ZOC U — навколо 15%.

За способами отримання даних по точності ІНО [1] вважає:

- дані з портів зазвичай отримують класифікацію ZOC A1, A2 або B.
- супутникові дані отримують класифікацію ZOC C.
- лазерні дані, отримані з літака, зазвичай мають класифікацію ZOC B, іноді A2.
- дані приватних судновласників класифікуються як ZOC D.
- дані до 1980 року зазвичай отримують класифікацію ZOC B, C або D. Загалом, чим старіші дані, тим нижча їх класифікація.

Офіцери від Port State Control дуже часто опитують сертифікованих офіцерів навігаційного містка стосовно практичного використання даних CATZOC при попередній прокладці здійсненого переходу.

Постановка задачі. CATZOC має вплив не тільки на глибину під кілем, а ще й на географічне розташування небезпеки і є дуже важливим (рис.1)

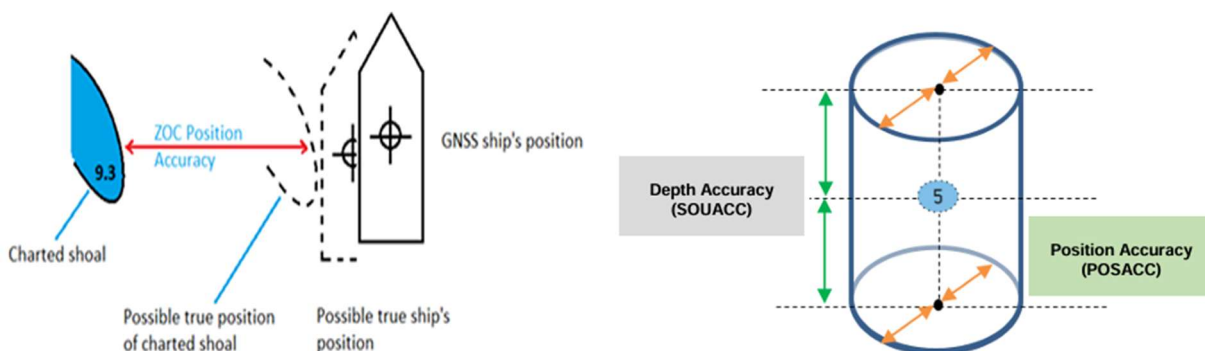


Рисунок 1 — Можливе місцезоташування небезпеки за глибиною та географічно
[1] (Fig. 4-1, 4-2)

Згідно [1], об'єктами, до яких застосовуються CATZOC, є точкові небезпеки:

obstructions, rocks, wrecks, sounding. Однак зустрічаються карти, де ізобати теж можуть не мати точного географічного місцезположення, тоді теж потрібно це враховувати з відстанню, як від точкових небезпек відповідно до CATZOC, наприклад (рис.2):

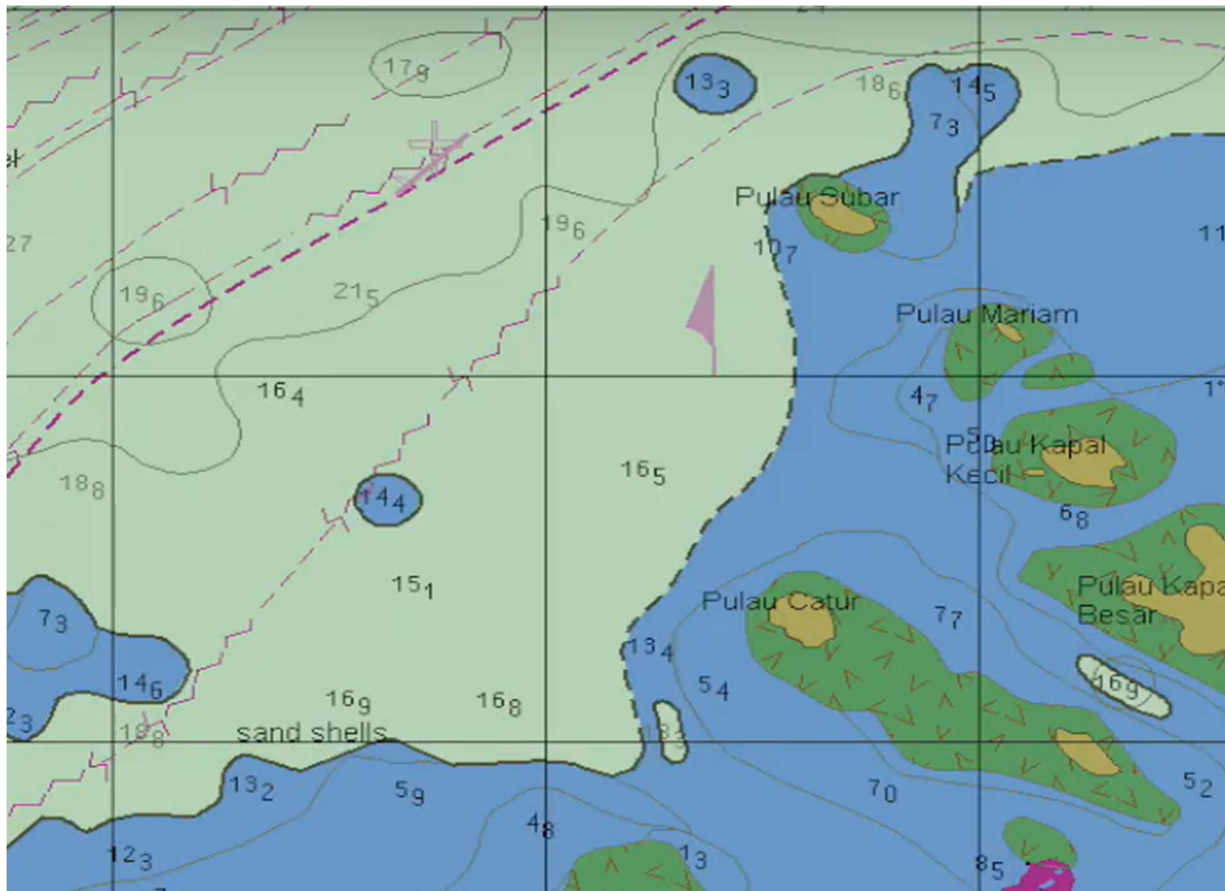


Рисунок 2 — Ізобата з неточним георозміщенням (пунктирна лінія)

При побудові попередньої прокладці на такі перевірки втрачається досить багато часу, тому автоматизована візуалізація контурів можливого місцезнаходження точкових небезпек суттєво зменшить витрати часу. На жаль, на даний час немає ECDIS, які можуть відобразити візуально і надати пораду відповідно вашим вимогам щодо навігаційних глибин для таких об'єктів. Розробка відповідного програмного забезпечення, яке має можливість працювати з ENC на рівні фільтрації таких навігаційних перешкод, відображати маршрут, корегувати його і потім зберігати його у формат .rt3 для подальшого імпорту до ECDIS є досить складним внаслідок великої кількості інформації до розгляду. Це ж стосується і назв інформаційних шарів, внутрішніх способів організації даних кожного шару інформації [2].

Результати досліджень. Розроблений програмний продукт S57ViewerVisualCatzocPointEnc [3] на мові Python дозволяє відображати карту ENC (для прикладу обрано карту GB4X0000.000), маршрут у форматі .rt3, робити корекцію ланок маршруту та зберігати у файл формату .rt3. Опрацювання маршруту починається з експорту маршруту з ECDIS, завантаження карти, і, потім, імпорту маршруту у S57ViewerVisualCatzocPointEnc. На даний час програма не дозволяє знаходити всі карти, яким приналежить маршрут внаслідок суттєвого обмеження таких карт у вільному доступі. Але завантаження карт по черзі цілком можливе. Фільтрація точкових глибин, ізобат, різних точкових об'єктів, для яких застосовується CATZOC, визначається у налаштуваннях панелі меню (рис.3):

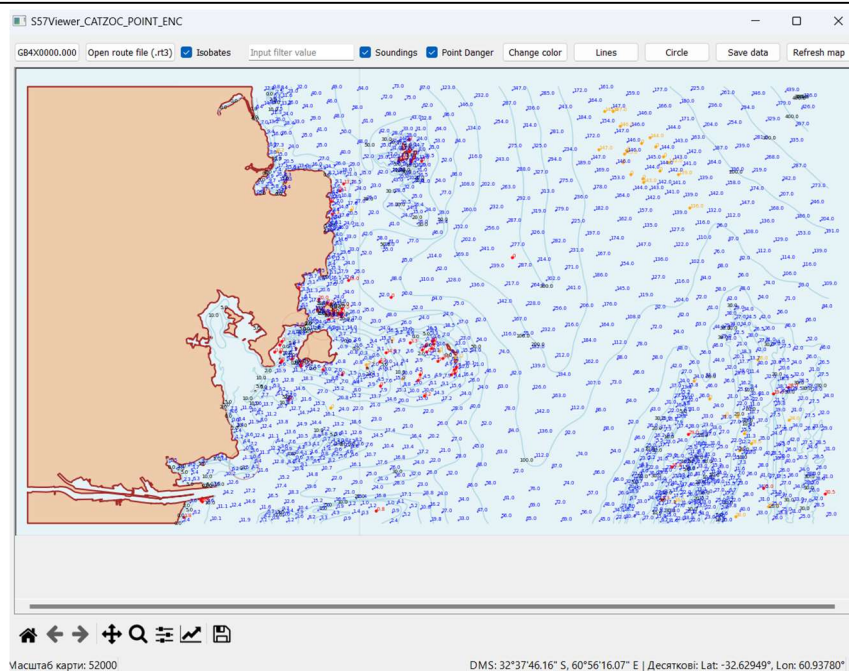


Рисунок 3 — Відображення карти GB4X0000.000 програмою S57ViewerVisualCatzocPointEnc

При введенні обмеження з метою фільтрації (рис. 4) всі об'єкти, до яких застосовується CATZOC, обводяться строго відповідно до масштабу карти та оригінальних контурів (якщо це лінійний об'єкт) фіолетовим кольором з розрахованим значенням глибини над таким об'єктом відповідно до категорії зони довіри. Додатково можна виділяти такі зони окремо, без маршруту. Глибини розраховуються лише для таких підводних об'єктів, глибина яких з урахуванням CATZOC, задовольняє критерію фільтрації.

Програмний продукт розроблено на основі специфікацій [2]. При подальшому дослідженні було з'ясовано, що для реалізації обраного спрямування немає необхідності використовувати більш сучасні описи формату S57, оскільки назви потрібних шарів інформації залишились такі самі і внутрішня структура таких шарів залишилась не зміненою.

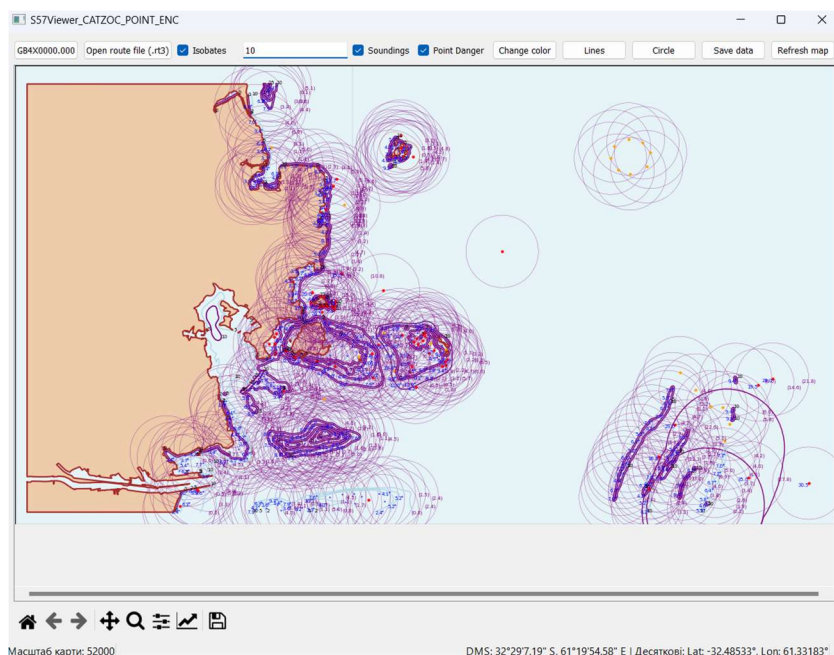


Рисунок 4 — Фільтрація точкових об'єктів і візуальне відображення глибин над ними та місце їх можливого розташування

Висновки. Результатом проведених досліджень є розроблений програмний продукт S57ViewerVisualCatzocPointEnc, який повністю задовольняє потребам візуальної перевірки маршруту на навігаційні небезпеки відповідно до категорій ZOC як по географічному розташуванню так і з розрахуванням глибини над таким об'єктами. Подальшим дослідженням може бути поєднання програмного продукту з учбовим тренажером NaviSailor 4000.

ЛІТЕРАТУРА

5. Mariners' Guide to Accuracy of Depth Information in Electronic Navigational Charts (ENC) Edition 1.0.0, 2020, URL: https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/S-67/S-67%20Ed%201.0.0%20Mariners%20Guide%20to%20Accuracy%20of%20Depth%20Information%20in%20an%20ENC_EN.pdf
6. IHO TRANSFER STANDARD for DIGITAL HYDROGRAPHIC DATA, Edition 3.1, 2000, URL: <https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-57/31Main.pdf>
7. Авторське свідоцтво № 133972, Комп'ютерна програма «S57ViewerVisualCatzocPointEnc» 03.03.2025

СЕКЦІЯ:
КОНТРОЛЬ, ДІАГНОСТИКА Й ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
ПРИ УПРАВЛІННІ РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ

SECTION:
CONTROL, DIAGNOSTICS AND DECISION-MAKING
IN MANAGING MOVING OBJECTS

МОРСЬКА РОБОТОТЕХНІКА УКРАЇНИ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ РОЗВИТКУ

Блінцов В.С.¹, Вайсман В.О.², Костенко Р.В.³

¹Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

²ТОВ «ХОЛДИНГОВА КОМПАНІЯ МІКРОН»

³Комітет Верховної Ради України з питань національної безпеки, оборони та розвідки
(Україна)

Вступ. Морська робототехніка — це галузь, яка охоплює проєктування, створення та використання безпілотних апаратів і автоматизованих систем для роботи в морському середовищі. У контексті України актуальність розвитку морської робототехніки зумовлена не лише потребами цивільного флоту, екологічного моніторингу та наукових досліджень, але й безпрецедентними викликами у сфері національної безпеки та оборони, зокрема після початку повномасштабної війни в 2022 році.

Актуальність дослідження. Сучасні геополітичні, екологічні та технологічні виклики значною мірою актуалізують потребу у розвитку морської робототехніки як в Україні, так і в усьому світі. Україна, маючи вихід до Чорного моря, стратегічні морські порти, а також значний інженерний та науковий потенціал, опинилася в унікальному становищі, коли розвиток морських безпілотних технологій став не лише бажаним, але й критично необхідним.

По-перше, повномасштабна війна росії проти України створила безпрецедентний запит на інноваційні оборонні рішення, зокрема в морській сфері. Успішне застосування морських дронів українського виробництва в Чорному морі довело ефективність таких технологій у нових умовах асиметричної війни. Це відкриває перспективи не лише для оборонного стримування, але й для розробки нових типів морських роботизованих систем.

По-друге, глобальні зміни клімату та загроза екологічних катастроф, пов'язаних із забрудненням морського середовища, потребують ефективного моніторингу стану морських екосистем. Морські безпілотні платформи здатні забезпечити високоточний збір даних з важкодоступних районів без потреби в участі людей, що є особливо актуальним для Чорного моря — замкнутої екосистеми, вразливої до антропогенних впливів.

По-третє, розвиток світових технологій у сфері автономних систем, штучного інтелекту та сенсорики ставить перед Україною завдання вчасно інтегруватися в ці тренди. В умовах обмеженого фінансування та кадрового ресурсу необхідно раціонально використовувати наявні наукові й інженерні бази для створення конкурентоспроможних вітчизняних рішень.

Крім того, відсутність узагальненого аналізу поточного стану морської робототехніки в Україні створює дефіцит системного бачення розвитку галузі. Проведення такого наукового дослідження дозволить ідентифікувати ключові бар'єри, можливості та пріоритетні напрями, що матимуть практичне значення для урядових структур, наукових центрів і приватного сектору.

Таким чином, дослідження сучасного стану та актуальних задач розвитку морської робототехніки в Україні є науково та практично обґрунтованим, спрямованим на підвищення обороноздатності держави, покращення екологічного моніторингу та розвиток високотехнологічного виробництва.

Постановка задачі. В умовах динамічного розвитку технологій та зростаючих викликів у сфері безпеки, екології та інфраструктури, морська робототехніка посідає ключове місце серед інноваційних галузей, здатних забезпечити швидке реагування на зовнішні загрози та внутрішні потреби держави. Водночас в Україні відсутній систематизований науковий аналіз, що комплексно охоплює поточний стан цієї галузі, її потенціал, наукові й виробничі ресурси, а також бар'єри на шляху розвитку.

Незважаючи на значні окремі досягнення, зокрема в оборонному секторі (створення морських дронів для надводних операцій), галузь морської робототехніки в Україні

залишається фрагментованою та недостатньо інтегрованою в єдину науково-технічну стратегію. Відсутність координації між науковими установами, приватними розробниками, державними замовниками та міжнародними партнерами призводить до втрати можливостей як у розробці, так і в комерціалізації технологій.

У зв'язку з цим виникає необхідність:

- узагальнити наявні наукові та інженерні розробки у сфері морської робототехніки в Україні;
- проаналізувати сучасний стан галузі з урахуванням військових, цивільних та наукових застосувань;
- виявити ключові бар'єри для подальшого розвитку (технологічні, інституційні, освітні);
- сформулювати комплекс актуальних науково-практичних задач, вирішення яких сприятиме системному розвитку морської робототехніки;
- обґрунтувати перспективні напрями інтеграції українських рішень у міжнародний технологічний простір.

Мета дослідження полягає в науковому аналізі сучасного стану морської робототехніки України та визначенні стратегічно важливих напрямів її розвитку з урахуванням актуальних загроз, технологічних можливостей та потреб держави.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання дослідження:

- провести огляд і класифікацію наявних морських робототехнічних рішень, розроблених або застосованих в Україні;
- проаналізувати роль морської робототехніки в сучасних оборонних операціях України;
- оцінити рівень науково-технічного потенціалу в галузі морської робототехніки (освітні програми, наукові дослідження, інженерні та виробничі ресурси);
- визначити основні технологічні, організаційні та кадрові виклики, що стримують розвиток галузі;
- сформулювати рекомендації щодо створення державної стратегії розвитку морської робототехніки та механізмів міжсекторальної співпраці.

Результати досліджень. Аналіз науково-технічної літератури свідчить, що морська робототехніка України розвивається як у напрямку розробки роботів цивільного застосування, так і у напрямку створення роботів оборонного призначення [1-5].

Перший напрямок обумовлений необхідністю створення засобів морської робототехніки (ЗМР) для:

- моніторингу стану морського дна та гідрографічних досліджень;
- інспекції об'єктів морської інфраструктури (порти, нафтогазові трубопроводи);
- екологічного контролю забруднення Чорного моря.

Другий напрямок найбільш інтенсивно почав розвиватись, починаючи з 2022 року, у результаті чого Україна стала одним зі світових прикладів швидкої адаптації морських дронів до умов воєнних дій. Зокрема, розвиток надводних безпілотних платформ (наприклад, Sea Baby, Magura V5) суттєво вплинув на хід морських операцій у Чорному морі. Українські інженери створили ефективні дешеві рішення, здатні проникати до ворожих портів, атакувати кораблі та навіть діяти у складі рою.

Безумовно, прогрес у розвитку ЗМР за обома напрямками став можливим завдяки широкому залученню конструкторами результатів наукових досліджень і розробок вітчизняних і зарубіжних науковців, Зокрема. попри обмежене фінансування, низка українських університетів і науково-дослідних установ (Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Херсонська державна морська академія, Одеський національний морський університет, Інститут проблем штучного інтелекту НАН України, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського») ведуть дослідження морських роботів, систем автоматичного керування, навігації та розпізнавання образів. Одночасно зазначимо, що ці дослідження часто залишаються на рівні прототипів через брак інвестування.

На жаль, у цілому сьогодні розвиток цих напрямків є фрагментарним і здебільшого

залежить від міжнародних проєктів та донорських програм.

Розглянемо тепер основні напрямки розв'язку задачі загальнодержавного значення — розвитку нової вітчизняної галузі «Морська робототехніка України».

Очевидно, що розв'язання вказаної задачі потребує цілеспрямованої реалізації комплексу науково-технічних, організаційних, нормативно-правових і виробничих заходів. Основні напрямки цього процесу можна сформулювати у вигляді наступних складові:

- формування державної стратегії розвитку морської робототехніки — створення та затвердження державної цільової науково-технічної програми, визначення пріоритетів (оборонне застосування, охорона морських кордонів, екологічний моніторинг, гідрографія, глибоководні дослідження), координація з іншими програмами (наприклад, «Оборонно-промисловий комплекс», «Цифрова держава», «Морська доктрина України»);
- створення науково-технічної та інженерної бази для розв'язку вказаної задачі — розвиток фундаментальних та прикладних досліджень у сфері гідродинаміки, автоматичного управління, навігації, енергозабезпечення та штучного інтелекту для ЗМР, формування інженерних центрів компетенції у провідних технічних університетах та науково-дослідних інститутах, створення випробувальних полігонів (морських полігонів та басейнів для стендових випробувань);
- розробка типорозмірного ряду морських робототехнічних платформ — інжиніринг уніфікованих модульних платформ для підводних і надводних апаратів різного призначення, розвиток відкритої архітектури управління, що забезпечує серійність, уніфікацію та зниження вартості виробництва;
- індустріалізація та локалізація виробництва — визначення пулу підприємств суднобудування, здатних до серійного виробництва ЗМР, підтримка стартапів і приватних ініціатив через державно-приватне партнерство;
- нормативно-правове забезпечення — розробка технічних стандартів, класифікацій, сертифікацій для морських безкіпажних платформ, внесення змін до законодавства щодо експлуатації автономних морських систем, зокрема в територіальних водах і зонах відповідальності України, забезпечення інформаційної безпеки та кіберзахисту систем;
- міжнародна співпраця та інтеграція — співпраця з НАТО та ЄС, а також участь у міжнародних проєктах з розвитку ЗМР, залучення іноземних інвестицій, трансфер технологій та спільне виробництво ЗМР;
- освіта і підготовка кадрів — впровадження освітніх програм з морської робототехніки у закладах середньої професійної та вищої освіти, організація тренінгових центрів, курсів підвищення кваліфікації, олімпіад та хакатонів за тематикою ЗМР.

До основних викликів, що стримують розвиток ЗМР в Україні, варто віднести:

технологічні виклики — необхідність розробки вітчизняних систем автоматичного керування ЗМР на основі штучного інтелекту, розробку теоретичного підґрунтя для оптимізації енергоспоживання ЗМР, удосконалення засобів зв'язку на великих відстанях (особливо підводного зв'язку, розробка систем захисту від РЕБ та кіберзагроз;

- інституційні виклики — відсутність єдиної стратегії розвитку морської робототехніки на рівні державної політики, обмежене фінансування фундаментальних і прикладних досліджень у напрямку ЗМР, недостатня інтеграція результатів НДР у військову та цивільну практику;
- освітні виклики — потреба у спеціалізованих освітніх програмах для підготовки інженерів-робототехніків морського профілю, відтік наукових та інженерних кадрів за кордон, недостатній рівень співпраці між університетами та промисловістю.
- Для забезпечення сталого розвитку морської робототехніки в Україні варто зосередити увагу на таких напрямках:
- започаткування національної програми розвитку ЗМР, орієнтованої як на оборонні, так і на цивільні (загальнопромислові) цілі;

- державно-приватне партнерство у розробці та виробництві ЗМР цивільного та оборонного призначення;
- інтеграція з міжнародними проєктами НАТО, ЄС у сфері морського моніторингу, охорони об'єктів критичної морської інфраструктури та безпеки держави від загроз з морського напрямку;
- розвиток інноваційних кластерів на базі прибережних міст (Одеса, Миколаїв, Херсон);
- підтримка стартапів у сфері ЗМР, імерсивних технологій та «Інтернету речей» (Internet of Things) для морських застосувань.

Висновки. Морська робототехніка в Україні перебуває на етапі стрімкого розвитку, зумовленого викликами часу. Значна частина рішень має оборонне спрямування. Важливо також не втратити потенціал галузі морської робототехніки для цивільної сфери. Для цього необхідна скоординована державна політика, підтримка наукових досліджень та стимулювання виробничої інфраструктури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Створення універсальних транспортних суден і засобів океанотехніки: Монографія / С.С. Рижков, В.С. Блінцов, Г.В. Єгоров, Ю.Д. Жуков, В.Ф. Квасницький, К.В. Кошкін, І.В. Кривцун, В.О. Некрасов, В.В. Севрюков, Ю.В. Солоніченко; за ред. С.С. Рижкова. — Миколаїв: Видавництво НУК, 2011. — 340 с.
2. Управління інноваційною діяльністю підприємств та організацій морегосподарського комплексу: монографія / С. І. Бай, В. С. Блінцов, С. Д. Бушуєв та ін. — Миколаїв: видавець Торубара О. С., 2013. — 448 с.
3. Морські роботизовані системи військового призначення: стан та перспективи: Навч. посіб. / колектив авторів; за заг. ред.. С.В. Яким'яка. — К.: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2021. — 108 с.
4. Тимчасова класифікація морських безекіпажних апаратів (систем, комплексів) у Військово-Морських Силах Збройних Сил України, які приймаються чи є на озброєнні Військово-Морських Сил Збройних Сил України. — Затверджено Наказом командира військової частини А0456 10.05.2023 р., №73.
5. Fundamentals of automatic control of a group of autonomous underwater vehicles : Monograph / ed. V. Blintsov. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2024. 192 p.

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМ НЕНАСЕЛЕНИМ ПІДВОДНИМ АПАРАТОМ ТРАНСПОРТНОГО ТИПУ

Блінцов В.С, Данько Є.С.

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)*

Вступ. Автономні ненаселені підводні апарати (АНПА) набувають широкого поширення у таких сферах, як океанографія, розвідка морських ресурсів, підводне будівництво та оборонна промисловість.

Особливе значення мають АНПА транспортного типу (АНПА-Т), здатні здійснювати доставку вантажів між підводними об'єктами без участі оператора. Автоматизація керування такими апаратами вимагає розробки складної системи керування, здатної забезпечити стійку, точну та безпечну навігацію в умовах обмеженої видимості, впливу течій і перешкод.

Актуальність дослідження особливостей побудови системи автоматичного керування (САК) АНПА-Т зумовлена наступними науково-технічними, економічними та безпековими чинниками:

- науково-технічною складністю побудови САК для підводних апаратів, пов'язаною з низкою технічних викликів — нестабільність навігації через відсутність GPS-покриття під водою, складні гідродинамічні умови експлуатації, обмеженість радіо- та супутникового зв'язку з береговими центрами керування тощо;
- зростаючою роллю морських технологій, обумовленою активним розвитком морської інфраструктури, видобутком енергоресурсів та корисних копалин з морського дна, морським екологічним моніторингом, науковими дослідженнями морського середовища та зростанням вимог щодо транспортування вантажів морем;
- перспективами зниження витрат на обслуговування підводної інфраструктури (нафтогазових платформ, підводних кабелів зв'язку та підводних трубопроводів тощо) та витрат на транспортну логістику, що підвищує рентабельність підприємств морського сектору економіки держави;
- зменшенням потреб в присутності людини в небезпечних або важкодоступних морських умовах (операцій на великих глибинах, в умовах підвищеного тиску чи радіоактивного забруднення, у зонах ведення воєнних дій тощо).

Таким чином, дослідження особливостей побудови САК АНПА-Т є актуальним у контексті науково-технічного прогресу, безпекових викликів та потреби в ефективних рішеннях для підводної навігації, транспортування і досліджень. Воно має міждисциплінарне значення і відповідає глобальним тенденціям розвитку роботизованих систем.

Постановка задачі. З огляду на зростаючу роль АНПА-Т в задачах матеріально-технічного забезпечення, морської логістики, пошуково-рятувальних і спеціальних операцій, виникає потреба в створенні надійних, адаптивних та енергоефективних систем автоматичного керування, здатних забезпечити автономне функціонування АНПА-Т в умовах високої динамічної невизначеності та обмеженості зовнішніх засобів навігації.

Відомі підходи до побудови САК для підводних апаратів [1–3] не повною мірою враховують транспортну специфіку АНПА-Т, що пов'язана з необхідністю забезпечення стійкого та безпечного руху з вантажем та автоматичним керуванням його застосування за призначенням, підтримання курсу, глибини та швидкості, ухилення від перешкод та маневрування в обмежених просторових умовах.

Таким чином, постає науково-практична задача: розробити концептуальну модель та технічні принципи побудови САК для АНПА-Т, що забезпечує стійке, адаптивне та енергоефективне керування рухом апарата в умовах автономного підводного плавання.

Для її вирішення необхідно:

- провести аналіз особливостей динаміки АНПА-Т як об'єкта автоматичного керування;
- визначити вимоги до функціональної структури САК з урахуванням транспортної специфіки;
- обґрунтувати вибір керуючих алгоритмів (ПД, нечітких, адаптивних, нейромережевих тощо) відповідно до різних сценаріїв застосування АНПА-Т;
- розробити математичну модель руху АНПА в тривимірному середовищі з урахуванням зовнішніх збурень, що діють на корпус підводного апарата і варіативності його корисного вантажу;
- провести імітаційне моделювання для оцінки ефективності запропонованих технічних рішень щодо автоматизації керування АНПА-Т.

Метою дослідження є обґрунтування наукових підходів, розроблення методологічних принципів і технічних рішень побудови системи автоматичного керування автономним ненаселеним підводним апаратом транспортного типу, яка забезпечує стійке, адаптивне та енергоефективне функціонування апарата в умовах автономного підводного плавання з урахуванням його транспортної специфіки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі прикладні наукові завдання:

- провести аналіз сучасного стану розробок САК підводними апаратами та виявити особливості транспортного типу АНПА як об'єкта керування;
- побудувати математичну модель динаміки руху АНПА-Т у тривимірному підводному середовищі з урахуванням змінного навантаження, гідродинамічного опору та зовнішніх збурень;
- обґрунтувати архітектуру САК, що включає підсистеми стабілізації, навігації, маневрування, ухилення від перешкод і управління енергоспоживанням;
- розробити та порівняти ефективність різних типів керуючих алгоритмів (класичних, адаптивних, нечітких, нейромережевих) для забезпечення автономного керування рухом АНПА-Т;
- провести імітаційне моделювання функціонування САК АНПА-Т в різних режимах експлуатації для верифікації та валідації запропонованих технічних рішень.

У даній роботі розглянемо більш детально задачу аналізу сучасного стану розробок САК підводними апаратами та формулювання особливостей транспортного типу АНПА як об'єкта керування.

Результати досліджень. АНПА транспортного типу є складним динамічним об'єктом, що функціонує в середовищі з високим рівнем невизначеності та гідрофізичних збурень, а також нестаціонарності власних параметрів як об'єкта керування. Особливості його динаміки визначаються не лише традиційними характеристиками підводного руху, але й специфікою транспортної місії — змінним корисним вантажем, необхідністю точної навігації, вимогами до стабільності й енергоефективності.

З позицій системного підходу [4] АНПА-Т як об'єкт проектування доцільно розглядати, виходячи з наступних чотирьох конструктивних критеріїв (рівнянь існування [5]):

- матеріальний критерій K_M — нестаціонарністю мас і об'ємів — для нього характерним є зміна маси і центра мас (метацентричної висоти) у процесі виконання морської місії, складність гідродинамічної взаємодії тощо);
- енергетичний критерій K_E — обмеження на величину бортових енергоресурсів та силових характеристик виконавчих механізмів (рушійно-кермових пристроїв, електрогідропневмоприводів виконавчих механізмів тощо);
- інформаційний критерій K_I — обмеження на інформаційні можливості систем і сенсорів навігації, зв'язку та керування (відсутність безперервного зв'язку, пропускна здатність інформаційних каналів, точність та швидкодія САК);
- функціональний критерій K_F — обмеження на швидкість руху, дальність ходу, масу корисного вантажу, можливість функціонувати в умовах дії зовнішніх збурень.

Таким чином, множина $K_{\text{АНПА-Т}}$ конструктивних критеріїв, які характеризують ефективність функціонування АНПА-Т як об'єкта морської робототехніки має вигляд:

$$K_{\text{АНПА-Т}} = \{K_M; K_E; K_M; K_I; K_F\}. \quad (1)$$

Розглянемо більш детально кожний з критеріїв множини (1).

Динаміка АНПА-Т описується системою шести ступенів свободи [6], яка включає поступальний (осі x, y, z) та обертальний (курс, крен, диферент) рух. Рівняння руху є суттєво нелінійними, оскільки містять гідродинамічні коефіцієнти, які залежать від швидкості, глибини та положення центру мас.

Крім того, вектор керування рушійно-стернового комплексу підводного апарата формується через багатоканальні виконавчі механізми — електро- та/або гідроприводи (гребні гвинти, стернові поверхні, насоси тощо), що вимагає узгодженої роботи підсистем автоматичного керування.

На відміну від дослідницьких чи розвідувальних апаратів, транспортний АНПА має змінну масу і змінний розподіл мас під час вантажних операцій (завантаження, скидання, евакуація об'єктів). Це призводить до зсуву центру мас і моменту інерції, що впливає на стабільність та керованість підводного апарата і вимагає урахування цих процесів у математичній моделі АНПА-Т.

Далі, у підводному середовищі на підводний апарат діють сили та моменти гідродинамічної природи, пов'язані з лобовим і боковим опором, ефектами кавітації, турбулентністю, а також впливом гідростатичного тиску. При зміні швидкості, кута атаки чи об'єму занурення характер дії цих сил змінюється, що викликає труднощі у формалізації моделі динаміки.

Крім того, суттєвий вплив на динаміку руху АНПА-Т мають:

- підводні течії (постійні та змінні);
- змінна щільність води (термокліни, солоність);
- хвильові збурення у приповерхневому шарі (при плаванні на малій глибині);
- зіткнення з підводними об'єктами та перешкодами.

Вказані особливості вимагають побудови адаптивних або робастних моделей систем керування та контролю.

Система приводів АНПА-Т має обмежену потужність, особливо в автономному режимі. Це створює обмеження на прискорення, швидкість і глибину. Крім того, енергоефективність має ключове значення при плануванні траєкторії, тому система керування має враховувати обмеження на вихідні сигнали, плавність траєкторій, режим економічного ходу.

До суттєвих особливостей експлуатації АНПА-Т слід віднести також відсутність безперервного зворотного зв'язку з береговим центром керування морською місією. Через неможливість використання традиційних навігаційних засобів (GPS) під водою та обмежену пропускну здатність акустичних каналів, зворотній зв'язок часто є переривчастим або неточним. Це формує вимоги до інерційних, гібридних та предиктивних алгоритмів керування, а також до автономної поведінки в умовах неповної інформації.

Аналіз сучасної науково-технічної літератури [7, 8] свідчить про наступне:

- змінна маса та розподіл корисного вантажу істотно впливають на динаміку руху підводного апарата, змінюючи його центр мас, момент інерції та гідродинамічні характеристики, що вимагає адаптивних або параметрично-робастних алгоритмів керування;
- САК АНПА-Т перебувають на етапі активного розвитку, але значна частина існуючих рішень орієнтована на розвідувальні або технічні апарати, що не враховують специфіки транспортних місій (змінна маса, вантажна ємність, обмеження на маневреність);
- існуючі структури САК для підводних апаратів здебільшого не є достатньо модульними та адаптивними для умов тривалого автономного плавання зі змінним корисним вантажем, що характерно для транспортного використання;
- АНПА-Т є складним об'єктом керування з нелінійною багатоканальною динамікою, що

піддається впливу широкого спектра гідрофізичних збурень, включаючи підводні течії, змінну щільність води, турбулентність та нестійкі умови навігації;

- обмежені енергетичні ресурси та неможливість постійного зв'язку із зовнішніми системами управління вимагають реалізації інтелектуальної автономії САК, включаючи предиктивне планування, локальну оптимізацію маршруту, керування ризиком та ухилення від перешкод;
- перспективними напрямками розвитку САК для АНПА транспортного типу є: впровадження інтелектуальних регуляторів (нейромережових, нечітких, гібридних); використання адаптивної фільтрації та гібридних навігаційних рішень (інерційна навігаційна система — Допплер-лаг — гідроакустика); побудова ієрархічної, модульної та енергооптимальної архітектури САК.

Наявні прогалини в теоретичному обґрунтуванні та практичній реалізації ефективної САК для транспортних АНПА вказують на необхідність подальших досліджень, спрямованих на розробку уніфікованої методології побудови САК, що враховує транспортну специфіку підводного середовища.

Висновки. АНПА транспортного типу як об'єкт керування характеризується нелінійною, змінною та зашумленою динамікою з високою чутливістю до зовнішніх умов та параметрів вантажу. Це вимагає використання складних математичних моделей, адаптивних і інтелектуальних регуляторів, а також комплексної архітектури системи автоматичного керування, що здатна забезпечити стабільність, точність та енергоефективність руху в реальному часі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Luciano O. Freire, Lucas M. Oliveira, Rodrigo T.S. Vale, Maiá Medeiros, Rodrigo E.Y. Diana, Rubens M. Lopes, Eduardo L. Pellini, Ettore A. de Barros. (2018). Development of an AUV control architecture based on systems engineering concepts. *Ocean Engineering*. Volume 151, 1 March 2018, Pages 157-169. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.01.016>
2. Daoliang Li Ling Du. (2020). AUV Trajectory Tracking Models and Control Strategies: A Review. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9(9), 1020; <https://doi.org/10.3390/jmse9091020>
3. Chengcai Wang; Wenyu Cai; Jun Lu; Xilun Ding; Jianying Yang. Design, Modeling, Control, and Experiments for Multiple AUVs Formation. Published in: *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* (Volume: 19, Issue: 4, October 2022). DOI: 10.1109/TASE.2021.3094539
4. The Systemic Approach: Concepts, Method and Tools. *Safety Dynamics*, 2018. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-96259-7_1 »
5. Blintsov V.S., Klochkov O.P. (2019). Generalized method of designing unmanned remotely operated complexes based on the system approach. *Scientific journal «EUREKA: Physics and Engineering»*. 2019. Vol. 2 (21). P. 43-51. DOI: 10.21303/2461-4262.2019.00878, »
6. Створення універсальних транспортних суден і засобів океанотехніки: Монографія / С.С. Рижков, В.С. Блінцов, Г.В. Єгоров, Ю.Д. Жуков, В.Ф. Квасницький, К.В. Кошкін, І.В. Кривцун, В.О. Некрасов, В.В. Севрюков, Ю.В. Солоніченко; за ред. С.С. Рижкова. – Миколаїв: Видавництво НУК, 2011. – 340 с.
7. Fundamentals of automatic control of a group of autonomous underwater vehicles : Monograph / ed. V. Blintsov. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2024. 192 p.
8. Tien Anh Tran, Kolla Bhanu Prakash, Subrata Chowdhury, Ivan CK Tam. Underwater Vehicle Control and Communication Systems Based on Machine Learning Techniques. Published December 4, 2023 by CRC Press. 174 Pages.

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Гаценко Л.В., Чередник В.М.

*Державний університет інфраструктури та технологій
(Україна)*

Вступ. Радіoeлектронні системи є основними складовими блоками (елементами) засобів водного транспорту, які відповідають за безпеку судноплавства, охорону життя та здоров'я екіпажу (пасажирів) та навколишнього природного середовища. До радіoeлектронних систем засобів водного транспорту (далі — РЕС ЗВТ) у кваліфікаційній роботі віднесено: суднові радіoeлектронні та радіотехнічні засоби зв'язку, електро- та радіонавігаційні прилади, радіотехнічні та радіoeлектронні прилади пошукової апаратури та прилади для судноплавства.

Актуальність дослідження. Основною проблемою судноплавства є катастрофічне фізичне і моральне старіння основних фондів, насамперед — суден і портового обладнання. Це обумовлено тривалою експлуатацією засобів водного транспорту та портового обладнання переважно без капітального ремонту. Деякі зразки засобів водного транспорту були модернізовані за рахунок встановлення новітніх радіoeлектронних систем — навігаційного обладнання, сучасних засобів зв'язку та радіолокації. Але організація контролю та діагностування технічного стану засобів водного транспорту залишається застарілою. Внаслідок цього принципово неможливо попередити тенденцію постійного зростання частоти виникнення несправностей в окремих вузлах та системах радіoeлектронної апаратури річкового і морського транспорту. Такий стан речей надалі призводить до зниження конкурентоспроможності перевезень вантажу та пасажирів водними шляхами через наростаючі матеріальні та часові витрати. Оскільки радіoeлектронні системи засобів водного транспорту відповідають за безпеку судноплавства, то відмова складових блоків (елементів) цих систем може призвести до аварії або навіть катастрофи. Так, наприклад, відмова радіонавігаційного обладнання засобу водного транспорту може призвести до зіткнення з іншим транспортом або перешкодою, а відмова в автоматичній системі енергозабезпечення — до виходу з ладу майже всіх засобів сигналізації, радіолокаційного спостереження, навігації, автоматизованого управління та зв'язку.

Отже, тільки докорінне оновлення системи контролю та діагностування технічного стану радіoeлектронних систем для своєчасного виявлення можливих відмов та підвищення достовірності їх експлуатації в справному стані забезпечить безаварійну експлуатацію засобів водного транспорту.

Основні матеріали дослідження. Забезпечення безпеки мореплавства багато в чому залежить від ефективного використання РЕС ЗВТ, максимальної реалізації експлуатаційних і технічних характеристик радіолокаційної та радіонавігаційної апаратури, засобів зв'язку в складних метеоумовах і можливих зовнішніх впливах [1]. При цьому забезпечення безпечної навігації значною мірою залежить від настроювання РЕС, від їх технічного стану, що, зокрема, дозволяє приймати та передавати радіотехнічний сигнал [2], [3]. Правильне визначення технічного стану РЕС ЗВТ надає можливість реалізувати максимальну чутливість приймача та дозволяє виявляти перешкоди на максимальній дальності та забезпечувати рух за потрібним (встановленим) маршрутом [4]. Слід також пам'ятати, що недостатнє підсилення радіотехнічного сигналу може призвести до втрати виявлення невеликих водних перешкод, що відбивають слабкі зондувальні сигнали. Але надмірне підсилення радіотехнічного сигналу може стати причиною втрати роздільної здатності (контрасту) радіолокаційного зображення та ускладнить спостереження [5]. Отже, технічний стан РЕС ЗВТ впливає на якість отриманої радіолокаційної та радіонавігаційної інформації: слабкий сигнал ускладнює спостереження, а надмірний викликає розфокусування зображення. Також необхідно пам'ятати, що в інтегрованих системах

радіонавігації ЗВТ потрібно враховувати особливості знесення судна через течію і дрейф, що може вносити певні похибки в маршрут руху [6].

Для отримання високої роздільної здатності за дальністю дії, наприклад радіолокаційної станції, використовується режим роботи з випромінюванням малої тривалості зондувальних імпульсів [7]. Це дає можливість отримати такий інформаційний сигнал, який має потрібну характеристику. Після цього можна «працювати» із інформаційним сигналом щодо визначення дальності до водних перешкод, а також їх фокусування. Однак, навіть застосування більш високих частот (більш коротких зондувальних імпульсів) не дозволяє подолати проблему невиявлення цілі. Це пояснюється наявністю «мертвої зони», яка визначається висотою встановлення антени і довжиною хвильового тракту [8].

Крім того, РЕС ЗВТ відрізняються від інших систем обмеженим діапазоном хвиль і наявністю в прийнятому сигналі інформації про перешкоду, яка також містить й заваду. Тому при контролі та діагностуванні технічного стану РЕС ЗВТ необхідно враховувати якість обробки отриманого інформаційного сигналу для зменшення похибок роботи [9].

Висновки. Проведений аналіз показав, що сучасні радіоелектронні системи засобів водного транспорту потребують розвитку та удосконалення методів обґрунтування параметрів для проведення їх контролю та діагностування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Viswanath, A., Kaushal, H., Jain, V. K., et al. (2014). Evaluation of performance of ground to satellite free space optical link under turbulence conditions for different intensity modulation schemes. *Free-Space Laser Communication and Atmospheric Propagation XXVI*. International Society for Optics and Photonics, 2014, 8971: 897106.
2. S. Fossier and P.-O. Robic, «Maintenance of complex systems — From preventive to predictive», *2017 12th International Conference on Live Maintenance (ICOLIM)*, Strasbourg, France, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICOLIM.2017.7964123.
3. Zhi-Jie Zhou. Condition-based maintenance of dynamic systems using online failure prognosis and belief rule base. / Zhi-Jie Zhou, Chang-Hua Hu, Wen-Bin Wang, Bang-Cheng Zhang, Dong-Ling Xu, Jian-Fei Zheng. *Expert Systems with Applications*. Volume 39, Issue 6, 2012, pp. 6140-6149. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.11.068>.
4. Liu J, Liu K, Liu S (2017) Adaptive control for a class of nonlinear complex dynamical systems with uncertain complex parameters and perturbations. *PLoS ONE* 12(5): e0175730. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175730>
5. Fu X.R., Xu A.G., Sun W. INS/GNSS integrated navigation algorithm with anti-difference adaptive UKF[J]. *Journal of Navigation and Positioning*, 2017, 5(02): 111-116. DOI: 10.16547/j.cnki.10-1096.20170220.
6. Mark Wijnvliet et al. A system for radio-interferometry and radiation measurement on sounding rockets. *Microprocessors and Microsystems*. Volume 77, 2020, 103163, ISSN 0141-9331, <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103163>.
7. Huang Mingjun, Zhao Wei, Hou Guoping, Chen Jun. Virtual Instrument Technology — The Development Direction of Modern Electrical and Electronic Measuring Instruments. *Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy*. 2017(03):28-31+61
8. Miskiv V.-M. A method for nonlinear conjugate scales in a multi-position radar system with ambiguous range measurements / Miskiv V.-M., Prudyus I., Kaniewski P., Pasternak M. *Proceedings of the SPIE*, Volume 11442, id. 114420C 7 pp. (2020). DOI:10.1117/12.2564088.
9. W. Lizhu et al., «Research and Application of Meteorological Data Transmission System Based on Virtual Desktop», *2019 International Conference on Meteorology Observations (ICMO)*, Chengdu, China, 2019, pp. 1–3, doi: 10.1109/ICMO49322.2019.9076591.

ЦИФРОВА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТОРГОВИХ СУДЕН

Гончарук І.П., Головань А.І.

*Одеський національний морський університет
(Україна)*

Вступ. У сучасному морському судноплавстві ефективність технічного обслуговування судових механізмів є одним із ключових факторів забезпечення безпеки та надійності експлуатації. Проте традиційні методи моніторингу стану обладнання мають низку обмежень, таких як низька точність прогнозування, потреба у великій кількості експертного втручання та обмежена адаптивність до змінних умов експлуатації. У дослідженні представлено інноваційну систему моніторингу, що поєднує об'єктно-орієнтовану базу даних і алгоритми машинного навчання для підвищення точності та швидкості аналізу технічного стану судового обладнання.

Актуальність досліджень. Існуючі системи технічного обслуговування на основі стану зазвичай використовують статистичні методи аналізу, що недостатньо ефективні для виявлення складних закономірностей деградації обладнання [1, 2, 3]. Крім того, використання реляційних баз даних не забезпечує належної взаємодії з алгоритмами машинного навчання. Проблема об'єктно-реляційної невідповідності ускладнює створення єдиної гнучкої цифрової платформи для аналізу великих обсягів технічної інформації, що надходить з сенсорів у реальному часі [4]. В умовах цифрової трансформації судової галузі актуальним є впровадження нових систем, які поєднують потужності штучного інтелекту з ефективною обробкою структурованих та неструктурованих даних.

Постановка задачі. Метою дослідження є розробка та тестування інноваційної системи обслуговування на основі стану (ООС) для судових технічних засобів, яка базується на:

- об'єктно-орієнтованій базі даних (ООБД), що забезпечує швидку інтеграцію з алгоритмами ML;
- алгоритмі локального фактору відхилення (ЛФВ) для виявлення аномалій у стані обладнання;
- архітектурі, що забезпечує мінімізацію обчислювальних витрат при високій точності прогнозів.

Результати досліджень. У рамках дослідження була розроблена інноваційна система ООС, яка включає об'єктно-орієнтовану базу даних моніторингу стану (БДМС) та алгоритм машинного навчання ЛФВ. БДМС реалізована з використанням мови Python та структури зберігання типу B-Trees, що забезпечує швидкий доступ до збережених об'єктів і підтримку гнучких зв'язків між ними без необхідності використання реляційних таблиць. Такий підхід дозволив уникнути проблеми об'єктно-реляційної невідповідності, яка є типовою для традиційних інформаційних систем технічного обслуговування.

Система пройшла апробацію на даних симуляційного моделювання деградації двох критично важливих судових агрегатів — компресора і турбіни. Для навчання, валідації та тестування алгоритму ЛФВ було використано дані з відкритого репозиторію UCI (2019), які моделюють технічний стан енергетичної установки судна за 25 ознаками [5,6]. Навчання алгоритму здійснювалося на даних, що відображають ідеальний стан обладнання, а тестування — на даних з індикаторами деградації.

У процесі навчання налаштовувалися два ключові гіперпараметри ЛФВ: кількість сусідів (k) та параметр «забруднення» (частка відхилень). Оптимальні значення, підібрані за допомогою валідації, були однаковими для обох типів обладнання, що засвідчило універсальність побудованої моделі [5]. Алгоритм забезпечив середню точність 92% для компресора та 90% для турбіни, незалежно від режиму роботи. Таким чином, запропонована система виявила високу здатність ідентифікувати аномалії як на рівні одиничних параметрів, так і в комплексі ознак.



Рисунок 1 — Архітектура системи обслуговування на основі стану ООС

Особливу увагу приділено аналізу чутливості алгоритму до зміни експлуатаційного профілю судна. Було досліджено, як алгоритм поводить себе при різних швидкостях ходу (від 3 до 27 вузлів). Виявлено, що навіть при зміні режимів експлуатації точність визначення стану компресора залишалася в межах 94%, а турбіни — 89%, що свідчить про адаптивність системи до різних морських умов.

Крім того, оцінено вплив кількості навчальних даних на ефективність моделі. Результати експерименту довели, що для досягнення порогу точності в 80% потрібно щонайменше 5000 навчальних прикладів, тоді як використання повного обсягу даних (понад 6500 прикладів) підвищувало точність до 90% і вище. Це підкреслює важливість попередньої підготовки якісних вхідних даних, що є критичним фактором для успішного застосування ML-алгоритмів у морській галузі.

Таким чином, створена система забезпечує не лише швидку та ефективну діагностику стану суднового обладнання, але й потенційно здатна працювати в умовах обмежених обчислювальних ресурсів [1, 4, 5]. Її модульність, універсальність алгоритму та можливість швидкого адаптування до нових типів суднових механізмів роблять її перспективним рішенням для впровадження у сучасні системи технічного обслуговування флоту.

Висновки. Запропонована система на основі машинного навчання дозволяє виявляти зміни технічного стану суднового обладнання в режимі реального часу без необхідності експертної участі. Застосування ООБД забезпечує високу інтеграцію з ML-алгоритмами, усуваючи проблему об'єктно-реляційної невідповідності. Результати експериментів демонструють потенціал системи для впровадження у цифрову інфраструктуру морських суден як інструменту для забезпечення надійності, безпеки та економічної ефективності експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Jimenez, V. J., Bouhmala, N., & Gausdal, A. H. (2020). Developing a predictive maintenance model for vessel machinery. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 5(4), 358–386. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2020.03.003>
2. Kocak, G., Gokcek, V., & Genc, Y. (2023). Condition Monitoring and Fault Diagnosis of a

- Marine Diesel Engine with Machine Learning Techniques. *Pomorstvo*, 37(1), 32–46. <https://doi.org/10.31217/p.37.1.4>
3. Vorkapić, A., Radonja, R., Babić, K., & Martinčić-Ipšić, S. (2020). MACHINE LEARNING METHODS IN MONITORING OPERATING BEHAVIOUR OF MARINE TWO-STROKE DIESEL ENGINE. *Transport*, 35(5), 462–473. <https://doi.org/10.3846/transport.2020.14038>
4. Головань, А. І. (2023). Концептуальна модель планування та оптимізації графіків технічного обслуговування вантажних суден. *Водний транспорт*, 1(37), 107–115. <https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.12>
5. Maione, F., Lino, P., Maione, G., & Giannino, G. (2024). A Machine Learning Framework for Condition-Based Maintenance of Marine Diesel Engines: A Case study. *Algorithms*, 17(9), 411. <https://doi.org/10.3390/a17090411>
6. Yigin, B., & Celik, M. (2024). A prescriptive model for failure analysis in ship machinery monitoring using generative adversarial networks. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(3), 493. <https://doi.org/10.3390/jmse12030493>

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ КЛЮЧОВИХ ПАРАМЕТРІВ ДИНАМІКИ МАНЕВРУВАННЯ СУДНА

Лесневський В.М., Калініченко Є.В.

*Одеський національний морський університет
(Україна)*

Вступ. Маневрування судна є складним динамічним процесом, що залежить від численних факторів: геометричних характеристик корпусу, типу рушія, гідрометеорологічних умов, глибини та ширини акваторії [1]. У сучасних умовах цифровізації судноплавства зростає потреба у створенні методик, здатних швидко й достовірно визначати параметри, що описують динамічну реакцію судна на команди управління [2]. Це особливо актуально при русі в обмежених водах, під час швартування, проходження каналів і вузьких ділянок, де помилки в оцінці траєкторії можуть призвести до аварійних ситуацій [3]. Крім того, нові вимоги до автономного судноводіння вимагають формалізованих підходів до оцінки маневреності, які можуть бути впроваджені у відповідне програмне забезпечення.

Актуальність дослідження. Існуючі методи оцінки маневреності часто базуються на стандартизованих випробуваннях (наприклад, випробування циркуляції та Z-подібного маневру), які потребують значного часу, спеціального обладнання та підготовки екіпажу [4]. У реальних умовах експлуатації подібні випробування проводяться нечасто, тому актуальним є розроблення методів, які дозволяють використовувати навігаційні дані, що автоматично збираються з суден у процесі звичайної експлуатації [5]. Такий підхід дозволяє формувати цифрові профілі поведінки судна на основі реального руху та адаптувати моделі до фактичного технічного стану [6]. Особливе значення це має для суден зі змінною масоінерційною характеристикою, суден з керованими рушіями або гібридними системами управління. Таким чином, розробка адаптивної методики оцінювання ключових параметрів маневрування є актуальним та забезпечує підвищення безпеки навігації та ефективність автоматизованого управління.

Постановка задачі. Основна мета дослідження полягає у розробленні алгоритму визначення ключових параметрів динаміки маневрування судна.

Результати дослідження. У результаті роботи сформовано алгоритмічну структуру методики (Рисунок 1), яка передбачає:

- автоматичне зчитування навігаційних даних;
- попередню фільтрацію та узгодження часових рядів;
- виявлення ділянок активного маневру (повороти, зміни курсу, гальмування);
- обчислення ключових показників через оцінку кутових та лінійних

прискорень;

- адаптивне регресійне моделювання для визначення гідродинамічних коефіцієнтів.



Рисунок 1 — Схема алгоритму визначення ключових параметрів динаміки маневрування судна

Для верифікації використано дані з експлуатації буксира та малого вантажного судна в умовах Одеського порту. Проведено порівняльний аналіз отриманих значень з аналітичними розрахунками та даними з натурних випробувань. Результати засвідчили похибку оцінки в межах 7–12 %, що є прийнятним для подальшого використання в інформаційно-технічних системах.

Висновки. Розроблена методика є перспективним інструментом для судноводіїв, фахівців з тренажерної підготовки та розробників цифрових систем навігації. Вона дозволяє знизити залежність від дорогих та часовитратних випробувань, адаптувати параметри моделі в режимі реального часу, що критично важливо для підвищення безпеки маневрування. Подальші дослідження передбачають інтеграцію методики в мобільні додатки та системи дистанційного моніторингу флоту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mwange, A. N., Miyauchi, Y., Kambara, T., Koike, H., Hosogaya, K., & Maki, A. (2024). Quantitative evaluation of Full-Scale ship maneuvering characteristics during berthing and unberthing. *arXiv (Cornell University)*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2408.13497>
2. Li, S., Xiang, J., & Xia, G. (2024). Enhancing Ship Maneuvering Models through Hybrid Integration of Data-Driven Velocity Calibrator for Improved Performance. *Oceans*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/oceans51537.2024.10682323>
3. Zhu, M., Hahn, A., Wen, Y., & Bolles, A. (2017). Parameter identification of ship maneuvering models using recursive least square method based on support vector machines. *TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 11(1), 23–29. <https://doi.org/10.12716/1001.11.01.01>
4. Perera, L. P., & Mo, B. (2019). Ship performance and navigation information under high-dimensional digital models. *Journal of Marine Science and Technology*, 25(1), 81–92. <https://doi.org/10.1007/s00773-019-00632-5>
5. Quy, N., Łazuga, K., Gucma, L., Vrijling, J., & Van Gelder, P. (2020). Towards generalized ship's manoeuvre models based on real time simulation results in port approach areas. *Ocean Engineering*, 209, 107476. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107476>
6. Wang, Z., Kim, J., & Im, N. (2023). Non-parameterized ship maneuvering model of Deep Neural Networks based on real voyage data-driven. *Ocean Engineering*, 284, 115162. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115162>

УПРАВЛІННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗДРОТОВОГО МОНІТОРИНГУ

Нікольський В.В., Слободянюк М.В., Нікольський М.В.

Національний університет «Одеська морська академія»

(Україна)

Вступ. У сучасному світі цифрові технології відіграють ключову роль у підвищенні енергоефективності та екологічності морських перевезень. Оптимізація роботи суднових дизельних установок є важливим завданням, що вимагає впровадження новітніх методів моніторингу та управління. Традиційні методи, які базуються на періодичних оглядах і обмеженій кількості стаціонарних датчиків, не забезпечують повноцінного контролю стану двигунів у реальному часі, що призводить до неефективного використання палива, зростання викидів і підвищення аварійних ризиків. Метою дослідження є демонстрація переваг бездротових систем моніторингу для оптимізації роботи суднових дизелів, підвищення безпеки мореплавства та зменшення впливу на довкілля. Дослідження також спрямоване на створення комплексного підходу до управління судновими енергетичними системами, що враховує сучасні вимоги до надійності та адаптивності.

Актуальність дослідження. Зростання ролі цифрових технологій у судноплавстві зумовлює потребу в інноваційних рішеннях для управління судновими енергетичними установками. Бездротові системи моніторингу забезпечують гнучкість, швидкість інсталяції, легкість модернізації та зниження витрат на обслуговування, що робить їх особливо привабливими для морської галузі. Наукові дослідження [1–3] підтверджують перспективність цього напрямку, підкреслюючи необхідність подальшого розвитку бездротових технологій для підвищення ефективності та екологічності морського транспорту. Впровадження таких систем сприяє не лише економії ресурсів, а й відповідності міжнародним екологічним стандартам, що є критично важливим у контексті глобальних кліматичних викликів.

Постановка задачі. Дослідження спрямоване на аналіз обмежень традиційних методів моніторингу суднових дизелів та оцінку ефективності бездротових систем. Основні завдання включають аналіз існуючих систем моніторингу та їхніх недоліків, а також оцінку ефективності бездротових технологій на прикладі моніторингу параметрів системи охолодження аварійного дизель-генератора Kohler 50EOZD. Додатково досліджується можливість інтеграції бездротових систем із сучасними судновими платформами для створення єдиної інформаційної мережі.

Результати дослідження. Бездротова система моніторингу суднових дизелів складається з датчиків, модулів передачі даних і програмного забезпечення. Датчики встановлюються на ключових точках двигуна для вимірювання температури, тиску, вібрації, швидкості обертання та складу вихлопних газів, забезпечуючи високу точність і надійність даних. Модулі передачі даних збирають інформацію з датчиків і передають її через Wi-Fi, Bluetooth або промислові протоколи до центральної системи, оснащеної автономними джерелами живлення для безперебійної роботи. Програмне забезпечення обробляє дані, візуалізує їх у зручному форматі та виконує аналітичні функції, працюючи на бортових комп'ютерах або в хмарних сервісах, що забезпечує глобальний доступ до інформації.

У межах дослідження використано обладнання Phoenix Contact, зокрема контролер PLCnext Control AXC F 2152 із Web-сервером на базі HTML5 для сумісності з мобільними пристроями. Програмне забезпечення розроблено в середовищі PLCNEXT ENGINEER, що забезпечує інтуїтивний інтерфейс для управління та моніторингу. Система дозволяє дистанційно виконувати команди «Пуск/Стоп», контролювати частоту обертання двигуна та відстежувати температуру охолоджувальної рідини, що підвищує оперативність реагування на зміни стану двигуна.

Дослідження зосереджено на контролі температури (80–95°C) та тиску (1,5–2,5 бар)

охладжувальної рідини першого контуру дизель-генератора Kohler 50EOZD. Оптимальні значення забезпечують термодинамічну ефективність двигуна, мінімізацію механічних втрат і зменшення ризику кавітації та термічних деформацій. Бездротова система забезпечує безперервний моніторинг, виявлення відхилень у реальному часі та прогнозування несправностей, що знижує ризик аварій і оптимізує графіки технічного обслуговування.

Переваги бездротових систем включають гнучкість розміщення датчиків у важкодоступних зонах без прокладання кабелів, ефективність завдяки зниженню витрат палива та викидів, дистанційний доступ для консультацій берегових фахівців і сумісність із судновими системами управління та навігації. Крім того, система підтримує прогнозне обслуговування, що дозволяє планувати ремонтні роботи на основі аналізу даних, зменшуючи час простою судна.

Висновки. Проведені дослідження дозволили сформулювати наступні висновки. Розроблені бездротові системи моніторингу суднових дизелів демонструють переваги порівняно з традиційними методами контролю, забезпечуючи безперервний моніторинг експлуатаційних параметрів у реальному часі, що розширює можливості діагностики та запобігання аварійним ситуаціям. Експериментальне впровадження системи дистанційного моніторингу та управління підтвердило підвищення показників енергоефективності суднових енергетичних установок на 12–15% за рахунок оптимізації режимів роботи двигуна та своєчасного виявлення відхилень у робочих параметрах. Модернізована система управління аварійним дизель-генератором продемонструвала стабільну роботу при дистанційному керуванні через мобільні пристрої, забезпечуючи надійний обмін даними та виконання команд із середньою затримкою не більше 250 мс, що є прийнятним для безпечної експлуатації. Аналіз результатів впровадження бездротових технологій вказує на підвищення екологічних показників роботи дизельних установок за рахунок зменшення викидів шкідливих речовин на 8–10% та зниження загального споживання палива на 7–9%. Економічний ефект від впровадження систем бездротового моніторингу та управління визначається зниженням експлуатаційних витрат на 15–20% протягом життєвого циклу обладнання та зменшенням частоти незапланованих ремонтів на 35%.

Перспективними напрямками розвитку досліджуваних технологій є: розробка вдосконалених алгоритмів прогнозного технічного обслуговування на основі методів машинного навчання; поглиблена інтеграція з іншими судновими системами для забезпечення комплексного управління енергетичною установкою; адаптація розроблених технологічних рішень до різних типів суднових двигунів; створення масштабованих рішень для централізованого моніторингу суднових енергетичних установок у межах флотів різного призначення. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження бездротових систем моніторингу та управління судновими дизелями як ефективного інструменту підвищення надійності, безпеки та економічності морських перевезень в умовах зростаючих вимог до екологічної безпеки та енергоефективності морського транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Nikolskyi V., Slobodianiuk M., Levinskyi M., Nikolskyi M. Wireless Remote Control Systems of Marine Diesel Engine. STE 2024, LNNS 1028, pp. 121–132, 2024.
2. Голіков В.А., Нікольський В.В., Левінський М.В., Нікольський М.В., Слободянюк М.В. Модернізація системи віддаленого управління та контролю аварійного дизель-генератора. Суднові енергетичні установки, Вип. 44, 2022.
3. Про проєкт. URL: <https://tatu.org.ua/>

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ КОНТРОЛЮ СТАНУ АВІАЦІЙНИХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

Пасічниченко Є.О.

Державний університет «Київський авіаційний інститут»
(Україна)

Вступ. Сучасні авіаційні двигуни (АД) є складними комплексними технічними пристроями, які відрізняються різноманітністю фізичних процесів, що протікають в них і характеризуються багатовимірністю, багатозв'язковістю, нелінійністю, нестаціонарністю робочих процесів, істотним впливом режимів роботи і зовнішніх умов на характеристики їх функціонування [1]. Ці умови безпосередньо впливають на роботу АД, його конструктивних вузлів і функціональних агрегатів.

Матеріали та методи. Типова будова сучасної САК АД складається з наступних блоків (рисунок 1) [1]: основний та резервний канали керування; датчики електронної частини основного та резервного регулятора; блок комутації; автономний генератор; агрегат керування механізацією двигуна; агрегат захисту двигуна від досягнення граничних параметрів; виконавчі механізми.

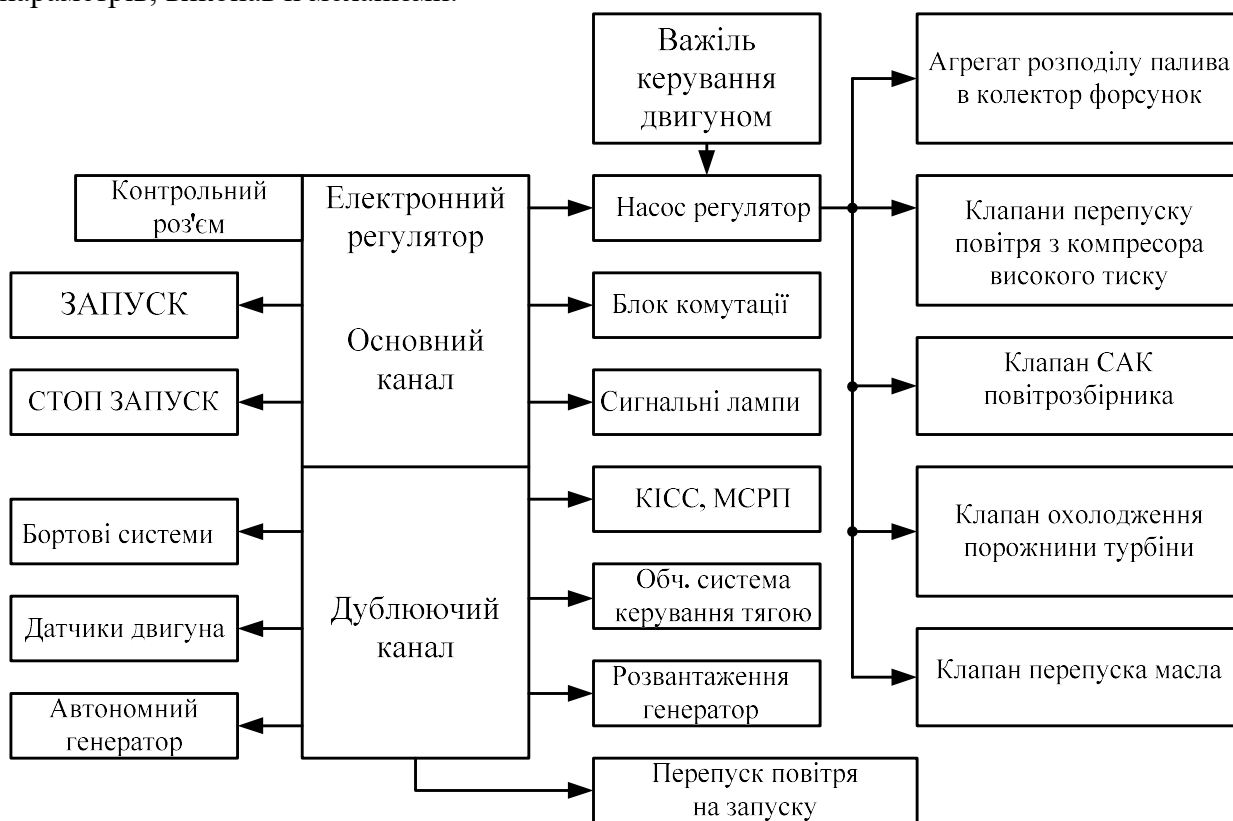


Рисунок 1 — Структура сучасної САК АД

Відповідно до принципу Дж. Саридіса, з підвищенням рівня керування зменшується необхідна точність обробки управляючої інформації, але одночасно збільшується ступінь її інтелектуальності, що реалізується шляхом використання певних правил (знань) про роботу системи в тих чи інших (у тому числі позаштатних) ситуаціях. На нижньому рівні керування САК використовуються класичні алгоритми регулювання параметрів ГТД на основі поточної інформації, що надходить з датчиків та алгоритмів керуючих вищих рівнів. Верхній рівень САК представляють алгоритми прогнозування та планування процесів управління, які працюють із узагальненою інформацією про стан двигуна, його системи управління та навколишнього середовища.

Рівень діагностики (рисунок 2) призначений для вирішення оперативних завдань контролю та діагностики стану САК ГТД. В даний час підвищення експлуатаційного

навантаження на САК ГТД призводить до скорочення часу, що виділяється на контроль та діагностику технічного стану САК, що вимагає розробки та використання методів контролю, що базуються на комплексній автоматизації та інтелектуалізації цих процесів [2].

Дедалі більше уваги приділяється питанням побудови електронних інтелектуальних систем керування із розподіленою структурою. Ці роботи базуються на новітніх досягненнях електронної промисловості, що дозволяють підвищити терmostійкість (понад 1500С), швидкодію та ступінь інтеграції елементної бази, удосконалити внутрішньосистемний інформаційний обмін. Відкриті системи такого типу матимуть більш високу надійність, експлуатаційну технологічність, нижчу вартість розробки та експлуатації двигуна.

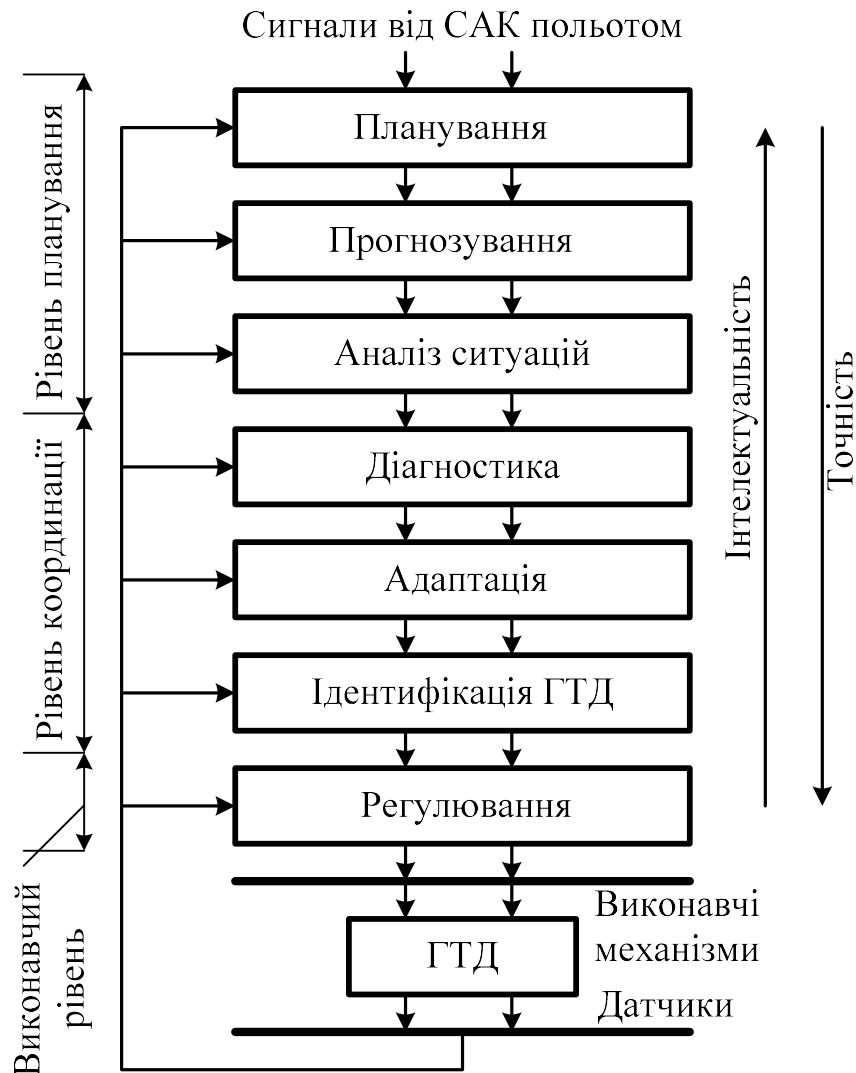


Рисунок 2 — Склад завдань, які вирішуються за допомогою САК ГТД

Важливим напрямом вдосконалення архітектури САУ АД є поєднання функцій керування та контролю двигуна в одному агрегаті, що дозволяє значно скоротити кількість блоків та датчиків, забезпечити зниження ваги, підвищити надійність та експлуатаційну технологічність [3]. Перспективним напрямом вдосконалення архітектури САУ стала розробка базової концепції FADEC, яка є цифровою системою керування двигуном з повною відповідальністю. Ідея цієї концепції полягає у використанні двоканального електронного керуючого модуля, гідромеханічного модуля та датчиків для підтримки оптимальних характеристик роботи авіадвигуна з мінімальною витратою палива.

Сучасною тенденцією розвитку САК АД та її елементів є застосування

інтелектуальних технологій для вирішення завдань контролю, діагностики та керування АД (рисунок 3).

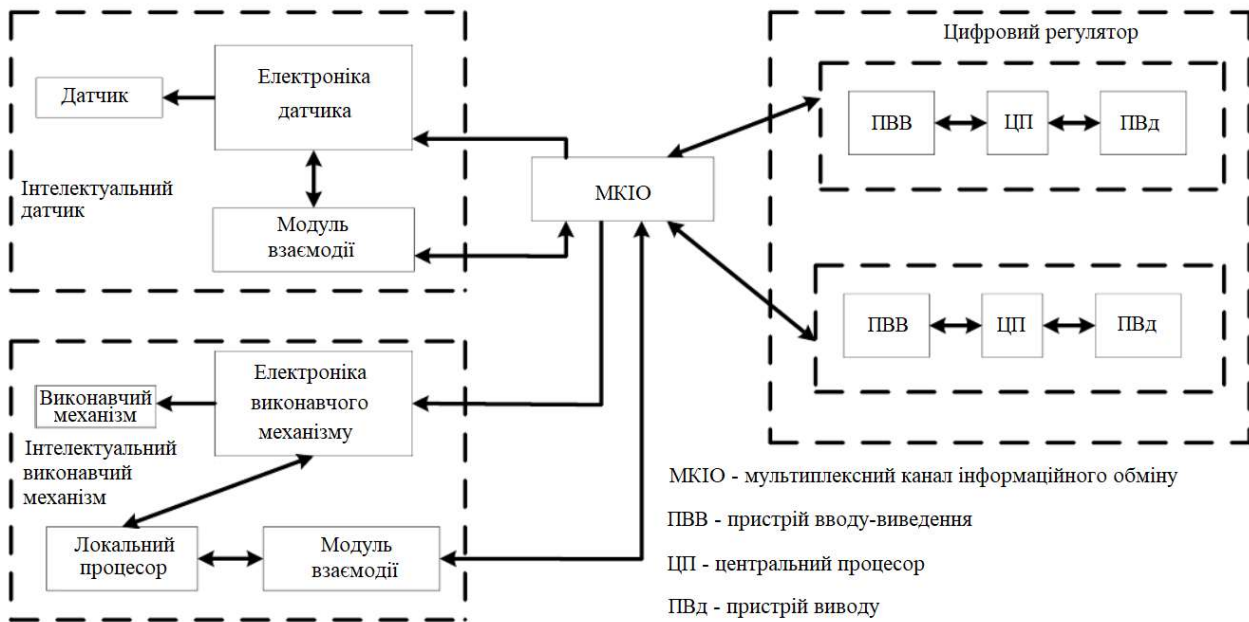


Рисунок 3 — Схема САК АД типу FADEC

Застосування інтелектуальних технологій при проектуванні САУ дозволить створити так званий «інтелектуальний двигун», стосовно якого функції управління, контролю та діагностики також будуть виконуватися за допомогою алгоритмів інтелектуальних технологій обробки даних.

Висновки. Отже застосування інтелектуальних технологій сьогодні вважається магістральним напрямом підвищення ефективності процесів керування, контролю та діагностики АД на базі архітектури САК АД з використанням концепції FADEC, тому дослідження питань теорії та практики побудови таких систем є актуальним.

ЛІТЕРАТУРА

1. Єнчев С.В. Синтез інтелектуальних систем керування авіаційними газотурбінними двигунами. Дис. на здобуття наук. ст. докт. техн. наук. — Київ : НАУ. — 326 с.
2. Єнчев С.В., Таку С.О. Інтелектуальний регулятор запасу газодинамічної стійкості компресора авіаційного ГТД // Авіаційно-космічна техніка і технологія. — 2021. — №4(172). — С.48-52.
3. Захарченко В.П. Методи та засоби резервування авіоніки / В.П. Захарченко, С.В. Єнчев, С.С. Ільєнко та ін. // монографія. — К.: НАУ, 2020. — 276 с.

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ СУЧАСНИМИ БЕЗЕКІПАЖНИМИ АВТОНОМНИМИ СУДНАМИ

*Пелихівський Л.О., Вороненко С.В.
Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. У сучасних умовах глобальної трансформації морської галузі, пов'язаної з цифровізацією, автоматизацією та підвищенням вимог до безпеки, ефективності та екологічності, безкіпажні автономні судна (БАС) набувають дедалі більшого значення. Ці судна здатні функціонувати без постійної участі людини, що відкриває нові можливості для виконання завдань у віддалених або небезпечних зонах, зменшує вплив людського фактору на процеси навігації та знижує витрати на експлуатацію суден. У поєднанні з розвитком штучного інтелекту, систем дистанційного моніторингу та супутникових технологій БАС можуть значно покращити ефективність морських перевезень, а також підвищити рівень безпеки на водних шляхах. Особливої значущості набуває їх використання у сфері вантажних перевезень, океанографічних досліджень, екологічного моніторингу та реагування на надзвичайні ситуації. Водночас розвиток БАС ставить перед науковцями і низку складних викликів, зокрема в частині забезпечення їхньої автономності, здатності до прийняття рішень у реальному часі та інтеграції в існуючу морську інфраструктуру. Саме тому доцільність дослідження існуючих методів керування БАС, їх розвитку та вдосконалення є важливою науково практичною задачею.

Одним із ключових регуляторних аспектів є відповідність БАС чинним міжнародним нормам. Починаючи з 2017 року Міжнародна морська організація (ІМО) активно досліджує правовий статус та експлуатаційні аспекти БАС у межах нормативного аналізу (Regulatory Scoping Exercise) щодо застосування існуючих конвенцій до автономного судноплавства. У 2021 році ІМО визначила чотири рівні автономності (від дистанційного управління до повністю автономного режиму) та заклала основу для майбутнього правового регулювання практичного застосування БАС [1].

Крім того, ІМО визнає, що правила, зокрема Міжнародні правила запобігання зіткненням суден у морі COLREGs, SOLAS, MARPOL та STCW, потребують адаптації для врахування специфіки БАС [2]. На сучасному етапі формуються рекомендації для інтеграції таких суден у наявну інфраструктуру, з дотриманням принципів безпеки, охорони навколишнього середовища та відповідальності судновласників.

Актуальність досліджень. Враховуючи наведені вище обставини, дослідження методів керування БАС обґрунтовано привертає інтерес дослідників по всьому світу [3,4], що обумовлено кількома обставинами. По-перше, світова морська індустрія дедалі активніше впроваджує інтелектуальні системи управління для підвищення ефективності, зниження витрат та мінімізації впливу людського фактору, який досі є однією з основних причин морських інцидентів. По-друге, стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту, сенсорики, комп'ютерного зору та цифрових комунікацій створює передумови для появи нових класів суден, здатних самостійно приймати рішення та адаптуватися до змінних умов зовнішнього середовища.

Зазначена тематика також набуває в контексті забезпечення безпеки навігації в умовах обмеженої видимості, високої щільності руху або нестандартних ситуацій, де класичні автоматизовані системи можуть виявитись недостатньо гнучкими. Крім того сучасне міжнародне право й регуляторна база (зокрема ІМО) вимагають від розробників автономних суден гарантування передбачуваної поведінки та високої надійності систем керування, що потребує нових підходів до моделювання, верифікації та тестування таких систем. У цьому контексті дослідження методів керування БАС не лише академічним завданням, але й необхідним інструментом для формування стандартів, практик і технологічних рішень, які будуть забезпечувати безпечну інтеграцію автономних платформ у глобальну морську транспортну систему.

Сучасні методи керування БАС, зокрема PID-регулятори, робасне керування, моделі прогнозованого керування, нечітка логіка мають обмеження в умовах високої динамічності та невизначеності морського середовища [5]. Жоден із них окремо не забезпечує одночасно адаптивність, стійкість і передбачуваність в реальному часі. Основна задача дослідження розробка або доповнення до існуючого гібридного підходу, який поєднує переваги кількох методів. Першим кроком дослідження є класифікація наявних методів керування за критеріями стійкості, обчислювальної складності та здатності до адаптації.

Результати досліджень. У результаті проведеного аналізу низки публікацій авторів виявлено основні групи методів керування, що застосовуються для безекіпажних автономних суден: класичні, адаптивні, робасні, нечіткі, предикативні та гібридні. Кожен із них має свої переваги та недоліки в залежності від характеристик навколишнього середовища, вимог до точності та обчислювальних ресурсів [5]. Розглянемо коротко вищенаведені методи керування:

1. Класичні PID-регулятори: один з найпростіших але і найбільш поширений метод для стабілізації руху в умовах низької динаміки, однак не забезпечує гнучкості при змінних зовнішніх впливах.

2. Адаптивні методи: автоматично змінюють свої параметри залежно від зміни характеристик системи або зовнішніх умов.

3. Робасні методи (наприклад, H_∞ -керування) забезпечують високу стійкість до невизначеностей, проте мають високу обчислювальну складність.

4. Методи нечіткої логіки (Fuzzy Logic) [6] ефективні для моделювання складних систем без точного математичного опису, зокрема при маневруванні в умовах обмеженої видимості або при уникненні зіткнень.

5. Моделі прогнозованого керування (Model predictive control) [7,8] забезпечують високу точність руху при складних траєкторіях, але вимагають значних обчислювальних ресурсів, що обмежує їх використання.

6. Гібридні підходи, що поєднують кілька методів, виявилися перспективними для підвищення адаптивності й прозорості прийняття рішень. Вони дозволяють поєднати ефективність точного контролю з гнучкістю логічного виводу.

Проведена класифікація дозволяє оцінити методи за критеріями: стійкість до збурень, обчислювальна складність та здатність до адаптації в динамічному середовищі. Особливу увагу приділено гібридним методам, як напрямку з високим потенціалом до практичного застосування в майбутніх системах автономного судноплавства. На підставі проведеного аналізу публікацій було визначено недоліки та переваги існуючих методів керування за стійкістю до збурень, обчислювальною складністю, адаптивністю та наведено у Таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння існуючих методів керування БАС.

№	Метод керування	Стійкість до збурень	Обчислювальна складність	Адаптивність у динаміці	Галузь застосування
1	Класичний (PID)	Низька	Низька	Низька	Утримання курсу в сталих умовах навігації.
2	Адаптивний	Середня	Середня	Висока	Керування при зміні навантаження або переходах між режимами руху.

Продовження таблиці 1

3	Робастне (H_{∞})	Висока	Висока	Середня	Рух у складних умовах — хвилювання, вітер, сильна течія.
4	Нечітка логіка	Середня	Середня	Середня	Забезпечення безпечної навігації в умовах обмеженого маневрового простору та низької видимості.
5	Прогнозований (MPC)	Висока	Висока	Середня	Точне слідування за складною траєкторією під час швартування.
6	Гібридний	Висока	Висока	Висока	Інтелектуальна навігація в змінних умовах з поясненням рішень.

Таким чином, гібридні підходи є найбільш перспективними для майбутніх систем автономного судноплавства, оскільки дозволяють поєднувати сильні сторони кількох методів керування високу точність, адаптивність до змін середовища та стійкість до зовнішніх збурень. Як приклад, комбіноване застосування нечіткої логіки та моделей прогнозованого керування забезпечує ефективне прийняття рішень у складних ситуаціях. Інтеграція механізмів пояснювальних механізмів, таких як пояснюваний ШІ [9,10] у гібридні системи підвищить довіру до автономного керування та полегшує його сертифікацію в морську інфраструктуру. Вищезазначене особливо актуальне у випадках наявності збурень від зовнішнього середовища, обмежень морського простору та необхідності забезпечення прозорості у процесах прийняття рішень.

Виходячи з інформації, яка наведена в Таблиці 1, вбачаємо доцільним застосування трьохкомпонентної архітектури, що передбачає застосування декількох методів керування БАС, таких як: нечітка логіка, моделі прогнозованого керування та пояснюваний ШІ. У зазначеній архітектурі слід застосовувати наступну послідовність обробки даних:

- керування системою в умовах динамічного середовища (модель прогнозованого керування),
- адаптація до нечітких чи неповних вхідних даних (метод нечіткої логіки),
- інтерпретація та пояснення прийнятих рішень для операторів (пояснюваний ШІ).

Запропонована архітектура системи обробки інформації для керування БАС наведена на Рисунку 1.

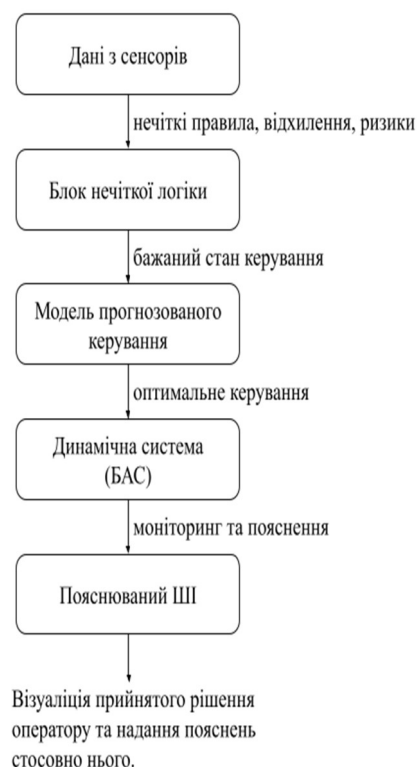


Рисунок 1 — Можливий варіант побудови системи обробки інформації з керування БАС

Таким чином для вищенаведеної архітектури можемо визначити таку послідовність дій: блок нечіткої логіки формує бажаний курс на основі відхилення від шляху, оцінки ризику (перешкоди, вітер, течі) та поточної поведінки. Після отримання бажаного курсу модель прогнозованого керування розв’язує оптимізаційну задачу використовуючи курс як основу та враховує можливі обмеження, такі як: позиція, швидкість, прискорення, кутова швидкість, обмеження на зміну керування. Отриманий результат надходить до динамічної системи та змінює курс. Модуль Пояснюваного ШІ інтерпретує які нечіткі правила були активовані (наприклад, «якщо курс відхиляється і перешкода близько...») та які параметри вплинули найбільше на модель прогнозованого керування та виводить пояснення для оператора.

Висновки. У результаті проведеного дослідження сучасних методів керування безекіпажними автономними суднами встановлено, що жоден з класичних підходів – PID-регулювання або методи оптимального (робасного) керування не здатні повною мірою задовольнити вимоги до адаптивності, стійкості та пояснювальності рішень в умовах складного та динамічного морського середовища. Методи побудовані на нечіткій логіці, машинному навчанні або МРС, мають окремі сильні сторони але водночас обмежені при застосуванні у реальних сценаріях через складність налаштування, чутливість до зміни параметрів зовнішнього середовища або недостатню прозорість дій.

На основі аналізу переваг та недоліків різних методів керування БАС визначено найбільшу перспективність гібридних методів, які поєднують у собі декілька технологій (наприклад, нечітка логіка + модель прогнозованого керування + пояснюваний ШІ). Такі системи дозволяють забезпечити гнучке прийняття рішень, дотримання фізичних обмежень та пояснення поведінки системи для цілей довіри, сертифікації або втручання оператора. Саме тому розробка та практичне запровадження гібридних систем керування БАС являє собою пріоритетний напрям в сфері досліджень автономного судноплавства.

ЛІТЕРАТУРА

1. IMO. (2021). Outcome of the regulatory scoping exercise for the use of maritime autonomous surface ships (MASS) — MSC.1-Circ.1638, London, UK. [Autonomous ships:](#)

[regulatory scoping exercise completed.](#)

2. IMO. (2019) Autonomous shipping — International Maritime Organization. MSC.1-Circ.1605, London, UK. [Autonomous shipping](#).

3. A. Q. Ansari, Department of Elect. Engg., Faculty of Engg. and Technology, Jamia Millia Islamia, New Delhi-110025, India The Basics of Fuzzy Logic: A Tutorial Review. https://www.researchgate.net/profile/Abdul-Quaiyum-Ansari/publication/278031775_The_Basics_of_Fuzzy_Logic_A_Tutorial_Review/links/557aacf308aeacff20041733/The-Basics-of-Fuzzy-Logic-A-Tutorial-Review.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail&_rtd=e30%3D.

4. Eriksen B.-O. H., Breivik M., Wilthil E. F., Flåten A. L., Brekke E. F. The branching-course model predictive control algorithm for maritime collision avoidance. J Field Robotics. 2019;36:1222–1249. <https://doi.org/10.1002/rob.21900>.

5. Yajuan Wang, Chao Shen, Jiahui Huang & Hua Chen Model-free adaptive control for unmanned surface vessels: a literature review. [Full article: Model-free adaptive control for unmanned surface vessels: a literature review](#)

6. Klir, G. J., & Yuan, B. (1995). Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

7. Shi, Y., Shen, C., Wei, H., & Zhang, K. (2023). *Advanced Model Predictive Control for Autonomous Marine Vehicles*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-19354-5>

8. Rawlings, J. B., Mayne, D. Q., & Diehl, M. M. (2017). *Model Predictive Control: Theory, Computation, and Design* (2nd ed.). Nob Hill Publishing

9. Saurav Sarkar, Soma Das, Ananya Chanda, Sayan Biswas, Classify Chronic Wounds, Explainable and Responsible Artificial Intelligence in Healthcare, 10.1002/9781394302444.ch12, (297–322), (2025)

10. Explainable artificial intelligence: an analytical review. [Explainable artificial intelligence: an analytical review - Angelov - 2021 - WIREs Data Mining and Knowledge Discovery — Wiley Online Library](#)

FORMALIZATION OF THE FLIGHT DISPATCHER'S DECISION MAKING IN CASE OF FLIGHT DELAY

Surkova K.V., Lomakina M. Ye.
Ukrainian State Flight Academy
(Ukraine)

Introduction. The flight dispatcher's tasks include initiating, if necessary, changes to the flight route, delays, flight combination or cancellation, with notification of this via available communication channels to all interested parties. An airline that has a delayed flight has to make every effort to transport their customers and their luggage as quick as possible. After analyzing the flight dispatchers' activities, it was found that the main task of airline employees in case of a flight delay is to minimize the delay time [1].

Relevance of research. Competent flight dispatchers' actions help the operator save significant material resources and improve the quality of passenger service by improving flight schedule adherence, and in the event of a flight delay, by minimizing the delay time. When a flight delay situation occurs, the flight dispatchers may be affected by time (shortage of time; irregularity of information presentation; high rate of information presentation; uncertainty of time (unexpectedness) of signal arrival, etc.) and information (information incompleteness; information redundancy; large volume of information; information unreliability; disruption of the information arrival rhythm, etc.) factors [2]. Decision-making often takes place in conditions of information uncertainty and risk.

Objectives. All causes of delays relate to specific individuals, units or organizations that have to prevent regularity violations [3]: operator; airport; air traffic air traffic service authorities; weather conditions; late arrival of the aircraft (A/C) for the scheduled flight. According to the Procedure for Recording and Reporting Regularity of Civil Aviation Aircraft Flights of Ukraine [3], delays are classified by reasons, including: schedule, passengers and baggage, cargo and mail, postal items only, aircraft and apron service, A/C maintenance, A/C damage, automatic equipment failure, flight and crew preparation, weather, air traffic control, airport administration and government services, interactions, miscellaneous.

The US Bureau of Air Transport Statistics [4] classifies the following reasons for flight delays: late arrival of the aircraft for the scheduled flight, meteorological conditions, limited capacity of the air traffic system, and improper organization of the aircraft operator's work. If an air carrier is considered, the reason for the cancellation or delay was circumstances that depend on the airline (e.g., maintenance or crew issues, aircraft cleaning, baggage loading, refueling, etc.).

In order to formalize the flight dispatcher's complex activities, the methods of describing the operator's activities have been analyzed. Such methods are divided into two groups: activity description at the system level and activity description at the level of individual operations. Methods of describing activities at the level of individual operations are intended to reveal the operational structure of the operator's activity individual stages or individual tasks. To create such descriptions, the considered period of activity or task is divided into a finite number of elements: simple actions or operations, and the functional relationships that exist between these elements are identified. Such methods include: the method of operational stage diagrams, the method of organizational charts, the method of graph diagrams, and the method of algorithmic description. The task of ensuring flights in case of a flight delay is a complex task, the solution of which involves many airline units and other structures. Therefore, the flight dispatcher's activities in case of a flight delay will be described using several models. An algorithmic description has been chosen because a flowchart is a classic means of formalizing a complex activity.

Research results. A generalized scheme of the flight dispatcher's activities of any company when performing operation tasks in case of a flight delay situation has been created (Fig. 1). In general, in an airline, such situations are handled by employees of the department, service or operational flight control center (may have a different name), let's call it conditionally: Operational Flight Control Service (OFCS). Employees of such a service, in particular, must

respond, in close cooperation with a specific aircraft captain and, when necessary, with the management of the flight unit, to operational failures in the process of flight operations (for example, the need for early departure or flight delay, route change or deviation from the specified flight route during its preparation or execution, etc.).

The provided diagram includes a sequence of blocks, which in turn are subprocesses described by separate algorithms in the form of flowcharts. In the process of ensuring flights, the flight dispatcher obtains all necessary clearances for the flight, determines weight restrictions, taking into account the aircraft technical condition, analyzes actual and forecasted weather, as well as NOTAM, highlights important information regarding the departure aerodrome, landing, alternate and along the entire flight route, which will be performed by the crew in accordance with the flight task, etc. The flight dispatcher monitors the aircraft flight using software and hardware.

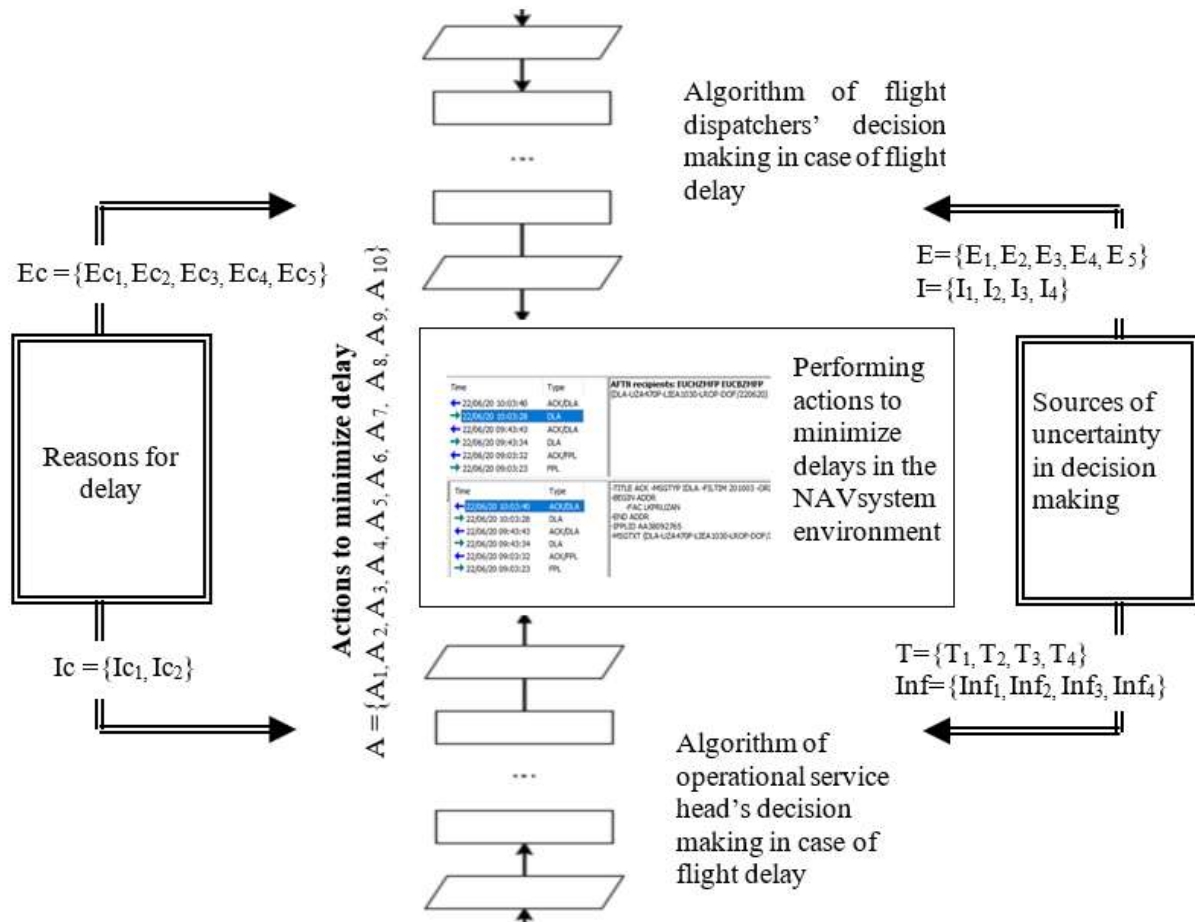


Figure 1 — Generalized diagram of the flight dispatcher's activities when making a decision in case of a flight delay

When a flight is delayed, the flight dispatcher analyzes the situation in terms of delay time and changes in the flight plan information, as well as the reasons for the delay. During operational planning there are typical production situations with the corresponding probability: the slot is missed — 7%; the aircraft is ready for departure at least 15 minutes before the EOCT — 47%; low visibility (capacity reduction) — 25%; re-routing in FPL — 6%; flight delay — 10%; the flight receives the status: suspended — 3%; flight resumed, flight confirmation — 2% [2].

In the event of typical operation situations, relevant situation messages are received and analyzed. For example, in case of a «Flight Delay» situation, the flight dispatcher receives and analyzes the REJ (rejection message), ACK (acknowledge message) messages from the flight plan; after analysis, the following messages are generated in response: DLA (delay message), CNG (change message), CNL (flight plan cancellation message).

The algorithmic description of the flight dispatcher's decision-making process in case of a

flight delay is presented at the level of typical actions and logical conditions. That is, typical actions are used when processing a flight delay situation, as well as logical conditions that determine the choice of a particular method of action (operation), namely the analysis of the reasons for the flight delay, IFPS system messages, slot formation, etc. The flight dispatcher's decision-making process in case of a flight delay is presented in two flowcharts: execution by the OFCS flight dispatcher and execution by the OFCS head; in the absence of the OFCS head at the workplace, his duties are performed by the flight dispatcher.

As a result of the analysis of the flight dispatcher's activities, it was found that the flight dispatcher's actions related to the regularity of flights can be divided into two groups:

- actions to prevent delays;
- actions to minimize the delay time, if such a situation has already occurred.

Actions to minimize the flight delay time:

- communication with aerodrome services due to heavy traffic;
- communication with the handling company due to the queue at the refueling station;
- communication with the head of the airline flight service due to the aircraft crew;
- communication with the customer regarding the cargo;
- communication with the airline technical maintenance services;
- the route change according to current weather conditions;
- reminding the aircraft captain about the ready message;
- alternate aerodrome change according to current weather conditions at the alternate aerodrome and destination aerodrome;
- alternate aerodrome change according to the changed route;
- communication with the unit regarding the clearance to perform a flight.

The study used the decomposition method, i.e. the complex process of processing a flight delay situation is structured according to decomposition levels: groups of uncertainty sources; uncertainty sources; groups of reasons for delay, reasons for delay; actions to minimize delays. This structure was created for more usual display the complex process of processing a flight delay situation more clearly.

Conclusions. Thus, to formalize the flight dispatcher's decision-making process in case of a flight delay, various methods were used: analysis of professional activity, survey, expert assessment method, decomposition, multiple theoretical representations, process algorithmization. As a result, we obtained a decomposition scheme, two flowcharts, and a detailing of actions to minimize the delay in tabular form. To present the process as a whole, a generalized scheme of the flight dispatcher's decision-making in case of a flight delay was created.

REFERENCES

1. Суркова К.В. Структура інтерфейсу електронного засобу навчання з оперативного планування та контролю виконання польотів. *Науковий вісник Льотної академії. Серія: Педагогічні науки: зб.наук.пр.* Кропивницький: КЛА НАУ, 2017. С. 173-177
2. Surkova K., Surkov K., Lomakina M. Formalized description of flight dispatchers' activities with slot messages. *Науковий вісник Льотної академії. Серія: Педагогічні науки.* Кропивницький: ЛА НАУ, 2022. Вип. 11. С. 82-88.
3. Порядок обліку та звіту регулярності польотів повітряних суден цивільної авіації України. Наказ 12.12.2005 №1490/11770. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1490-05#Text> (дата звернення 20.04.2025)
4. BTS. Understanding the Reporting of Causes of Flight Delays and Cancellations. URL: <https://www.bts.gov/topics/airlines-and-airports/understanding-reporting-causes-flight-delays-and-cancellations> (дата звернення 22.04.2025)

БАГАТОПАРАМЕТРИЧНА ДІАГНОСТИКА ВИСОКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Тимофеев К.В., Артемчук О.А., Багін Є.П., Сопіжук Є.М.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. На сучасному етапі розвитку світового суднобудування єдині електроенергетичні системи (ЄЕЕС) з системами електроприводу (СЕП) судна знаходять все більш широке застосування на морському та річковому транспорті. Рациональним рішенням стає застосування високовольтних судових енергетичних систем (СЕС) з використанням апаратури напругою 6,6 кВ або 11 кВ.

Актуальність досліджень. Надійність роботи суден з високовольтною СЕС в значній мірі залежить від стану електроустаткування, що забезпечує безперебійну роботу енергетичних систем, позапланова зупинка яких може привести до серйозних аварій, що тягне за собою тривалі простої і суттєві фінансові втрати, а, можливо, і людські життя.

Реалізація повного циклу контролю стану електрообладнання від отримання даних, обробки результатів, вироблення командного імпульсу до перебудови режимів роботи об'єкта і отримання зворотного зв'язку для корекції уставок самої системи контролю, дозволить підвищити ресурс, знизити аварійність, витрати на ремонт і, як наслідок, підвищити ефективність їх функціонування.

Постановка задачі. Основні підходи до розробки методів і засобів діагностування електричних машин показали доцільність застосування принципів багатопараметричного функціонального діагностування. Сукупність діагностичних параметрів повинна задовольняти вимогам повноти опису всіх класів дефектів, максимальної чутливості до зміни значень структурних параметрів, мінімальності складу, доступності для контролю і виміру, мінімуму вартості і часу контролю і вимірювання, достатній мірі роздільності при розпізнаванні окремих дефектів. Аналіз діагностичних параметрів дозволив сформулювати ефективну сукупність, що включає параметри вібрації, температури, споживаного і ємнісного струму, а також електророзрядної активності [1].

Дефекти спотворюють робочий струм двигуна або напруги на клеммах двигуна з наступних причин:

1) механічні дефекти. На фоні основного струму, обумовленого споживанням виконавчого механізму, додаються пульсації струму через кидки від тертя. Тертя в дефекті модулює момент опору при обертанні машини, що, при відомому законі зміни напруги промислової мережі, визначає появу додаткових гармонік у струмі живлення, тобто появі «автографа дефекту» або «відбитка пальця» [2].

2) Контактні дефекти. Виникають через зміни перехідного опору, проте через малість змін контактного опору струм буде мати слабкі ознаки «автографа». Однак при контактних явищах будуть випромінюватися потужні високочастотні (ВЧ) електромагнітні хвилі, які і будуть ознакою дефекту.

3) Дефекти через розряди в пакеті активної сталі. Такі дефекти також можуть викликати зміни в струмі (ΔI_{mag}). При цьому важлива теплова потужність дефекту. При розряді в пакеті осердя випромінюються ВЧ електромагнітні хвилі, за якими фіксується дефект.

4) Дефекти, що супроводжуються частковими розрядами в ізоляції, потужність цих дефектів мала $10^{-6} \dots 10^{-8}$ Вт і їх внесок у зміну струму незначний. Однак розряди випромінюють електромагнітні хвилі, які можна виміряти [3].

Неелектричними методами діагностики, що дозволяють визначити наявність дефекту, є:

1) Контроль вібрації. Фіксуються вібрації або звукові коливання на корпусі двигуна, вимірюється віброприскорення, віброшвидкість або вібропереміщення. Зазначені характеристики можуть бути отримані за результатами вимірювання датчиком-

акселерометром і далі шляхом обчислення визначені інші параметри [4]:

- віброшвидкості $v = \int a dt$,
- вібропереміщення $x = \int v dt$.

2) Тепловізійний контроль — вимірюються температура і область (об'єм) з підвищеною температурою, це дозволяє оцінити потужність виділення теплової енергії в дефекті.

Блок-схема запропонованої системи багатопараметричної діагностики двигунів з набором засобів наведена на рисунку 1. Система дозволяє визначити та локалізувати електророзрядні явища, теплові процеси, механічні (вібраційні) явища.

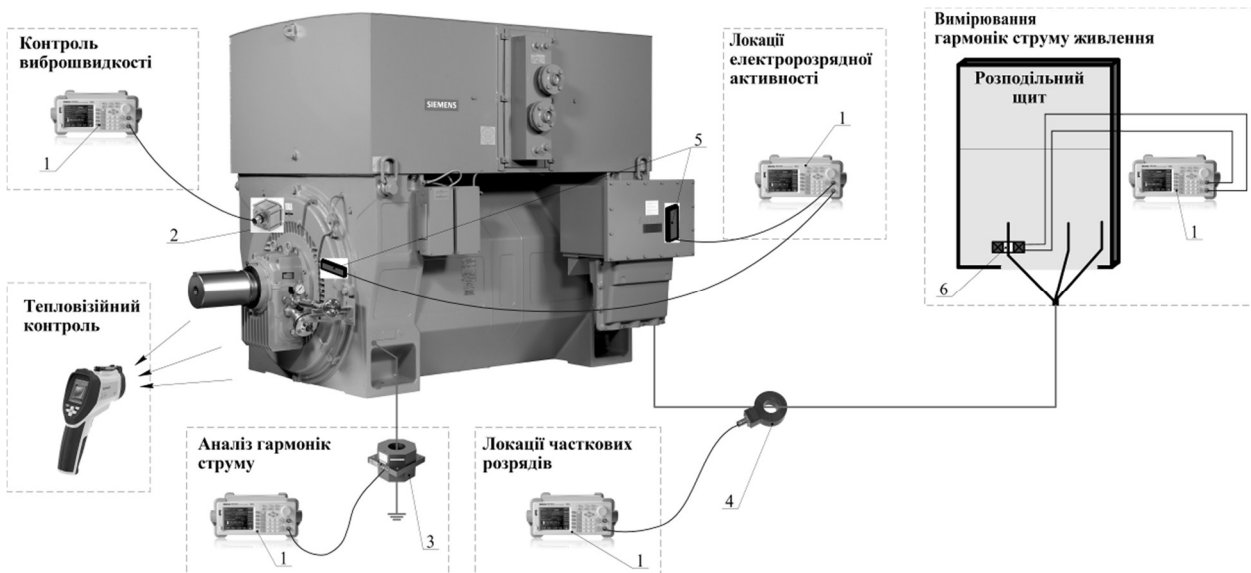


Рисунок 1 — Система багатопараметричної діагностики високовольтних двигунів:

- 1 — осцилограф; 2 — вібродатчик магнітного типу; 3 — вимірювальний трансформатор струму; 4 — датчик локації часткового розряду в кабельній лінії, високочастотний трансформатор струму; 5 — датчики контролю електророзрядної активності; 6 — вимірювальний трансформатор струму

Схема містить велику кількість контактних, безконтактних датчиків і осцилографів, що істотно ускладнює процес діагностування та вимагає залучення досвідченого фахівця. Інтелектуальна багатопараметрична система діагностування технічного стану високовольтного електроустаткування дозволить автоматичне визначення поточного стану об'єкта.

Для класифікації технічного стану застосовано формалізовану нечітку модель в якій вхідними даними є види дефектів, а виходами – параметри стану об'єкта [5].

За результатами вимірювання параметра електророзрядної активності (ЕРА) можна виявити шість несправностей: Y_1 — «Коронна активність в обмотці статора»; Y_2 — «Часткові розряди в корпусній ізоляції розряди в кабельній лінії»; Y_3 «Іскріння в контактах в районі клемної коробки»; Y_4 «Пазовий розряд в обмотці статора»; Y_5 «Розряди в обмотці ротора»; Y_6 — «Іскрові розряди в активній сталі». Розвиток кожного дефекту двигуна проходить наступні стадії: поява ознак явища; явище фіксується стійко; є динаміка розвитку; перехід в граничний стан, отже, в якості перших шести входів нечіткої моделі класифікації технічного стану, задаються несправності, які виявляються по ЕРА з чотирма функціями належності, котрі характеризують стадії розвитку дефекту.

За результатами вимірювання середньоквадратичного значення (СКЗ) віброшвидкості, модуль, що належить одному з чотирьох класів може перебувати в зоні А, В, С або D. Функції приналежності мають трапецієподібну форму і відповідають зоні вібрації:

$$\begin{aligned}
A &= (0, 2.8)_0 \cup (0.28, 1.8)_1; \\
B &= (1.8, 4.5)_0 \cup (2.8, 4.5)_1; \\
C &= (4.5, 18)_0 \cup (7.1, 11.2)_1; \\
D &= (11.2, 45)_0 \cup (18, 45)_1.
\end{aligned}$$

Таким чином, на вхід нечіткої логічної системи подається множина несправностей об'єкта $\tilde{Y} = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7\}$, де Y_1 — коронна активність в обмотці статора; Y_2 — часткові розряди в корпусній ізоляції розряди в кабельної лінії; Y_3 — іскріння в контактах в районі клемної коробки; Y_4 — пазовий розряд в обмотці статора; Y_5 — іскрові розряди в активній сталі; Y_6 — розряди в обмотці ротора; Y_7 — СКЗ віброшвидкості електродвигуна. Дефекти електродвигуна мають таку класифікацію: «Норма» — відсутність явного дефекту; «Норма з відхиленнями (НЗВ)» — малозначний дефект; «Норма зі значними відхиленнями (НЗЗВ)» — значний дефект; «Погіршення» — критичний дефект; «Передаварійний» — граничний стан. Для завдання виходу «Стан» нечіткої моделі класифікації задаються зазначені п'ять видів стану.

Виходячи з цих вимог, нечітка база знань матиме такий вигляд:

- R_1 : якщо $Y_1 \in \text{«Поява»}$ і $Y_2 \in \text{«Поява»}$... і $Y_6 \in \text{«Поява»}$ і $Y_7 \in \text{«А»}$ то $X \in \text{«НЗВ»}$;
- R_2 : якщо $Y_1 \in \text{«Фіксація»}$ і $Y_2 \in \text{«Фіксація»}$... і $Y_6 \in \text{«Фіксація»}$ і $Y_7 \in \text{«В»}$ то $X \in \text{«НЗЗВ»}$;
- R_3 : якщо $Y_1 \in \text{«Динаміка»}$ і $Y_2 \in \text{«Динаміка»}$... і $Y_6 \in \text{«Динаміка»}$ і $Y_7 \in \text{«С»}$ то $X \in \text{«Погіршення»}$;
- R_4 : якщо $Y_1 \in \text{«Межа»}$ або $Y_2 \in \text{«Межа»}$... або $Y_6 \in \text{«Межа»}$ і $Y_7 \in \text{«С»}$ то $X \in \text{«Передаварійне»}$;
- R_5 : якщо $Y_1 \in \text{«Поява»}$ або $Y_2 \in \text{«Поява»}$... або $Y_6 \in \text{«Поява»}$ і $Y_7 \in \text{«А»}$ то $X \in \text{«Норма»}$;
- R_6 : якщо $Y_1 \in \text{«Фіксація»}$ або $Y_2 \in \text{«Фіксація»}$... або $Y_6 \in \text{«Фіксація»}$, і $Y_7 \in \text{«В»}$ то $X \in \text{«Норма з відхиленнями»}$;
- R_7 : якщо $Y_1 \in \text{«Динаміка»}$ або $Y_2 \in \text{«Динаміка»}$... або $Y_6 \in \text{«Динаміка»}$, і $Y_7 \in \text{«С»}$ то $X \in \text{«Норма зі значними відхиленнями»}$;
- R_8 : якщо $Y_1 \in \text{«Межа»}$ або $Y_2 \in \text{«Межа»}$... або $Y_6 \in \text{«Межа»}$ і $Y_7 \in \text{«С»}$ то $X \in \text{«Погіршення»}$.

Для перетворення чітких вхідних значень в чіткі вихідні використовується алгоритм нечіткого логічного виведення Mamdani.

Процедура отримання логічного виведення наступна:

1. передбачається, що вхідні змінні прийняли деякі конкретні значення $Y_{10}, Y_{20}, Y_{30}, Y_{40}, Y_{50}, Y_{60}, Y_{70}$, за якими знаходяться ступені істинності $y_j(Y_{i0}), i \in [1, 7]$ для передумов кожного з наведених правил і рівні «відсікання» $\alpha_l, l \in [1, k]$ функцій приналежності для передумов кожного з правил з використанням операцій мінімум (« $\wedge$ »):

$$\begin{aligned}
\alpha_1 &= y_1(Y_{10}) \wedge y_1(Y_{20}) \wedge y_1(Y_{30}) \wedge y_1(Y_{40}) \wedge y_1(Y_{50}) \wedge y_1(Y_{60}) \wedge y_1(Y_{70}); \\
\alpha_k &= y_k(Y_{10}) \wedge y_k(Y_{20}) \wedge y_k(Y_{30}) \wedge y_k(Y_{40}) \wedge y_k(Y_{50}) \wedge y_k(Y_{60}) \wedge y_k(Y_{70}).
\end{aligned}$$

Потім знаходимо «усічені» функції приналежності $x'_i(X)$:

$$\begin{aligned}
x'_1(\tilde{X}) &= \alpha_1 \wedge x_1(\tilde{X}); \\
x'_n(\tilde{X}) &= \alpha_n \wedge x_n(\tilde{X}).
\end{aligned}$$

2. Проводиться об'єднання функцій, усічених на попередньому етапі логічного виводу з використанням операції *max* (« $\vee$ »), в результаті чого виходить комбінована нечітка підмножина, що описується функцією приналежності $\mu_{\Sigma}(\tilde{X})$ і відповідне логічному виводу для вихідної змінної A :

$$\mu_{\Sigma}(\tilde{X}) = x(\tilde{X}) = x'_1(\tilde{X}) \vee x'_2(\tilde{X}) \vee \dots \vee x'_n(\tilde{X}).$$

3. Знаходження чіткого значення вихідної змінної визначається як центр ваги функції приналежності $\mu_{\Sigma}(\tilde{X})$:

$$x = \frac{\int_G \tilde{X} \cdot \mu_{\Sigma}(\tilde{X}) d\tilde{X}}{\int_G \mu_{\Sigma}(\tilde{X}) d\tilde{X}}.$$

У разі класифікації поточного стану як НЗЗВ виникає необхідність більш ретельного технічного контролю і залучення додаткових методів діагностування, що дозволяють знайти несправності. До таких методів належать методи спектрального аналізу вібрації і споживаного струму двигуна, а також тепловізорний контроль об'єкта.

Результати досліджень. У результаті комп'ютерного моделювання запропонованої нечіткої моделі діагностування отримано поверхні відгуку і графіки залежностей стану об'єкта від рівня розвитку несправностей. Для дослідження двигуна із застосуванням даної моделі, необхідно на вхід подати відносні значення розвитку дефектів, що виявляються по ЕРА і абсолютне значення СКЗ віброшвидкості. Рівню розвитку «Поява» відповідає значення входу «-1», «Фіксація» — «-0.5», «Поява» — «0.5», «Межа» — «1». На виході буде отриманий номер класу технічного стану від 1 до 5.

Висновки. Багатопараметричне діагностування високовольтної електричної машини може бути формалізовано за допомогою моделей класифікації технічного стану і пошуку несправностей за результатами класифікації.

Розроблено нечітку модель класифікації технічного стану у вигляді предикатних правил, що дозволяє за результатами вимірювання параметрів електророзрядної активності і середньоквадратичного значення віброшвидкості визначити технічний стан об'єкта, оцінюючи його одним із п'яти класів станів.

Запропоновано метод підвищення ефективності функціонування високовольтної електричної машини, заснований на нечіткій моделі класифікації. Наведений метод відрізняється спільним застосуванням електричного методу контролю електророзрядної активності і неелектричних методу вібраційного діагностики, що дозволяє оцінити всі можливі види дефектів високовольтних модулів і суттєво підвищити якість діагнозу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Tugengold A. K., Ryzhkin A.A., Lukianov E.A. & Wojciechowicz Boleclav. Multilevel Intelligent Control of Mechatronical Technological Systems // Advanced Robotic Systems International. Cutting Edge Robotics. — Mammendorf. — Germany. — 2005. — P. 745–754.
2. W. T. Thomson and M. Fenger Current signature analysis to detect induction motor faults.// IEEE Industry Applications Magazine, vol. 7, pp. 26–34, 2001.
3. 1434–2000 — IEEE Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery. <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6953>. 15 August 2000. DOI: 10.1109/IEEESTD.2000.91905.
4. P.S.M. Lamim Filho, R. Pederiva, J.N. Brito Detection of stator winding faults in induction machines using flux and vibration analysis. IEEE-SDEMPED' 2009.
5. Jenny Carter, Francisco Chiclana, Arjab Singh Khuman, Tianhua Chen Fuzzy Logic: Recent Applications and Developments. — 2021. — 385 p.

УДК 629.5.036.55:004.896

АДАПТАЦІЯ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ДО ПОТРЕБ БЕЗЕКІПАЖНОГО УПРАВЛІННЯ

Чимшир В.І.

*Дунайський інституту Національного університету «Одеська морська академія»
(Україна)*

Вступ. Розвиток автономного судноплавства (MASS — Maritime Autonomous Surface Ships) є одним з основних векторів інновацій у сфері морського транспорту. Відповідно до рекомендацій Міжнародної морської організації (IMO), автономні судна повинні забезпечувати безпечне та ефективне функціонування без постійної присутності екіпажу. Це ставить нові вимоги до всіх підсистем судна, зокрема до суднових енергетичних установок (СЕУ), які є ядром функціонування судна. Сучасні СЕУ мають бути адаптовані до автоматизованого та інтелектуального управління, здатного забезпечити стабільну, енергоефективну та безпечну роботу в умовах мінімального людського втручання.

Огляд літератури. У роботі [1] розглядають безмодельне адаптивне керування як ефективний інструмент управління безекіпажними надводними суднами. Такі методи дозволяють судновим системам самостійно адаптуватися до зовнішніх впливів, не потребуючи традиційних регуляторів.

Автори роботи [1] пропонують модельно-орієнтовану систему підтримки прийняття рішень (DSS) для покращення роботи СЕУ у перехідних та динамічних режимах. Згідно з дослідженням, такі системи дозволяють мінімізувати ризики людської помилки.

У дослідженні [3] автори описують стратегію енергоменеджменту, що враховує стан «здоров'я» (health-aware energy management) елементів СЕУ. Це критично важливо в умовах віддаленої експлуатації судна, коли необхідно завчасно виявити можливі відмови.

Автори у своєму дослідженні [4] пропонують предиктивне управління, що враховує деградацію обладнання. Такий підхід дозволяє оптимізувати використання енергії, зменшити знос обладнання та забезпечити безперервність енергопостачання.

У роботі [5] автори здійснили огляд сучасних малих автономних надводних суден, підкреслюючи необхідність інтеграції розподілених джерел енергії, резервних джерел живлення та нових схем охолодження.

Зміст статті [6] пояснює переваги DC-розподілу в суднових СЕУ: зменшення втрат, спрощення топології, краща масштабованість.

Зміст статті [7] надає загальний огляд сучасних систем управління енергією на суднах, включаючи автоматичне навантаження генераторів, резервування та діагностику.

Мета дослідження провести аналіз підходів до адаптації суднових енергетичних установок (СЕУ) в умовах безекіпажного керування, які забезпечують підвищену автономність, надійність, енергоефективність та здатність до самодіагностики й прогнозування технічного стану з використанням сучасних алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання.

Основна частина. СЕУ автономних суден повинні відповідати підвищеним стандартам безпеки, відмовостійкості, гнучкості та автономності. Наявність інтелектуальних сенсорів і здатність до самодіагностики — обов'язкові характеристики. Всі операції — від запуску до зупинки — мають виконуватись автоматично або дистанційно, включаючи режими аварійного відновлення.

Безекіпажні судна використовують багаторівневі системи управління: рівень автоматики (контролери СЕУ), рівень адаптації (безмодельні регулятори) та рівень прийняття рішень (DSS). Зокрема, фахівці впроваджують алгоритми машинного навчання для виявлення відхилень і прогнозування відмов (Рис.1):

1. Алгоритми для виявлення аномалій. Нейронна мережа, яка навчається стискати і відновлювати дані. Аномалії визначаються як спостереження з високою похибкою відновлення. **Алгоритм** виявляє незвичні коливання у температурі, тиску, вібрації в СЕУ.

2. Алгоритми прогнозування технічного стану. Рекурентні нейронні мережі, які «запам'ятовують» довгострокові залежності в часових рядах. Прогнозує навантаження на дизель-генератори, очікуваного зносу компонентів, появи вібрацій.

3. Комплексні моделі прогнозування відмов. Комбінації LSTM з Autoencoder або CNN (Convolutional Neural Networks) для одночасного виявлення аномалій і прогнозу часу до відмови (Remaining Useful Life, RUL).

4. Алгоритми класифікації технічного стану. Для класифікації станів обладнання: «нормальний», «погіршений», «критичний». Часто використовуються як «легкі» моделі для обмежених за обчислювальною потужністю систем.

Вибір моделі залежить від основної мети. Наприклад, якщо необхідно робити виявлення відхилень у режимі реального часу то більш за все підвиде алгоритми «Autoencoder, Isolation Forest»; для прогнозу залишкового ресурсу — алгоритми «LSTM, Random Forest, XGBoost»; для класифікації технічного стану — алгоритми «SVM, Decision Tree, Logistic Regression».



Рисунок 1 — Алгоритми машинного навчання для виявлення відхилень і прогнозування відмов

Упровадження health-aware та degradation-aware стратегій дозволяє СЕУ працювати в оптимальному режимі, запобігаючи піковим навантаженням і відмовам. Дані про температуру, вібрацію, знос підшипників і якість палива аналізуються в реальному часі.

Перехід від AC до DC-розподілу в енергетичних системах дозволяє забезпечити більшу енергоефективність. Це дає можливість використовувати різні джерела живлення (включаючи сонячні батареї та акумулятори) одночасно, балансує навантаження між ними.

Оскільки СЕУ автономних суден контролюються дистанційно, забезпечення захисту даних і систем критичне. Інтеграція SCADA-систем, IoT-датчиків та зашифрованих каналів зв'язку — обов'язковий крок до кіберстійкості.

Сучасні СЕУ для безекіпажних суден мають відповідати вимогам ІМО щодо викидів. Тому активно впроваджуються гібридні силові установки, використання водню, аміаку або синтетичного палива, а також системи рекуперації тепла.

Висновки. Суднові енергетичні установки майбутнього мають бути не лише потужними й надійними, а й адаптивними, інтелектуальними та здатними до автономної роботи. Інтеграція систем діагностики, адаптивного управління, енергоменеджменту та кіберзахисту дозволяє забезпечити безпечне функціонування СЕУ в умовах безекіпажного

судноплавства. Подальші дослідження повинні зосереджуватись на розробці еталонних архітектур для універсального застосування автономних енергетичних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Tan, X., Wang, L., & Zhao, H. (2024). *Model-free adaptive control for unmanned surface vessels*. Journal of Marine Engineering and Technology. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21642583.2024.2316170>
2. Filimonov, E., Akimov, A., Nikiforov, A., & Andreev, V. (2021). *Improving the ship's power plant automatic control system by using a model-oriented decision support system*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/353151335>
3. Qin, Y., Zhou, J., Wang, Y., & Huang, G. (2023). *A health-aware energy management strategy for autonomous ships*. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 57. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146523010141>
4. Guan, Y., Liu, C., & Zhang, X. (2021). *Degradation aware predictive energy management strategy for ship power systems*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2105.12173>
5. Zhang, L., Feng, D., & Huang, T. (2023). *Small unmanned surface vessels—A review and critical analysis*. Journal of Marine Science and Engineering, 11(12), 2387. <https://www.mdpi.com/2077-1312/11/12/2387>
6. Wikipedia. (n.d.-a). *DC distribution system (ship propulsion)*. [https://en.wikipedia.org/wiki/DC_distribution_system_\(ship_propulsion\)](https://en.wikipedia.org/wiki/DC_distribution_system_(ship_propulsion))
7. Wikipedia. (n.d.-b). *Power management system*. https://en.wikipedia.org/wiki/Power_management_system

**СЕКЦІЯ:
БЕЗПЕКА СУДНОПЛАВСТВА**

**SECTION:
SAFETY OF NAVIGATION**

ВПЛИВ ВЕЛИКИХ ДЕФОРМАЦІЙ ТРОСУ НА РОБОТУ АВАРІЙНОЇ КАНАТНОЇ ПЕРЕПРАВИ

Алексенко В.Л., Фостик П.П., Кацалап А.О.

Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. Організація та технічне оснащення пошукових і рятувальних операцій на суші й морі важливі для діяльності служб екстреної допомоги [1].

Значний інтерес у практиці аварійно-рятувальних робіт представляє технологія порятунку людей та вантажів із палаючої будівлі чи корабля, який сів на каміння чи мілину, по натягнутому канату [2]. Канатні переправи використовувались для військових цілей як у роки 2-ї світової війни [3], так і у військових операціях на островах дельти Дніпра нині [4–6].

Стан питання. У [1–6] та інших джерелах, доступних авторам, відсутні довідкові дані про проектування канатних переправ. У роботі [7] розглядається кінематика та статика канатної переправи людей та вантажів в аварійних ситуаціях, де трос був прийнятий абсолютно гнучкою, невагомою та нерозтяжною ниткою. Наведені розрахункові залежності для визначення координат x_{p1} , y_{p1} точки кріплення вантажу P_1 при русі по канату, підвішеному між опорами F_1 і F_2 довжина якого $S > F_1F_2 = L/\cos \alpha$ (рис.1), а також безрозмірних зусиль у напівгілках тросу $t_{11}=T_{11}/P_1$, $t_{12}=T_{12}/P_1$ і мінімальною відстанню h від заданої горизонтальної поверхні O_1X_1 (наприклад, рівня моря).

Мета дослідження. Припущення про нерозтяжність є виправданим для канатів із жорстких матеріалів із досить великим провисанням у невантаженому стані. Канатний сталевий дріт виготовляється з високовуглецевої сталі марок 65–80 тимчасовий опір якого становить щонайменше 1400 Н/мм², а для канатів підвищеної міцності він може досягти 2100 Н/мм² і більше [6]. У той же час, у практиці наведення канатних переправ та висячих мостів, саме широке застосування знаходять троси з органічних та синтетичних матеріалів, податливість яких при розтягуванні на один / два порядки більша. Нижче розглядаються питання урахування впливу великих пружних деформацій тросу на роботу аварійної канатної переправи.

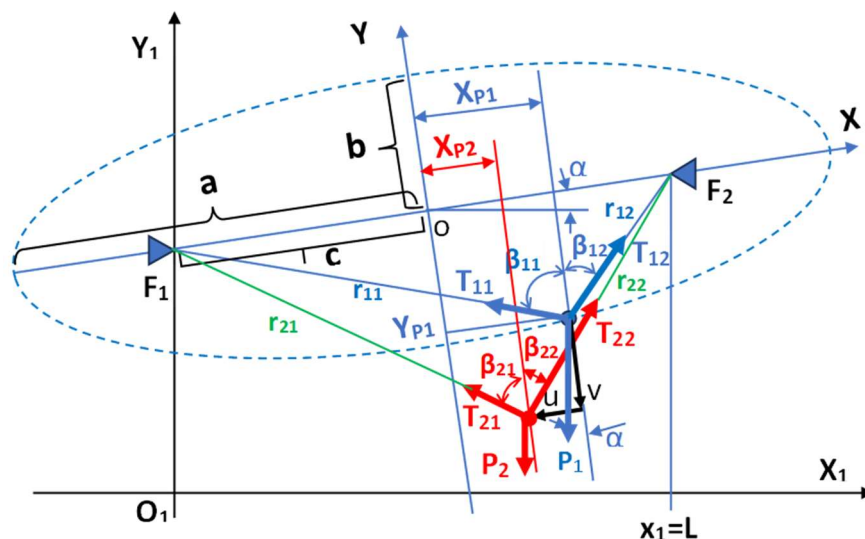


Рисунок 1 – Розрахункова схема канатної переправи і план пружних переміщень u і v . Пунктиром позначена еліптична траєкторія точки підвісу вантажу при великій жорсткості каната на розтягування. Відносно малий вантаж P_1 врівноважується зусиллями у канаті T_{11} і T_{12} . При великих деформаціях каната вантаж P_2 врівноважується зусиллями T_{21} та T_{22}

Статика і кінематика переправи з урахуванням великих деформацій канату.

Навантаження канату з початковою недеформованою довжиною S , прийнятою на розрахунковій схемі рис. 1 невагомою абсолютно гнучкою ниткою, в деякій точці з абсцисою x_{p1} виконаємо в два етапи.

Попередньо завантажимо його відносно невеликим, не викликаючим суттєвих деформацій, навантаженням P_1 . У цьому випадку, як витікає з [7], навантаження, прикладене в точці з абсцисою x_{p1} , займе на еліптичній траєкторії положення з ординатою y_{p1} , фокусною відстанню $c = L/2 \cos \alpha$, піввісями a і b з фокальними радіусами $r_{11}=P_1F_1$ і $r_{12}=P_1F_2$, кутах β_{11} і β_{12} , які визначаються відповідно [7].

На другому етапі навантажування доведемо навантаження до його кінцевого значення P_2 . З урахуванням деформацій, які в даному випадку приймем підпорядкованими закону Гука

$$r_{21} = r_{11} (1 + f t_{21}) \quad (1); \quad r_{22} = r_{12} (1 + f t_{22}) \quad (2)$$

Тут $t_{21} = T_{21} / P_2$ і $t_{22} = T_{22} / P_2$ — безрозмірні зусилля в гілках тросу при великих лінійно-пружних деформаціях; EA — жорсткість тросу на розтягнення; $f = P_2 / EA$ — безрозмірне навантаження на трос. З трикутника $F_1F_2P_2$:

$$\sin \beta_{21} = (4c^2 + r_{21}^2 - r_{22}^2)/(4cr_{21}) \quad (3); \quad \sin \beta_{22} = (4c^2 + r_{22}^2 - r_{21}^2)/(4cr_{22}) \quad (4)$$

$$\cos \beta_{21} = \sqrt{1 - \sin^2 \beta_{21}} \quad (5); \quad \cos \beta_{22} = \sqrt{1 - \sin^2 \beta_{22}} \quad (6)$$

Координати точки підвісу P_2 :

$$x_{p2} = (r_{21}^2 - r_{22}^2)/(4c) \quad (7); \quad y_{p2} = -\sqrt{r_{21}^2 - (c + x_{p2})^2} \quad (8)$$

З умов рівноваги:

$$t_{21} = (\cos \alpha \sin \beta_{22} - \sin \alpha \cos \beta_{22})/D_2; \quad t_{22} = (\cos \beta_{21} \sin \alpha + \sin \beta_{21} \cos \alpha)/D_2, \quad (9)$$

$$\text{де } D_2 = (\cos \beta_{21} \sin \beta_{22} + \sin \beta_{21} \cos \beta_{22})$$

Внаслідок збільшення навантаження з P_1 до P_2 точка прикладання P_1 отримає додаткові пружні переміщення u і v (рис. 1),

Вісім рівнянь (1) — (6) і (9) утворюють систему нелінійних відносно введених на другому етапі восьми невідомих: r_{21} , r_{22} , $\sin \beta_{21}$, $\sin \beta_{22}$, $\cos \beta_{21}$, $\cos \beta_{22}$, t_{21} , t_{22} .

Закон деформування напівгілок каната при цьому прийнято лінійним (1), (2), а геометричні та статичні залежності (3) — (6) і (9) — нелінійні. При використанні каната з фізично нелінійного матеріалу, необхідно лише замінити закон деформування (1), (2).

Для визначення дійсних коренів вищевказаної системи (10) було розроблено ітеративний алгоритм, реалізований на Pascal ABC. В якості початкового наближення приймаються значення невідомих, які визначаються з рішення [7]. Прийнятна для практики, точність досягається вже при 4 ітераціях.

З метою оцінки похибки рішення [7] по схемі канату як нерозтяжної жорсткої нитки порівняно з рішеннями (1) — (9), які враховують великі лінійно пружні деформації, було проведено ряд числових експериментів.

Результати числових експериментів щодо оцінки похибок розрахунку канатної переправи відповідно до схеми жорсткої нитки. Варіювався кут нахилу лінії F_1F_2 до горизонту α , відстань між кінцями канату $\overline{F_1F_2}=L/\cos \alpha$, довжина канату в недеформованому стані $S > \overline{F_1F_2}$ і безрозмірне навантаження $f = P_2 / EA$.

Розглянуто дві групи матеріалів канату: відносно жорстка струна з вуглецевої сталі [8–10] та еластичні поліамідні волокна (капрон, нейлон, дедерон) [11–15] характерні значення фізико-механічних властивостей яких наведені в табл. 1

Таблиця 1 — Фізико-механічні властивості матеріалів, прийняті в числовому експерименті

	ρ , кг/м ³	σ_b , МПа	E , МПа	θ , %	T_p , К
Сталь високовуглецева					
Дріт канатний ДСТ 7372, DIN 2078 групи 2060 (210), марки В	7810	2060	$2,1 \times 10^5$		—
Волокно поліамідне					
Поліамідне волокно (капрон, нейлон, дедерон)	1140	770...850	$(3,2...3,5) \times 10^3$	13...17	490

Тут ρ — щільність матеріалу, σ_b — межа міцності (тимчасовий опір) при розриві, E — модуль Юнга, θ — відносне подовження при розриві, T_p — температура розкладання (деструкції).

Для спрощення, площа поперечного перерізу для обох матеріалів була прийнята $A = 1 \text{ мм}^2$ і жорсткість на розтяг EA виходила чисельно рівною модулю подовжньої пружності, але з відповідною розмірністю (Н).

У результаті числових експериментів встановлено, що відносні похибки визначення безрозмірних зусиль, знайдені за схемою абсолютно жорсткої гнучкої невагомої нитки, збільшуються зі зменшенням відношення $S/\sqrt{F_1 F_2}$ і зростанням параметра навантаження $f = P_2 / EA$.

Відповідно, зростає і пружна компонента вертикального переміщення v .

Ці похибки визначення зусиль, через зменшення внаслідок подовжень тросу кута між його гілками, відбуваються у безпечну сторону.

На основі [16] для режиму роботи нерухомих канатів М8 мінімальний коефіцієнт міцності був прийнятий $n = 5$.

Прийнята в інженерних обчисленнях прийнятна точність 5–10%, , в даному випадку зусиль у гілках канату відповідно до схеми абсолютно жорсткої нитки [7], досягається лише при використанні канатів із жорстких матеріалів, типу сталі.

У випадку, що розглядається, для канату переправи при $S/L = 1,01$ (заздалегідь туго розтягнутого) точність приблизно 5% з похибкою в безпечну сторону забезпечується при навантаженнях до $f \approx 3 \cdot 10^{-4}$.

Для сталевих канатів при $S/L \geq 1,05$ прийнятна точність розрахунку відповідно до схеми жорсткої розтягнутої нитки забезпечується, аж до навантажень, що викликають у гілках канату зусилля, близькі до розривних.

При використанні канатів на основі волокон з еластичних матеріалів, рішення задачі міцності та траєкторія руху точки підвішування в рамках припущення, що канат не розтягується, призводить до неприпустимо великих похибок.

Слід зазначити, що механічні властивості канатів близькі до даних табл. 1 для паралельного укладання в пучках сталевих дроту або синтетичних ниток [17]. Для інших конструкцій канатів (способів звивки) значення умовних модулів трохи нижчі і наводяться там же.

Висновки та рекомендації. Запропоновано програму розрахунку міцності канатної переправи з урахуванням великих деформацій тросу.

Проведено числові експерименти, які дозволяють зробити такі висновки:

- при використанні для наведення переправ сталевих тросів з виконанням норм для мінімальних коефіцієнтів запасу міцності, похибки розрахунку за схемою жорсткої нитки лежать у межах прийнятних для інженерних розрахунків;

- застосування канатів з еластичних синтетичних волокон вимагає обов'язкового врахування фізичної та геометричної нелінійності задачі.

Широкий асортимент канатних продуктів, пропонованих безпосередніми виробниками та торговельними мережами, не забезпечено (за винятком розривних зусиль

та погонної маси) потрібними даними про інші фізико-механічні характеристики та їх зміни під час експлуатації, що необхідно для проектування вантових конструкцій у тому числі канатних переправ.

Після доопрацювання, методики розрахунку канатних переправ будуть передані структурам ДСНС України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Неклонський І.М., Самарін В.О. Організація пошуково-рятувальної операції на морі. *Об'єднання теорії та практики — залог підвищення постійної готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням*: матеріали VIII науково-технічної конференції м. Харків, 2011, С. 23–28.
2. Уроки операції з порятунку танкера «Делфі» URL: <https://www.golos.com.ua/article/338125> (дата звернення: 06.11.2023).
3. Канатні дороги використовувалися у військових цілях на території СРСР у роки Другої світової війни. URL: <https://reibert.info/threads/kanatnye-dorogi-ispolzovavshiesja-v-voennyx-celjax-na-territorii-sssr-v-gody-2-j-mirovo.82561/> (дата звернення: 12.03.2024).
4. Лівий берег, канатна переправа та хімічна зброя: як боронили Південь України влітку 2024-го. Одного разу була уражена навіть канатна переправа через одну з проток. URL: <https://armyinform.com.ua/2024/11/11/livyj-bereg-kanatna-pereprava-ta-himichna-zbroja-yak-boronyly-pivden-ukrayiny-vlitku-2024-go/> (дата звернення: 03.04.2025).
5. Човни, артсистеми та канатна переправа: втрати росії на Півдні. URL: <https://armyinform.com.ua/2024/08/19/chovny-artsystemy-ta-kanatna-pereprava-vtratyi-rosiyi-na-pivdni/> (дата звернення: 03.04.2025).
6. ЗСУ вперше знищили канатну переправу армії РФ на лівобережжі Херсонщини. URL: <https://news.online.ua/zsu-vperse-znishhili-kanatnu-perepravu-armiyi-rf-na-livoberezzi-xersonshhini-883580/> (дата звернення: 03.04.2025).
7. Алексенко В.Л. Вантові конструкції для аварійно-рятувальних робіт / В.Л. Алексенко, А.О. Кацалап, П.П. Фостик // Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI – 2023) : зб. м-лів III Міжнар. наук.-практ. конф., — Херсон, 22 листопада 2023 року, — Херсон : ХДМА, 2023. — С. 26–27.
8. ГОСТ 7372-79 Дріт сталевий канатний. Технічні умови
9. Канатний сталевий дріт. URL: <https://wire.org.ua/rope-wire> (дата звернення: 03.04.2025).
10. Смоляков С.Л. Пружні властивості канатів // *Машинобудування*. — 2014. — № 14. — С. 76–80.
12. Klare H., Fritzsche E., Grobe V. Synthetische Fasern aus polyamiden [Synthetic fibers made from polyamides]. Berlin: Akademie-Verlag, 1963. 640 p.
14. Писаренко Г. С. та ін. Опір матеріалів: Підручник / Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський; За ред. Г. С. Писаренка. — 2-ге вид., допов. і переробл.. — К.: Вища шк., 2004. — 655 с.: іл.
15. Довідник з опору матеріалів / Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В.; Отв. ред. Писаренко Г. С. — 2-ге вид., переробл. и допов. — Київ: Наук. думка, 1988. — 736 с.
16. Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0244-18#n13> (дата звернення: 03.04.2025).

ВПЛИВ SA ВАХТОВИХ ОФІЦЕРІВ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ В АКВАТОРІЯХ ІЗ ВИСОКОЮ ЩІЛЬНІСТЮ ТРАФІКУ СУДЕН

Безбах О. М.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Навігація в є одним із найскладніших викликів для вахтових офіцерів (ООВ) та команд суден, що працюють у таких регіонах. Такі акваторії, як підхідні шляхи до великих портів Сінгапуру, Гуанчжоу чи Нінбо Чжоушань тощо, характеризуються інтенсивним трафіком різноманітних суден — від великотоннажних торговельних суден до маломірних рибальських човнів. У цих умовах ООВ зобов'язані приймати швидкі та обґрунтовані рішення, враховуючи численні фактори, такі як погодні умови, стан власного судна, гідродинамічні дані, географічні особливості, вимоги Міжнародних правил запобігання зіткненням суден у морі (COLREGS) тощо. Отже в акваторіях із високою щільністю трафіку ситуаційна обізнаність (SA) вахтових офіцерів має бути максимальна. У даних тезах аналізуються базові аспекти організації ефективної навігаційної вахтової служби, а також виклики, пов'язані з навігацією судна в акваторіях із високою щільністю трафіку, та підкреслює важливість дотримання міжнародних стандартів для забезпечення безпеки судноплавства.

Актуальність дослідження. По-перше, актуальність інформації даних тез обумовлена тим, що у сучасному світі торговельне судноплавство відіграє ключову роль у глобальній економіці, забезпечуючи транспортування понад 80 % світового вантажообігу, за даними Міжнародної морської організації (ІМО). Зростання обсягів морських перевезень, особливо в регіонах із високою концентрацією портів, таких як Сінгапур, Гуанчжоу, Шанхай чи Нінбо Чжоушань, призводить до значного збільшення щільності трафіку суден. Наприклад, порт Сінгапуру, один із найзавантаженіших у світі, у 2024 році обробив близько 39 мільйонів TEU (двадцяти-футових еквівалентних одиниць) і реалізував понад 130 000 заходів суден [1]. Саме такі умови створюють акваторії із високою щільністю трафіку суден, де ООВ стикаються з підвищеним ризиком зіткнень, аварійних випадків інших першопричин та потенційних екологічних катастроф.

По-друге, за даними Європейського агентства з морської безпеки (EMSA), у 2014 — 2024 роках близько 20 % морських інцидентів у європейських водах були пов'язані з навігаційними помилками в зонах із високою щільністю руху суден. Аналогічні тенденції спостерігаються в Азійсько-Тихоокеанському регіоні, де щільний рух рибальських човнів, інших маломірних суден, а також великотоннажних торговельних суден ускладнює маневрування та вимагає від ООВ виняткової ситуаційної обізнаності, швидкості прийняття рішень і суворого дотримання Міжнародних правил запобігання зіткненням суден у морі (COLREGS). Зокрема, звіт ІМО за 2024 рік підкреслює, що понад 75 % аварій у судноплавстві пов'язані з людським фактором, якій обумовлений недостатньою підготовкою екіпажів чи неадекватним реагуванням на складні навігаційні ситуації.

Актуальність даних тез обумовлена також контекстом сучасних викликів, таких як впровадження автоматизованих систем управління рухом суден, використання штучного інтелекту та подальше зростання розмірів суден, наприклад, контейнеровози класу ICON з дедвейтом понад 200 000 тон [1–2]. Ці фактори змінюють динаміку взаємодії суден у акваторіях із високою щільністю трафіку, зокрема через гідродинамічні ефекти, що виникають при близькому розходженні згаданих суден. Крім того, кліматичні зміни впливають на погодні умови, що ускладнює навігацію в регіонах із нестабільними течіями чи обмеженою видимістю.

Дослідження навігаційних практик в акваторіях із високою щільністю трафіку має на меті не лише аналіз ключових факторів, що впливають на безпеку, таких як стан судна, погодні умови, географічні особливості, ефективність різноманітних радіонавігаційних

приладів і систем тощо, але й розробку рекомендацій для підвищення кваліфікації ООВ, удосконалення процедур управління суднами та інтеграції нових цифрових технологій. Такі дослідження потенційно впливатимуть на зниження ймовірності аварійних випадків, отже є важливим для забезпечення сталого розвитку судноплавної галузі, підвищення безпеки судноплавства та навігації, зміцнення глобальних логістичних ланцюгів, покращуючи ріст світової економіки тощо.

Результати дослідження. Необхідно наголосити, що судноводіння в акваторіях із високою щільністю трафіку — мабуть найбільш непросте завдання для будь-якого ООВ. Акваторії із високою щільністю трафіку — це такі регіони Світового океану, де власне судно має найбільш негативні шанси зіткнутися з іншим судном, якщо навігація власного здійснюється не належним чином. Однак судноводіння у відкритих акваторіях також може виявитися непростим для деяких ООВ у силу ряду обставин, але завдяки меншій інтенсивності трафіку і досить великому водному простору, така навігація не несе потенційних ризиків, як у перевантажених водах. Наприклад, підхідні шляхи та акваторії таких портів, як у Сінгапур, Гуанчжоу, Нінбо Чжоушань тощо, характеризуються щільним трафіком рибальських човнів, а також інших маломірних суден на додаток до великотоннажних торгових суден. Ці фактори за замовчуванням означають, що ООВ за таких обставин мають демонструвати найвищий рівень професіоналізму, ситуативної обізнаності та ефективності у прийнятті рішень.

Такі фактори, як стан водного середовища та погоди, близькість інших суден, стан власного судна, наприклад, рухається вільно чи звільняє шлях іншому, завантажене чи у баласті, особливості взаємодії з іншими суднами, що може спричиняти різницю у тиску на носі чи кормі, близькість до берегової лінії, ефективність стернового управління, ефективність радіонавігаційних приладів і систем, вплив мілін тощо — це лише деякі з багатьох факторів, щодо яких має бути ситуативно обізнаним будь-який ООВ. Прийняті рішення стосовно управління власним судном, які мають ґрунтуватися на аналізі зазначених факторів, мають застосовуватися у поєднанні з COLREGS, щоб забезпечити безпечну навігацію в акваторіях із високою щільністю трафіку. Наприклад, Правило 18 COLREGS чітко визначає, яке судно не повинно заважати іншому судну, що, по суті, означає, що будь-яке судно не може обійти вже існуючі правила щодо відповідальності [3–4].

Необхідно зосередити увагу на тому, що у загаданих регіонах поблизу власного судна завжди знаходиться кілька інших суден, саме тому ймовірність зіткнення або будь-якої іншої аварії надзвичайно висока. Отже дотримання ООВ вимог COLREGS у досліджених випадках є вкрай необхідним, щоб звести нанівець будь-які юридичні проблеми, що можуть потенційно виникнути через некоректні рішення стосовно управління власним судном. У таких умовах і вахтовий офіцер, і капітан судна, повинні вжити всіх необхідних заходів, щоб звести до мінімуму ризик аварійних випадків. Навіть за наявності лоцмана, який у більшості випадків добре знайомий з існуючим місцевим навігаційним ландшафтом, відповідальність за безпеку судна лежить саме на капітанові. Наприклад, навіть присутність лоцмана на містку судна не звільняє капітана і вахтових від обов'язку дотримуватися безпечної швидкості та безпечної відстані від інших суден [5].

Висновки. Навігація в акваторіях із високою щільністю трафіку є одним із найскладніших завдань для вахтових офіцерів через обмежену можливість прийняття ефективних та своєчасних рішень, що значно підвищує ризик зіткнень та інших потенційних аварійних випадків. Ефективна організація навігаційної вахтової служби відіграє головну роль у забезпеченні безпеки судноводіння для будь-якого сучасного судна, враховуючи такі досліджені ключові фактори, що впливають на безпеку, як стан судна, погодні умови, географічні особливості, ефективність різноманітних радіонавігаційних приладів і систем тощо. Основними складовими такої служби є підтримання високого рівня ситуаційної обізнаності, суворе дотримання Міжнародних правил запобігання зіткненням суден у морі, зокрема Правила 18, та своєчасне прийняття обґрунтованих рішень з

урахуванням численних факторів, таких як стан судна, погодні умови, особливості гідродинамічні взаємодії, географічні дані та ефективність технічних засобів судноводіння.

Актор даних тез наголошує, що навіть за наявності лоцмана відповідальність за безпеку судна залишається на капітані та вахтових, що вимагає від них постійної пильності та професіоналізму відповідного рівня. В регіонах Світового океану із високою щільністю трафіку, таких як акваторії портів Сінгапуру, Гуанчжоу чи Нінбо Чжоушань, де присутній інтенсивний рух різноманітних суден, ООВ повинні демонструвати виняткову обережність і компетентність. Подальше впровадження сучасних цифрових технологій у судноводіння та регулярне підвищення кваліфікації екіпажів є необхідними для зниження аварійності та забезпечення сталого розвитку судноплавної галузі. Таким чином ситуаційна обізнаність (SA) вахтових офіцерів не лише запобігає потенційним аваріям, але й сприяє глобальній безпеці судноводіння, захисту морського середовища, зміцненню глобальних логістичних ланцюгів, покращуючи ріст світової економіки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Безбах О. М., Безкровний В. О. Дослідження впливу сучасних технічних засобів судноводіння на ефективність навігаційної вахти. Збірник матеріалів XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2024)», Одеса, 29–31 травня 2024. Херсон: Херсонська державна морська академія, 2024. С. 153 – 155.
2. Weintrit A. International Recent Issues about ECDIS, e-Navigation and Safety at Sea. Boca Raton : CRC Press, 2017. 204 P.
3. Consolidated Text of the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS). London : International Maritime Organization Publishing, 2020. 574 P.
4. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW): Including Manila Amendments. London : International Maritime Organization Publishing, 2017. 378 P.
5. International Chamber of Shipping Bridge Procedures Guide : Sixth Edition. London : Marisec Publications, 2022. 196 P.

АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ НА ВНУТРІШНІХ ВОДНИХ ШЛЯХАХ

Долинська Н.Б., Калініченко Є.В.

Одеський національний морський університет
(Україна)

Вступ. Судноплавство внутрішніми водними шляхами (ВВШ) відіграє важливу роль у забезпеченні сталого розвитку транспортної галузі, особливо в регіонах із розвиненою річковою логістикою [1]. Забезпечення належного рівня навігаційної безпеки є критичним фактором для ефективного функціонування флоту, попередження надзвичайних ситуацій, зменшення ризику аварій і охорони довкілля [2]. Традиційні методи контролю навігаційної ситуації, зокрема візуальний огляд, використання сигналів та карт, поступово почнуть поступатися місцем автоматизованим і інтелектуальним рішенням, здатним оперативно аналізувати великі обсяги даних [3]. У цьому контексті виникає потреба в створенні алгоритмів, що забезпечують об'єктивну оцінку рівня навігаційного ризику, адаптовану до специфіки ВВШ.

Актуальність дослідження. Розвиток цифрових технологій, штучного інтелекту, супутникової навігації та сенсорних систем створює передумови для переходу до нових концепцій управління навігаційною безпекою [4]. Проте внутрішні водні шляхи мають свої особливості: обмежена глибина, вузькі ділянки, змінні гідрологічні умови, інтенсивний трафік і обмежені можливості для маневрування [5]. Через це традиційні алгоритми, розроблені для морських акваторій, не забезпечують належного рівня адаптивності [6]. Актуальність роботи визначається потребою у створенні адаптивної, модульної та масштабованої системи, здатної в реальному часі обробляти інформацію з багатьох джерел і формувати інтегральний показник рівня навігаційної небезпеки [7]. Така система може стати основою для ухвалення судноводієм інформованих рішень, зменшуючи залежність від суб'єктивного фактору.

Постановка задачі. Метою дослідження є підвищення рівня навігаційної безпеки на внутрішніх водних шляхах шляхом розробки та впровадження алгоритму, що забезпечує багатофакторну оцінку ризиків та прийняття рішень в режимі реального часу. Для реалізації цієї мети було визначено такі дослідницькі завдання:

1. Ідентифікувати основні навігаційні загрози та параметри, що впливають на рівень безпеки на ВВШ, включаючи глибину, швидкість течії, щільність трафіку, погодні умови та технічний стан суден;
2. Побудувати модель зваженої оцінки ризику, яка базується на інтеграції даних з різних джерел (AIS, ECDIS, гідрометео-дані);
3. Розробити алгоритм функціонування системи оцінювання з урахуванням реального положення судна, напрямку руху та прогнозу змін навігаційної обстановки;
4. Впровадити структуру модульної архітектури системи, що дозволяє масштабування та інтеграцію з іншими судновими або береговими інформаційними платформами;
5. Провести апробацію алгоритму на основі реальних даних навігації по українських ВВШ із подальшим аналізом ефективності.

Результати дослідження.



Рисунок 1 — Схема структури системи оцінювання навігаційної безпеки на ВВШ

У результаті дослідження була розроблена архітектура інтелектуальної системи

оцінювання навігаційної безпеки (Рис. 1), що включає чотири основні функціональні модулі:

- Модуль збору та уніфікації даних, який автоматично зчитує параметри суднового руху, метеоінформацію, гідрологічні характеристики та картографічні шари, здійснюючи фільтрацію шумів та синхронізацію вхідних потоків;
- Аналітичний модуль, що виконує розрахунок рівня ризику для заданої ділянки маршруту з використанням нечітких множин та вагових коефіцієнтів, що відображають вплив кожного параметра;
- Прогностичний модуль, який реалізує алгоритми машинного навчання для визначення потенційно небезпечних ділянок шляху з урахуванням історичних інцидентів, гідрографічної структури і зміни параметрів у часі;
- Візуалізаційно-рекомендаційний модуль, що забезпечує подання інформації у вигляді цифрових карт з підсвічуванням критичних зон, а також надає судноводієві рекомендації (зниження швидкості, вибір альтернативного маршруту, попередження про обмежену видимість тощо).

Під час моделювання були проаналізовані дані руху суден на окремих ділянках річки Дніпро, з урахуванням навігаційних умов у період весняної повені. Алгоритм демонструє високу стабільність при зміні кількості вхідних параметрів, а результати оцінки ризику корелюють з історичними даними про події з обмеженням навігації.

Висновок. Запропонований алгоритм є основою для створення інтелектуальної системи оцінювання навігаційної безпеки на внутрішніх водних шляхах. Він дозволяє об'єктивно оцінювати рівень навігаційного ризику в реальному часі, враховуючи гетерогенні джерела даних і просторово-часові характеристики навігаційного середовища. Переваги алгоритму включають модульну структуру, здатність до адаптації в різних географічних умовах, інтеграцію з існуючими судновими навігаційними системами та можливість формування практичних рекомендацій для екіпажу.

Подальші дослідження зосереджуватимуться на розширенні набору вхідних параметрів (включаючи стан шлюзів, мостів, підводних перешкод), розвитку механізмів групового суднового маневрування у складних умовах, підключенні до національних центрів моніторингу безпеки річкової навігації.

ЛІТЕРАТУРА

7. Schütz, E., Holzki, T., Genschorek, C., & Loewe, A. (2022). Conception And Implementation Of A Heterogeneous Ship-Specific Sensor System For The Acquisition Of Relevant Data For Autonomous Operation. *ICCAS 2010*. <https://doi.org/10.3940/rina.iccas.2022.36>
8. Lei, J., Sun, Y., Wu, Y., Zheng, F., He, W., & Liu, X. (2024). Association of AIS and radar data in intelligent navigation in inland waterways based on trajectory characteristics. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(6), 890. <https://doi.org/10.3390/jmse12060890>
9. Liu, J., Jiang, X., Huang, W., He, Y., & Yang, Z. (2022). A novel approach for navigational safety evaluation of inland waterway ships under uncertain environment. *Transportation Safety and Environment*, 4(1). <https://doi.org/10.1093/tse/tdab029>
10. Bakdi, A., Glad, I. K., Vanem, E., & Engelhardtsen, Ø. (2019). AIS-Based Multiple Vessel Collision and Grounding Risk Identification based on Adaptive Safety Domain. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(1), 5. <https://doi.org/10.3390/jmse8010005>
11. Ge, J., & Liu, J. (2019). Security Assessment Algorithm of Navigation Control System based on big data. *Journal of Coastal Research*, 93(sp1), 1026. <https://doi.org/10.2112/si93-148.1>
12. Ding, H., & Weng, J. (2024). A robust assessment of inland waterway collision risk based on AIS and visual data fusion. *Ocean Engineering*, 307, 118242. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118242>
13. Luo, Z., Van Baelen, S., Slaets, P., & Bruyninckx, H. (2024). Enhancing Inland Waterway Transport Through LiDAR-Based Updates to Electronic Navigational Charts. *Oceans*, 01–08. <https://doi.org/10.1109/oceans55160.2024.10754408>

SHIP MANEUVERS ON THE RIVER

Zhmur V.

*Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)*

Introduction. One of the main ways to improve the efficiency of the naval fleet is to determine the conditions of safe navigation of various vessels in shallow water with variable depth. In other words, ensuring safe navigation, for example, in the water areas of ports, when passing rivers and canals in difficult hydrometeorological conditions is one of the urgent problems of shipping[1]. This is due to the fact that, according to statistics, about 90% of navigational accidents occur in the conditions listed above, and, first of all, large-tonnage vessels.

The main cause of such accidents is related to the choice of maneuvering tactics, which is based mainly on the experience of the shipmasters, acquired by him, as a rule, in the process of sailing in deep water, that is, with the fact that the shipmaster, in fact not having a priori reliable data, spends maneuvering based on subjective assessment of emerging situations.

In rivers, it is necessary to objectively take into account the relationship between the depth and the draft of the vessel, because in this case there are forces of hydrodynamic interaction of its hull and the soil, which lead to a deterioration in the maneuverability of the vessels, an increase in the level of riskiness, and with an unchanged value of the rudder translation angle to an increase in the radius of the constant circulation[2]. Thus, when sailing in shallow water, especially in conditions with variable depth, that is, with variable topography of the bottom, increased accuracy of calculating the trajectory of movement and high accuracy of determining the coordinates of the location of the vessel in the given reporting system is required.

Modern problems. The maneuverability of sea vessels began to attract the attention of shipbuilders in the middle of the last century, when their size and speed began to increase significantly. In 1971, for the first time, the International Maritime Organization (IMO) adopted resolution A.209 (VII), which defined recommendations on the maneuverability characteristics of the ship in such a way that they were available to the watch officers and pilots.

Based on the requirements for the maneuverability characteristics of ships, the IMO in 1985 approved the Circular MSC / Circ. 389, which established Interim Guidelines for the Approximate Assessment of Vessel **Maneuverability**. Resolution A.601 (15) of 1987 superseded Resolution A.209 (VII)[4] and established guidelines for compiling information in a standard format.

In 1993, the IMO adopted Resolution A.751 (18), which established Interim Standards for Ship Maneuverability. The main maneuverability qualities are: maneuverability; initial turning; stability on the course; ability to turn; ability to stop (braking).

The resolution recommended that newly built vessels meet established Interim standards and that their maneuverability be tested for compliance with THOSE standards.

The resolution also recommended that all IMO member states work on these standards for five years and report on the results in a standard form defined by MSC / Circ.644. Interim standards were to be reviewed after five years and amended as necessary.

In 2002, resolution MSC.137 (76) was adopted, which ratified the Interim Standards as mandatory for ships constructed after 1 January 2004. Practical considerations, of course, limited the scope of the IMO criteria: the controllability test programs for compliance with the criteria include only those observations that can be carried out in parallel with the usual test of the ship's handling and maneuverability in order to eliminate the costs of additional tests. Thus, the handling criteria are based on the characteristics of the vessel under typical loading in deep water and at full speed. Such data are not always suitable for practical use, since motion planning and patents are carried out for variable modes. The full stroke mode should be used in emergency situations, when no calculation is required, but only the use of the maximum possible control influences.

Methodology of the experiment. Usually, for running or passing tests, in order to exclude the influence of shallow water, a polygon is chosen with a depth determined by the expression:

$$H \geq 4T + \frac{3V^2}{g}$$

where T — the ship's draft, m;

V — vessel speed, m/s;

g — acceleration of free fall, m / s².

When solving the practical tasks of managing a ship in shallow water, it can be considered when the ratio of depth to the draft of the ship:

$$\frac{H}{T} < 3$$

Due to the influence of various factors, the speed of the vessel in shallow water is less than in deep water.

In shallow water, drift angles and angular speed of rotation decrease sharply, and the radius of constant circulation increases accordingly at the same rudder translation angles.

Dand I. W. [3] research showed that the deterioration of turning in shallow water is natural. To determine the radius of constant circulation in shallow water R_M , they obtained the following dependence:

$$R_M = \frac{R_\infty}{1 + 0.1T/H - 0.71(T/H)^2},$$

where R_∞ is the radius of constant circulation in deep water, m.

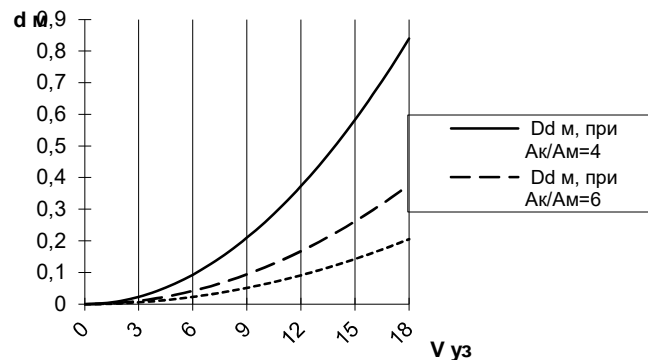


Figure 1 — Additional sediment increase when swimming in the river

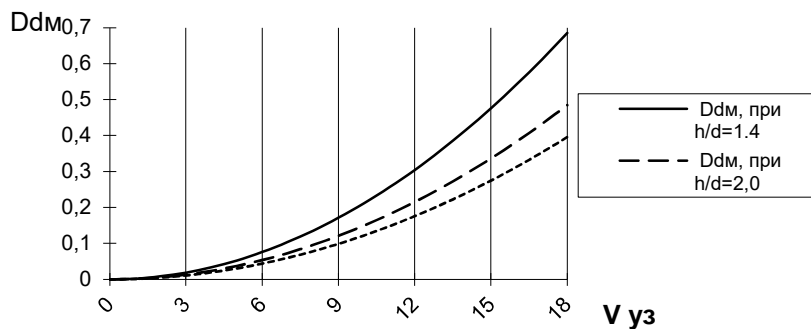


Figure 2 — The graph of the dependence of the sediment increase on the speed of the vessel in shallow water

Table 1 — Depends on the ratio of the cross-sectional areas of the channel and the submerged part of the middle frame.

A_k/A_m	4	5	6	7	8	10	12
k'	0,98	0,61	0,44	0,35	0,24	0,18	0,15
$V_{в\text{уз.}}$	0	3	6	9	12	15	18
Dd м, при $A_k/A_m=4$	0,00	0,02	0,09	0,21	0,37	0,58	0,840
Dd м, при $A_k/A_m=6$	0,00	0,01	0,04	0,09	0,17	0,26	0,377
Dd м, при $A_k/A_m=8$	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09	0,14	0,206

Comparison and evaluation of results. Thus, when swimming in an area with compressed conditions, wave formation and water resistance increase, the speed of movement decreases. In addition, in order to preserve the river bed, the local navigation rules provide for a speed limit for vessels.

When the vessel is displaced from the axis of the river and moves near its edge, forces of repulsion from the shore arise, as a result of which the nose of the vessel tends to turn toward the axis, and the stern is "sucked" to the shore. To prevent such "suction" and to ensure the straight movement of the vessel along the slope of the river, the rudder should be placed to the side of the bank. At the same time, if the speed of movement along the slope decreases, then the ship goes towards the shore, and when the speed increases - towards the axis of the channel. It is also necessary to take into account the possibility of the bow part of the vessel moving away from the shoal.

On a straight section of the river, the vessel must follow its axis. Deviation from the axis of the channel is permissible only when the ships diverge. Oncoming vessels must first steer so that their left sides are approximately on the axis of the river. When the distance between them becomes equal to about three lengths of the larger of the vessels, they should gradually give way to the necessary transverse distance, which ensures a safe separation.

To ensure safe movement during overtaking, the speed of movement is of great importance when the main engines are operating in a minimally stable mode. For overtaking, you need to choose straight sections. The transverse distance between the vessels when diverging should be equal to the distance between the slope and the vessel. In this case, the flow around the hulls of both vessels will be more uniform, and the suction phenomenon will be insignificant.

When a twin-screw vessel diverges, it is desirable to work with one screw located to the centerline of the river. In this case, the suction of water from the side of the shore to which the vessel approached decreases, which leads to a decrease in its departure from the slope.

In order to improve the controllability of vessels at the moment of divergence, the engine speed can be increased for a while. This will not lead to a sharp increase in speed.

During meetings and overtaking of ships in rivers, the draft increases more intensively than in deep water and it must be taken into account by the shipmaster.

When approaching deep recesses and turns where the course of the ship cannot be seen, it is necessary to reduce speed in advance, proceed with caution and give the appropriate sound signal prescribed by rule 34 (c) COLREG [5], and also, if possible, notify other vessels via VHF communication about his approach to the curvilinear section. The ship must be guided closer to the convex shore.

When moving past extended sections of the river, due to the asymmetry of the flow of water around the hull, the riskiness of the vessel increases. When approaching such an area, it tends to unfold in the direction of expansion, after passing - in the opposite direction.

In a strong wind, the safety of the divergence in some cases can be ensured only when one of the encountered vessels stops and displaces it from the axis.

Passing by the ships standing at the shore, it is necessary to reduce the speed to a minimum in advance. When sailing on the river, the current is of great importance in the management of the ship.

Conclusions. Swimming in an area with compressed conditions is one of the most difficult

types of swimming. It is characterized by the proximity of the vessel to surface and underwater sea navigation hazards, a sharp change in depths, the tortuosity of the fairway, canal or other shipping lane, the transience of changes in the surrounding environment, as well as limitations in the speed, draft and maneuverability of the vessel.

When the ship moves in shallow water, the main effect on its inertial braking characteristics is exerted by three factors: an increase in water resistance, an increase in attached masses and moments of inertia, a change in the coefficient of influence of the hull on the propeller.

Increasing the resistance of water leads not only to a decrease in the inertia of the vessel, but also to a decrease in its initial (steady) speed at the same screw speed.

During the implementation of the master's work and the practical use of scientific methods of research on this issue, I was:

1. The features of navigation and maneuvering of ships in shallow water are considered.
2. The rules for sailing ships on the rivers of Europe and Ukraine are analyzed.
3. It was found that in shallow water, compared with deep water, the operational stability of the vessel on the course deteriorates sharply, the riskiness increases, and the pivotability of ships noticeably deteriorates
4. It was found that in shallow water, drift angles, angular speed of rotation sharply decrease and, accordingly, the radius of constant circulation increases with the same steering angles.
5. Calculation of vessel draft increase in shallow water is made. It is recommended to maintain a depth margin under the keel with soft soils of at least 0.3 m and with dense soils of at least 0.4 m, while the speed will be reduced as much as possible, and maneuvering to diverge from other vessels is minimized.

REFERENCES

1. On Seaports of Ukraine Law of Ukraine dated 17.05.2012 No. 4709-VI
2. On approval of the Rules of navigation on inland waterways of Ukraine Ministry of Transport of Ukraine; Order, Rules No. 91 dated 16.02.2004.
3. Dand I. W. The squat of full ship in shallow water / I. W. Dand, A. M. Ferguson // Transactions of the Royal Institution of Naval Architects. — 1973. — Vol. 115. — Pp. 237–255.
4. Manoeuvring Technical Manual / Group of experts; edited by Capt. Dipl.-Ing. J. Brix. — Hamburg, Germany: Seehafen Verlag, 1993. — 266 p.
5. Rule 34 (c) COLREG

ВИБІР СКАЛЯРНОГО ПОКАЗНИКА ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯ ТОЧНОСТІ ВИБРАНИХ НАВІГАЦІЙНИХ ОРІЄНТИРІВ

Жуков Д.С., Алексєйчук Б.М.

НУ «ОМА»

(Україна)

Вступ. Плавання суден в стислих водах характеризується підвищеним рівнем навігаційної аварійності, що обумовлено наявністю навігаційних перешкод у вигляді мілин та мілководних районів. Похибки навігаційних вимірювань та маневрування судна породжують ризики навігаційної аварійності. Для полегшення прийняття рішень судноводієм при плаванні в стислих водах пропонується використати електронних карт наступним чином. Для кожної елементарної площини, порівнянної з габаритами судна, в районі його плавання необхідно розрахувати точності характеристики векторної похибки щодо центру елементарної площини, вибираючи різні поєднання орієнтирів і проводячи індикацію оцінки точності координат і групу орієнтирів на електронній карті.

Актуальність досліджень. Проблемі забезпечення безаварійності судноводіння присвячена значна кількість робіт по тематиці безпеки мореплавання. Причому проблема має ряд складових, кожна з яких направлена на зниження впливу суттєвого чинника аварійності.

Математичні моделі зміни курсу судна при повороті без урахування часу перекладання пера керма, наведеного в роботі [1]. Всього представлено три моделі різного ступеня адекватності реального процесу повороту і виявлено відповідність математичних моделей експериментальним натурним спостереженням конкретних суден.

У роботах [2, 3] розглянуто питання врахування характеристик поворотності судна при розрахунку параметрів його повороту та забезпечення необхідної точності повороту судна способом переміщення його криволінійної траєкторії, які використовуються в запропонованій інформаційній системі управління судном.

Метод оцінки навігаційної безпеки при проводці судна стислим маршрутом запропоновано в роботах [4, 5], який дає можливість заздалегідь визначити вірогідність безаварійної проводки вибраним маршрутом, межі якого формалізуються за допомогою електронної карти. При цьому, як показано в роботі [6], враховується закон розподілу похибки бокового відхилення від програмної траєкторії руху.

Для оцінки точності визначення місця судна по завданням орієнтирам в роботі [7] замість маршрутних графіків точності [8] пропонується на електронній карті формувати поле точностей, що забезпечить вибір найбільш безпечної траєкторії плавання.

Постановка задачі. Ціллю роботи являється вибір скалярного показника для характеристики поля точності вибраних навігаційних орієнтирів з метою його відображення на електронній карті.

Результати досліджень. Точність обсервації місця судна характеризується коваріаційною матрицею векторної похибки $K(\Delta X, \Delta Y)$, де ΔX і ΔY — складові векторної похибки. Скалярний показник точності повинен визначатись коваріаційною матрицею векторної похибки $K(\Delta X, \Delta Y)$.

Якщо визначення поточних координат судна проводиться методом максимальної правдоподібності, що забезпечує їх ефективні оцінки. У цьому випадку другі центральні моменти (дисперсії) і змішані моменти коваріаційної матриці мають мінімальні значення, тому матриця векторної похибки, отримана зазначеним методом, позначена $K(\Delta X, \Delta Y)_{\min}$. У роботах [9, 10] показано, що коваріаційна матриця у разі, коли точність ліній положення однакова, має такий вигляд:

$$K(\Delta X, \Delta Y)_{\min} = \frac{1}{s\Delta_r} \left\| \begin{array}{cc} \sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i & - \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i \\ - \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i & \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i \end{array} \right\|,$$

де α_i — напрямок градієнта і лінії положення;

n — число ЛП;

$$\Delta_r = \left[\left(\sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i \right)^2 \right]; \quad s = \int_{R1} \frac{\left[\frac{\partial}{\partial \xi} f(\xi) \right]^2}{f(\xi)} d\xi.$$

В останньому виразі $f(\xi)$ — щільність розподілу похибки лінії положення. Скалярна міра точності кожної з точок прибережного району плавання судна має виражатися через елементи коваріаційної матриці $K(\Delta X, \Delta Y)_{\min}$. Найбільш підходящою характеристикою для такої міри точності є дисперсія модуля векторної похибки і виражається через діагональні елементи коваріаційної матриці, тобто дисперсії складових векторної похибки.

Попередній аналіз показав, що коваріаційна матриця складових ΔX та ΔY векторіальної похибки навіть при визначенні місця судна за незалежними лініями положення має другі змішані моменти відмінні від нуля та складові векторної похибки та є залежними випадковими величинами. Таким чином, коваріаційна матриця не є діагональною, і врахування лише дисперсій складових, не враховуючи їх другого змішаного моменту, не дає можливості коректно формувати скалярний критерій.

Однак при нормальному законі розподілу ймовірностей систему залежних випадкових величин ΔX і ΔY можна замінити системою незалежних випадкових величин, які мають такий же двовимірний розподіл, як і залежні, але їх коваріаційна матриця є діагональною, і може бути представлена скалярною мірою точності [11]. У роботі [12] для нормального закону розподілу ймовірностей похибок ліній положення отримано вираз для невласного інтегралу $s = \frac{1}{\sigma^2}$. Тому остаточно отримаємо вираз для D_{md} :

$$D_{md} = \frac{\sigma^2 \left(\sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i + \sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i \right)}{\left[\left(\sum_{i=1}^n \cos^2 \alpha_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \sin^2 \alpha_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n \sin \alpha_i \cos \alpha_i \right)^2 \right]}, \quad (1)$$

де σ^2 — дисперсія похибки лінії положення.

Отриманий вираз (1) справедливий для випадку рівноточних ліній положення, похибки яких мають нормальний розподіл. Однак для кожного орієнтиру можуть бути отримані дві лінії положення при вимірі пеленгу і відстані.

Враховуючи, що для кожного орієнтира пара ліній положення різнорідні (пеленг та дистанція), то похибки ξ_1 і ξ_2 є незалежними та різноточними. Якщо врахувати, що градієнт дистанції дорівнює 1, а градієнт пеленгу — дистанції D_i до орієнтиру, то щільності розподілу $f_{Di}(\xi_1)$ і $f_{Pi}(\xi_1)$ виглядають наступним чином: $f_{Di}(\xi_1) = f_{di}(\xi_1)$ і $f_{Pi}(\xi_1) = f_{bi}(\xi_1/D_i)$. В цьому випадку вираз для скалярного показника точності D_{md} має вигляд:

$$D_{md} = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{\sigma_{Dj}^2} + \frac{1}{\sigma_{Pj}^2} \right)}{\frac{1}{2} \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{1}{\sigma_{Di}^2 \sigma_{Dj}^2} + \frac{1}{\sigma_{Pi}^2 \sigma_{Pj}^2} \right) \sin^2 \beta_{ij} + \left(\frac{1}{\sigma_{Di}^2 \sigma_{Pj}^2} + \frac{1}{\sigma_{Pi}^2 \sigma_{Dj}^2} \right) \cos^2 \beta_{ij} \right] \right\}}. \quad (2)$$

У даному виразі σ_{Dj} — с.к.в. вимірювання дистанції, а σ_{Pj} — с.к.в. лінії положення, яка отримана при пеленгуванні j -го орієнтиру і β_{ij} — горизонтальний кут між i -м і j -м орієнтирами.

Надалі розглянемо формування поля точності під час використання трьох орієнтирів, що позначені на рис.1 червоними колами.



Рисунок 1 — Відображення поля точності з оцифруванням

Значення скалярного показника точності розраховувалося за допомогою виразу (2), приймаючи $n=3$, і за його значенням визначалася ступінь затіненості елементарної ділянки поля точності, причому зі зростанням D_{md} затіненість збільшується, як показано на рис. 1.

Також можливе оцифрування поля точності, для цього розраховується с. к. в. σ_{md} за формулою (3):

$$\sigma_{md} = \sqrt{D_{md}} \quad (3)$$

Поле точності відображається на електронній карті із нанесенням значень 95% кругової похибки в метрах. Якщо значення похибки перевищує 100 м, то оцифрування такої ділянки не провадиться. На рис. 1 наведено поле точності з нанесеними значеннями 95% кругової похибки. Значення похибки в лівому нижньому куті перевищує 100 м, тому оцифрування показаного району не зроблено.

Висновок. Одержано вираз скалярного показника для характеристики поля точності

вибраних навігаційних орієнтирів і показано його застосування для відображення поля точності на електронній карті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Y. Kalinichenko, Analysis of mathematical models of changing the vessel's course when turning, / Y. Kalinichenko, I. Burmaka //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/9(84), DOI: 10.15587/1729-4061.2016.85839, 2016, pp. 20–31.
2. Е.В. Калиниченко, «Учет характеристик поворотливости при расчете параметров поворота судна», *Водный транспорт*. №2 (20), 2014, сс. 63–67.
3. Е.В. Калиниченко, Обеспечение требуемой точности поворота судна способом перемещения его криволинейной траектории / Е.В. Калиниченко// Автоматизация судовых технических средств, № 20, 2014, сс. 52–58.
4. И.И. Ворохобин, Оценка навигационной безопасности при плавании судов в стесненных водах./ И.И. Ворохобин, Ю.В.Казак, В.В.Северин, Saarbrucken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018, — 215 с.
5. В.В. Северин, Оценка вероятности безопасной проводки судна стесненным маршрутом // В.В. Северин //Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(16), Issue: 148, 2017, сс. 94–98,.
6. И.И. Ворохобин, Влияние закона распределения погрешности бокового отклонения на вероятность безопасного прохождения судном стесненного маршрута/ И.И. Ворохобин //East European Scientific Journal, №5 (33), 2018, сс. 30– 37.
7. Д.А. Бузовский, Имитационное моделирования влияния структуры радиолокационной системы обращенного типа на точность контроля позиции судна/ Д.А. Бузовский// Судовождение, № 12, 2006, сс. 19–25.
8. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / Кондрашихин В.Т. – М.: Транспорт, 1989. – 230с.
9. Мудров В.М., Кушко В.Л. Методы обработки измерений. -М.: Советское радио, 1976. -192 с.
10. Степаненко В.В. Усовершенствование методов оценки ситуации расхождения судов. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.16/ ОНМА. — Одесса, 2004. — 24 с.
11. Крамер Г. Математические методы статистики. — М.: Мир, 1975. — 648 с.
12. Астайкин Д.В. Оценка точности координат судна при избыточных измерениях/ Астайкин Д.В., Сикирин В.Е., Ворохобин И.И., Алексейчук Б.М. — Saarbrucken, Deutschland/Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. — 274 с.

АНАЛІЗ НЕОФІЦІЙНОЇ ІЄРАРХІЇ В ПРОЦЕСІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПІД ЧАС НАВІГАЦІЇ В ОБМЕЖЕНІЙ ВИДИМОСТІ

Калініченко Є. В.¹, Колєсник О.В.¹, Калініченко Г.Є.²

¹Одеський національний морський університет
(Україна)

²Національний університет «Одеська морська академія», фаховий коледж морського транспорту
(Україна)

Вступ. Неофіційна ієрархія на судні — це, по суті, система взаємодії, яка виходить за межі формальних норм управління, встановлених на рівні командувача або капітана. У ситуаціях, коли видимість на морі значно обмежена, прийняття рішень може бути делеговане іншими членами екіпажу в залежності від їхніх знань, досвіду та спроможності швидко оцінити ситуацію. Важливо зазначити, що неофіційна ієрархія формується, зокрема, завдяки здатності членів екіпажу швидко і без помилок визначити, хто має найбільший досвід чи компетенцію в конкретній ситуації, навіть якщо ця особа не займає офіційно найвищу посаду на борту.

Актуальність дослідження. Однією з головних проблем є те, що традиційні навігаційні рішення, що ґрунтуються на формальних правилах, можуть бути недостатніми в умовах низької видимості, коли важливо діяти з максимальною гнучкістю та розумінням контексту. У таких умовах, як показують приклади з досліджень, екіпажі часто звертаються до неофіційної ієрархії для прийняття оперативних рішень. У цьому випадку найбільший вплив на рішення має, зокрема, досвід кожного члена екіпажу та їх здатність швидко аналізувати ситуацію.

Постановка задачі. Метою дослідження є аналіз впливу неофіційної ієрархії на процес прийняття рішень у морському середовищі в умовах обмеженої видимості, визначити фактори, що формують цю ієрархію, та оцінити її вплив на безпеку судноплавства.

Результати дослідження. Згідно з даними рис. 1, навіть помірне підвищення швидкості суден із 5–10 вузлів до 11–15 вузлів призводить до зростання ризику аварійних ситуацій на 115%. При подальшому підвищенні швидкості до 16–20 вузлів кількість аварій збільшується вже на 275%, що підкреслює нелінійну залежність ризику від швидкості руху.

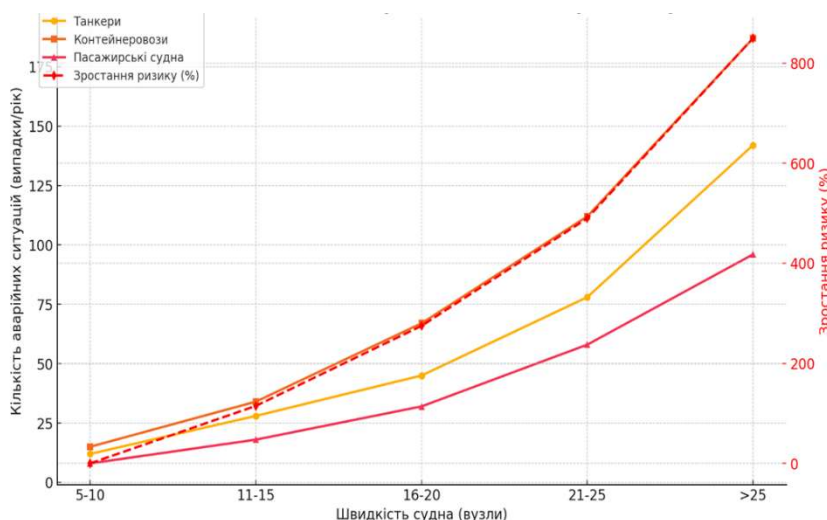


Рисунок 1 — Залежність між швидкістю судна та кількістю аварійних ситуацій

Найбільша кількість аварійних випадків зафіксована у сегменті швидкості понад 25 вузлів, де ризик аварій зростає більш ніж у 8 разів (+850%) порівняно з базовим рівнем (5–10 вузлів). Особливо критичною ця ситуація є для контейнеровозів та пасажирських суден, де кількість аварій є найвищою.

Таким чином, статистичні дані чітко демонструють, що швидкість руху є ключовим фактором, що визначає безпеку судноплавства. Це підтверджує необхідність суворого контролю швидкості в умовах обмеженої видимості і складних навігаційних умовах, а також наголошує на потребі додаткових тренувань для екіпажів щодо правильного вибору безпечної швидкості.

Аналіз впливу швидкості на гальмівний шлях та доступний час реакції екіпажу. Швидкість судна є не лише фактором ризику виникнення аварійних ситуацій, але й критично впливає на здатність екіпажу своєчасно зреагувати та уникнути зіткнення. Із досліджуваних даних видно, що навіть незначне збільшення швидкості значно подовжує дистанцію, необхідну для повної зупинки судна (рис. 2).

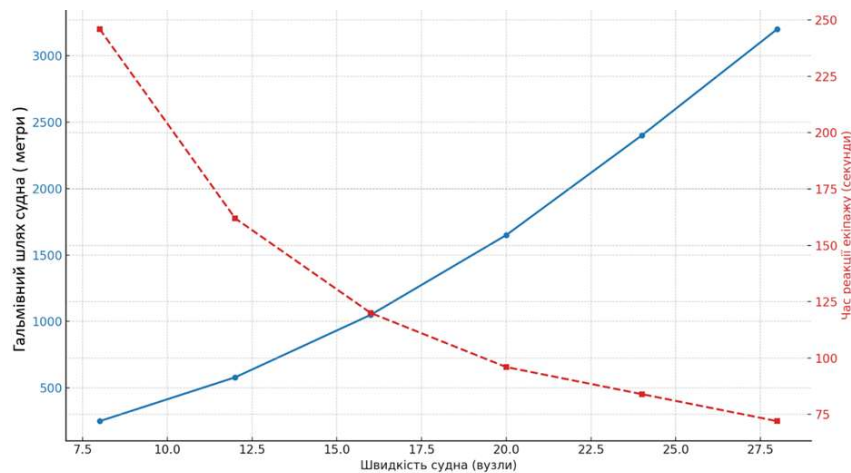


Рисунок 2 — Залежність гальмівного шляху судна та часу реакції екіпажу від швидкості судна

Отже, чим більша швидкість судна, тим менше часу залишається для ефективної оцінки ситуації та ухвалення правильних рішень. Умови обмеженої видимості значно ускладнюють ситуацію, оскільки дистанція виявлення загрози скорочується, що може стати вирішальним фактором при уникненні зіткнення.

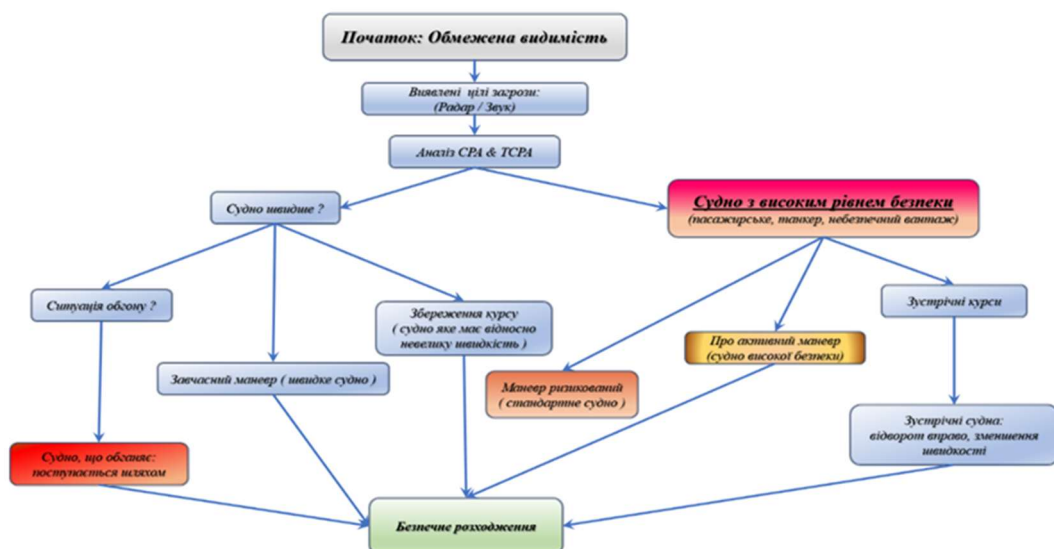


Рисунок 3 — Блок-схема неформальної ієрархії під час аналізу небезпечної ситуації, прийняття рішення та дії, необхідної для безпечного розходження

Графік наочно демонструє, як зі збільшенням швидкості судна суттєво зростає гальмівний шлях і водночас різко скорочується доступний екіпажу час для реагування на загрозу.

Виявлені у дослідженні неофіційні ієрархії дозволяють припустити, що Правило 19 можна покращити, враховуючи реальні закономірності взаємодії між суднами.

Представлена блок-схема (рис. 3) демонструє неформальну ієрархію прийняття рішень під час навігації в умовах обмеженої видимості. У ситуації, коли ризик зіткнення визначається за допомогою радарів або звукових сигналів, екіпажі приймають рішення, керуючись як офіційними вимогами Правила 19 COLREG, так і додатковими факторами, такими як швидкість та тип вантажу судна.

Висновки. Сучасні підходи до забезпечення безпеки судноплавства потребують додаткової адаптації. Зокрема, рекомендується:

удосконалення навчальних програм для судноводіїв із включенням сценарного аналізу реальних судноплавних ситуацій;

впровадження цифрових навігаційних систем з адаптивними алгоритмами, що враховують не лише правила, а й емпіричні закономірності взаємодії суден;

підвищення контролю за дотриманням правил судноплавства з боку портових і міжнародних організацій.

Таким чином, дотримання Правила 19 вимагає не лише суворого виконання нормативних положень, а й глибшого розуміння реальних судноплавних процесів, що дозволить ефективніше уникати небезпечних ситуацій та знижувати рівень аварійності.

ЛІТЕРАТУРА

1. International Maritime Organization (IMO). (2005). *International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREGs)*, IMO publication.
2. International Chamber of Shipping (ICS). (2020). *Bridge Procedures Guide*. ICS.
3. North of England P&I Association Ltd. (2022). *Collision Avoidance in Restricted Visibility*. North of England P&I Association Ltd. Newcastle, UK.
4. Marine Accident Investigation Branch (MAIB). (2012). *Costa Concordia accident investigation report*. London, UK.
5. Department of Transport. (1987). *MV Herald of Free Enterprise – Formal Investigation Report*. HMSO. London, UK.
6. Korean Maritime Safety Tribunal. (2014). *Sewol Ferry Disaster Report*. Republic of Korea Maritime Authority, Seoul, South Korea.
7. National Transportation Safety Board (NTSB). (1990). *Exxon Valdez grounding investigation report*. Washington D.C., USA.
8. European Maritime Safety Agency (EMSA). (2023). *Annual Overview of Marine Casualties and Incidents*. Lisbon, Portugal.
9. UK Maritime & Coastguard Agency (MCA). (2008). *MSC Napoli Incident: Report of Investigation*. Southampton, UK.
10. Chae, C.J. & Woo, J. (2016). Psychological analysis of crew actions in marine casualties: Lessons from the MV Sewol disaster. *Journal of Maritime Safety & Psychology*, 3(1), 45–54.
11. IMO. (1998). *International Safety Management Code (ISM Code)*. IMO Publishing, London, UK.
12. IMO Resolution A.893(21). (2001). *Guidelines for Voyage Planning*. IMO Publishing, London, UK.

УДК 621.396.932

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ НЕКОГЕРЕНТНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ РЛС ІМПУЛЬСНОГО ТИПУ

Купровський В.І.

*Національний університет «Одеська морська академія»
(Україна)*

Вступ. Розглянуто методику порівняльної оцінки ефективності некогерентної імпульсної навігаційної РЛС з неоптимальною обробкою радіолокаційної інформації з оптимальною системою виявлення. Зроблено висновки про можливі шляхи підвищення ефективності та їх технічну реалізацію

Актуальність досліджень. Більшість сучасних морських навігаційних РЛС (НРЛС) є двокоординатними некогерентними імпульсними станціями кругового огляду, що працюють в сантиметровому діапазоні. Зондуючі імпульси тривалістю 0,03–1,5 мкс випромінюються на фіксованій частоті із заданим періодом повторення. Режим вобуляції частоти повторення, зазвичай, відсутній. Основні завдання НРЛС:

- виявлення морських цілей та визначення поточних координат (первинна обробка);
- супровід цілей та визначення параметрів їх руху для вирішення навігаційних завдань (вторинна обробка).

У загальному випадку якість виявлення залежить від перевищення сигналу над рівнем шуму. Виявлення радіолокаційного сигналу засноване на статистичних відмінностях реалізації перешкоди і сигналу з перешкодою. Задача радіолокаційного виявлення, таким чином, є статистичною і її рішення ґрунтується на застосуванні теорії статистичних рішень. Найкращі в статистичному сенсі якісні показники виявлення можуть бути отримані лише при оптимальній обробці сигналів, відповідно до одного з критеріїв оптимального виявлення. У радіолокації основним критерієм є критерій Неймана-Пірсона, оскільки він не вимагає знання апіорних ймовірностей ситуацій.

При оцінці ефективності систем виявлення для їх порівняння часто використовують характеристики виявлення. На рис.1 представлені характеристики виявлення для флюктуючого сигналу з випадковою фазою для п'яти значень ймовірності помилкової тривоги, побудовані відповідно до критерію Неймана-Пірсона:

$$D = F^{\frac{1}{1+0.5 \cdot q^2}}, \quad (1)$$

- де: D — ймовірність правильного виявлення;
 F — ймовірності помилкової тривоги;
 q — відношення сигнал/шум.

Якісні показники оптимальних систем є межею, якої можна прагнути, наближаючи неоптимальну обробку до оптимальної. Сучасні морські радари, які в загальному випадку реалізують неоптимальну обробку радіолокаційної інформації (РЛІ), завдяки впровадженню вискоефективних технологій дозволяють значно наблизитися за своїми показниками до систем з оптимальною обробкою.

Постановка задачі. У статті запропоновано методику порівняльної оцінки ефективності некогерентної НРЛС імпульсного типу з неоптимальною обробкою РЛІ із системою, що реалізує оптимальну обробку. В основі оцінки — розрахунок основних параметрів для порівняльного аналізу характеристик виявлення та вивчення їх впливу на якісні показники НРЛС.

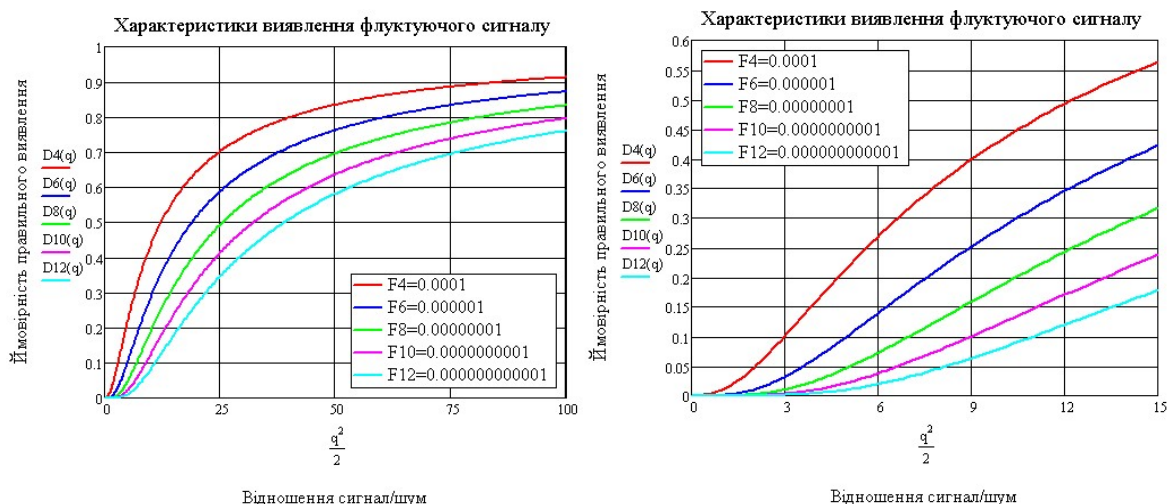


Рисунок 1 — Характеристики виявлення $D = f(F, q)$ для флюктуючого сигналу з випадковою фазою

Результати досліджень. Як приклад розглянуто суднову НРЛС Furuno FR-8122. Основні характеристики, необхідні для розрахунку: максимальна дальність $R = 72 \text{ nm}$; тривалість зонduючого імпульсу $\tau = 0,8 \text{ мкс}$; коефіцієнт шуму приймача $k_{\text{ш}} = 5 \text{ дБ}$; імпульсна потужність $P = 12 \text{ кВт}$; довжина хвилі $\lambda = 3,2 \text{ см}$; коефіцієнт посилення антени $G = 700$. Як ціль вибрано середньотонажне судно з ЕПР $\sigma = 30000 \text{ м}^2$.

За допомогою основного рівняння радіолокації розрахована необхідна гранична потужність сигналу $P_{\text{пор}}$ на вході приймача для чотирьох дальностей і значення порогового відношення сигнал/шум $q_{\text{пор}}$ в одному імпульсі:

$$q_{\text{пор}} = \frac{P_{\text{пор}} \cdot \tau}{L \cdot k \cdot T_0 \cdot k_0}, \quad (2)$$

де: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ — постійна Больцмана;

$T_0 = 290^\circ \text{ К}$;

L — коефіцієнт енергетичних втрат (2 – 4,5);

k_0 — коефіцієнт шуму приймальної системи, приведений до входу:

$$k_0 = \frac{T_a}{T_0} + k_{\text{ш}} - 1 = \frac{180^\circ}{290^\circ} + 3,16 - 1 \approx 3.$$

Таблиця 1 — Гранична потужність $P_{\text{пор}}$ і відношення сигнал/шум $q_{\text{пор}}$

$R, \text{ nm}$	24	36	48	72
$P_{\text{пор}}, \text{ Вт}$	$0.5 \cdot 10^{-10}$	$0.45 \cdot 10^{-11}$	$0.17 \cdot 10^{-11}$	$0.3 \cdot 10^{-12}$
$q_{\text{пор}}$	880	174	68	12

Знаючи $q_{\text{пор}}$, можна визначити ймовірність правильного виявлення D для різних значень ймовірності помилкової тривоги F :

$$\ln \frac{1}{D} = \frac{2 \ln 1/F}{q_{\text{пор}} + 2}. \quad (3)$$

У таблиці 2 представлені ймовірності правильного виявлення D_{opt} для оптимальної системи та результати розрахунку для неоптимальної системи D для чотирьох відстаней і п'яти фіксованих ймовірностей помилкової тривоги F

Таблиця 2 — Ймовірності правильного виявлення D_{opt} та D

F	10^{-12}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}
$q_{пор} = 12 (72 \text{ nm})$					
D_{opt}	0,11	0,17	0,24	0,35	0,49
D	0,056	0,087	0,16	0,24	-,39
$q_{пор} = 68 (48 \text{ nm})$					
D_{opt}	0,67	0,72	0,77	0,82	0,88
D	0,56	0,63	0,71	0,78	0,85
$q_{пор} = 174 (36 \text{ nm})$					
D_{opt}	0,85	0,88	0,90	0,92	0,95
D	0,79	0,83	0,87	0,90	0,93
$q_{пор} = 880 (24 \text{ nm})$					
D_{opt}	0,97	0,98	0,985	0,99	0,995
D	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99

За даними таблиці 2 на рис.2 відображені порівняльні значення D_{opt} та D для чотирьох дальностей виявлення цілей.

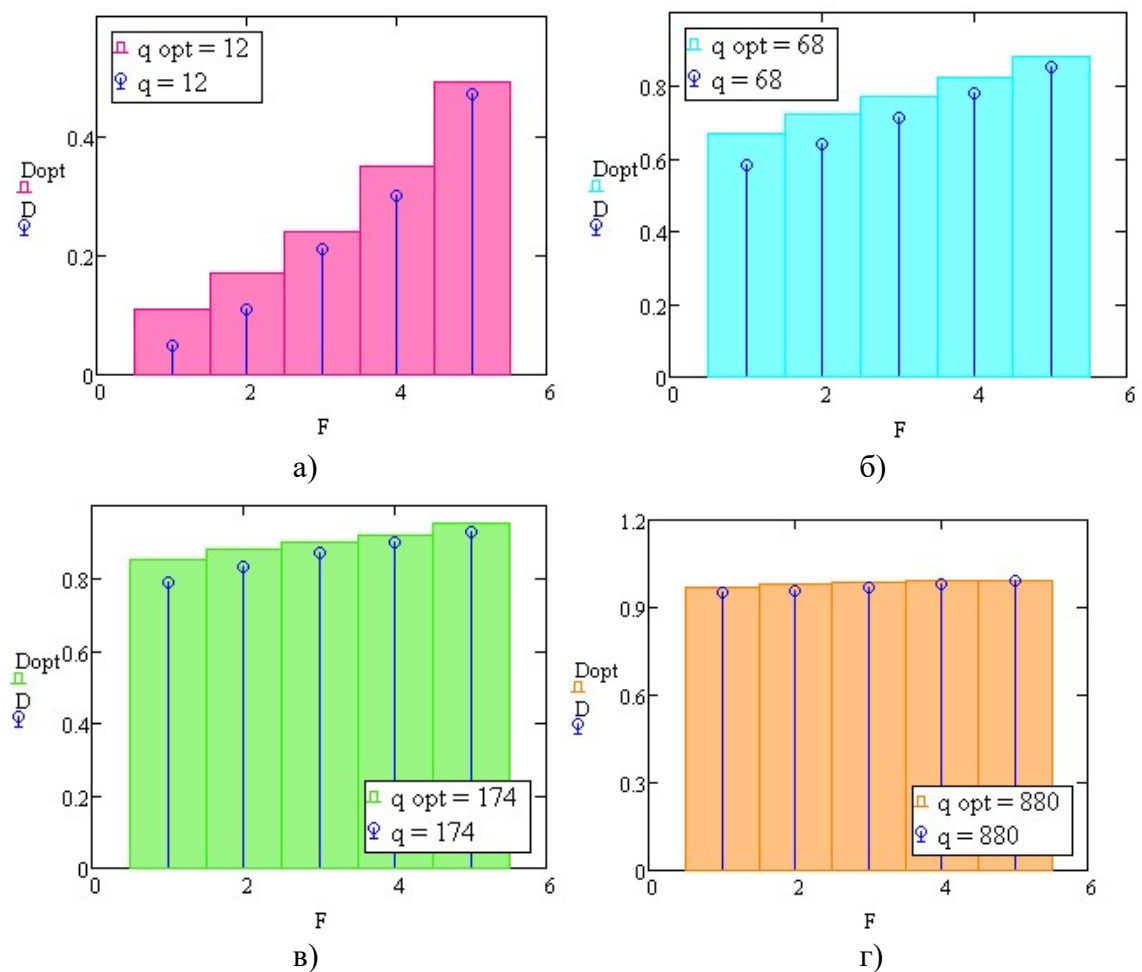


Рисунок 2 — Порівняльні значення D_{opt} та D (а — 72 nm, б — 48nm, в — 36nm, г — 24nm)

Висновки. З аналізу таблиці 2 та рис. 2 можна зробити висновок, що на максимальній дальності ймовірність правильного виявлення системи з неоптимальною

обробкою в 1,5–2 рази гірша, ніж у оптимальній системі. На менших дальностях різниця між ймовірностями зменшується, а на дальності 24 nm вона майже зникає.

Для того, щоб наблизити значення D до D_{opt} в усьому діапазоні дальностей, необхідно:

1. Зменшувати коефіцієнт шуму приймача $k_{ш}$
2. Знижувати коефіцієнт енергетичних втрат L
3. Використовувати підсилювач проміжної частоти та відеопідсилювач з лінійно-логарифмічною амплітудною характеристикою.
4. Застосовувати комбінований режим зміни коефіцієнта підсилення приймача за допомогою схем компенсації перешкод та адаптивної схеми зміни коефіцієнта підсилення відеопідсилювача.

Так, наприклад, якщо забезпечити $L = 2$, $k_{ш} = 4$ дБ, то на максимальній дальності $R = 72$ nm відношення $D_{opt}/D \approx 1,2$, тобто ефективність неоптимальної системи всього на 20% менше.

ЛІТЕРАТУРА

1. Peyton Z. Peebles, JR., Ph.D. Radar Principles: Willy-Interscience Publication. — 1998. — 787 p.
2. Bassem R. Mahafza, Ph. D. Radar Systems Analysis and Design using MatLab: Chapman&Hall/CRC. — 2000. — 532 p.
3. FURUNO. Operator's Manual. Marine Radar, model FR-8062, FR-8122, FR-8252: Furuno Electronic CO., LTD. — 2009. — 123 p.
4. Tikhonov V., Kharisov V. Statistical analysis and synthesis of wireless devices and systems: Radio and Communication. — 1991. — 608 p.

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ СКЛАДНОГО ОБ'ЄКТУ

Корбан Д.В.

*Національний університет «Одеська морська академія»
(Україна)*

Вступ. Під час функціонування суднового радіолокаційного поляризаційного комплексу (СРПК) на вхід пристрою прийняття рішення надходить сигнал, джерелом якого є навігаційний об'єкт радіолокаційного спостереження за відсутності сигналу атмосферного середовища [1,2]. Модель радіолокаційного інформаційного каналу описує процес перетворення характеристик сигналів по трасі від передавача до об'єкта, від об'єкта до приймача і далі до пристрою обробки прийнятих сигналів. При цьому всі процеси задаються в дискретному часі.

Рівень складності та відповідальності рішень, які приймає екіпаж судна, безпосередньо залежить від точності та надійності радіолокаційної інформації, отриманої від СРПК, про складний об'єкт (навігаційний об'єкт, що перебуває у складних умовах атмосферного середовища). Незважаючи на технологічний прогрес, завдання оперативного виявлення, ідентифікації та супроводу таких об'єктів на маршруті руху судна залишається актуальною науково-практичною проблемою, що потребує подальших досліджень.

Актуальність досліджень. Тому розв'язання цієї проблеми є актуальним і полягає в розробленні моделі взаємодії СРПК із зовнішнім середовищем під час однопозиційної радіолокації, коли навігаційний об'єкт перебуває в зоні небезпечного атмосферного середовища.

Постановка задачі. Стосовно завдань радіолокаційного спостереження складного об'єкта виділяються дві частини електромагнітного поля падаюче $E_{nao}(r,t)$ та розсіяне $E_{roz}(r,t)$ при розробленні моделі електромагнітного поля складного об'єкта, що дасть змогу розв'язати задачу поляризаційної селекції складного об'єкта, який знаходиться в складних умовах атмосферного середовища на шляху судна.

Результати досліджень. Параметричне уявлення поляризації радіохвиль, які використовуються в СРПК, ґрунтується на чотирьох дійсних поляризаційних параметрах Стокса, що мають розмірність інтенсивностей. З урахуванням того, що взаємодія випромінюваної хвилі з атмосферним утворенням, у якому перебуває навігаційний об'єкт, відбувається некогерентно, використовують матрицю Мюллера з 16 дійсними елементами, формалізм якої ґрунтується на використанні стану поляризації хвилі вектором Стокса та розсіювальних властивостей атмосферного утворення. Результат взаємодії хвилі, випромінюваної антеною СРПК, з атмосферним утворенням, у якому перебуває навігаційний об'єкт, отримують шляхом множення вектору Стокса випромінюваної хвилі на матрицю Мюллера складного об'єкта, унаслідок чого обчислюють вектор Стокса відбитої хвилі.

У разі використання моделі взаємодії СРПК з атмосферним середовищем, у якому перебуває навігаційний об'єкт, коли враховується реакція атмосферного середовища на функціонування СРПК під час радіолокаційного спостереження навігаційних об'єктів в умовах атмосферних перешкод, фіксовану послідовність операторів, що змінюються в часі, подано як матриці Мюллера $S(t)$, що характеризують набір атмосферних середовищ (дощі різної інтенсивності та фазового стану) [3]:

$$S_1(t_1) = \begin{bmatrix} \alpha_{11}(t_1) & \alpha_{12}(t_1) & \alpha_{13}(t_1) & \alpha_{14}(t_1) \\ \alpha_{21}(t_1) & \alpha_{22}(t_1) & \alpha_{23}(t_1) & \alpha_{24}(t_1) \\ \alpha_{31}(t_1) & \alpha_{32}(t_1) & \alpha_{33}(t_1) & \alpha_{34}(t_1) \\ \alpha_{41}(t_1) & \alpha_{42}(t_1) & \alpha_{43}(t_1) & \alpha_{44}(t_1) \end{bmatrix}; \quad (1)$$

$$S_2(t_2) = \begin{bmatrix} \alpha_{11}(t_2) & \alpha_{12}(t_2) & \alpha_{13}(t_2) & \alpha_{14}(t_2) \\ \alpha_{21}(t_2) & \alpha_{22}(t_2) & \alpha_{23}(t_2) & \alpha_{24}(t_2) \\ \alpha_{31}(t_2) & \alpha_{32}(t_2) & \alpha_{33}(t_2) & \alpha_{34}(t_2) \\ \alpha_{41}(t_2) & \alpha_{42}(t_2) & \alpha_{43}(t_2) & \alpha_{44}(t_2) \end{bmatrix}; \quad (2)$$

$$\dots\dots\dots S_n(t_n) = \begin{bmatrix} \alpha_{11}(t_n) & \alpha_{12}(t_n) & \alpha_{13}(t_n) & \alpha_{14}(t_n) \\ \alpha_{21}(t_n) & \alpha_{22}(t_n) & \alpha_{23}(t_n) & \alpha_{24}(t_n) \\ \alpha_{31}(t_n) & \alpha_{32}(t_n) & \alpha_{33}(t_n) & \alpha_{34}(t_n) \\ \alpha_{41}(t_n) & \alpha_{42}(t_n) & \alpha_{43}(t_n) & \alpha_{44}(t_n) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де $\alpha_{nn}(t_n)$ — елементи матриц $S_1(t_1), S_2(t_2) \dots S_n(t_n)$, що характеризують відбивні властивості атмосферного середовища, у якому перебуває навігаційний об'єкт.

З урахуванням співвідношень (1) — (3) для СРПК, у загальному вигляді для будь-якого моменту часу, основний інформаційний потік є суцільним від входу до виходу, сформованим атмосферним середовищем і навігаційним об'єктом. Тоді модель основного інформаційного потоку подається у вигляді трьох матриць [3]:

$$\begin{bmatrix} S_{1ex}(t_n) \\ S_{2ex}(t_n) \\ S_{3ex}(t_n) \\ S_{4ex}(t_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11}(t_n) & \alpha_{12}(t_n) & \alpha_{13}(t_n) & \alpha_{14}(t_n) \\ \alpha_{21}(t_n) & \alpha_{22}(t_n) & \alpha_{23}(t_n) & \alpha_{24}(t_n) \\ \alpha_{31}(t_n) & \alpha_{32}(t_n) & \alpha_{33}(t_n) & \alpha_{34}(t_n) \\ \alpha_{41}(t_n) & \alpha_{42}(t_n) & \alpha_{43}(t_n) & \alpha_{44}(t_n) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_{1вх}(t_n) \\ S_{2вх}(t_n) \\ S_{3вх}(t_n) \\ S_{4вх}(t_n) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де перша матриця — матриця відбитої від складного об'єкту хвилі, яка сформована дійсними поляризаційними параметрами Стокса; друга матриця — матриця Мюллера, що характеризує розсіюючі властивості складного об'єкту; третя матриця — матриця опромінюючої складний об'єкт хвилі, яка сформована дійсними поляризаційними параметрами Стокса.

Система сигналів, які використовуються у (4), розглядається як деяка математична конструкція, що відображає здатність перетворення, передавання, отримання й оброблення радіолокаційної інформації про спостережувану ситуацію за трасою руху судна.

Розглянемо знаходження в зоні атмосферного утворення навігаційного об'єкта. Електромагнітна хвиля, яку випромінює всеполяризована антена СРПК і яка приймається під час відбиття від зони випадних опадів, у якій перебуває навігаційний об'єкт, представлена чотирма дійсними параметрами Стокса S_1, S_2, S_3, S_4 [3]:

$$\begin{aligned} S_1 &= I_x + I_y = I_{+\pi/4} + I_{-\pi/4} = I_l + I_n; \\ S_2 &= I_x - I_y; \\ S_3 &= I_{+\pi/4} - I_{-\pi/4}; \\ S_4 &= I_l - I_n. \end{aligned} \quad (5)$$

Параметри Стокса називаються параметричними й описують поляризацію поля хвилі за допомогою системи квадратичних відносно напруженості поля дійсних параметрів через інтенсивності хвилі, що позначаються через $I_x, I_y, I_{+\pi/4}, I_{-\pi/4}, I_l, I_n$, де перші чотири відносяться до лінійних поляризацій, а останні дві — до кругової поляризації лівого і правого напрямку обертання.

Відбивні властивості радіолокаційного об'єму в (4) атмосферного утворення, в якому перебуває навігаційний об'єкт, характеризуються елементами $(\alpha_{11} \dots \alpha_{44})$, а електромагнітна хвиля на випромінювання і на приймання представлена у вигляді двох матриць, що

складаються з параметрів Стокса. Тоді рівняння зв'язку між випромінюваною хвилею, хвилею відбитою від складного об'єкта і властивостями відбиваючого радіолокаційного об'єму складного об'єкта представлені наступною моделлю [3]:

$$\begin{bmatrix} S_{1від} \\ S_{2від} \\ S_{3від} \\ S_{4від} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \alpha_{14} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \alpha_{24} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & \alpha_{34} \\ \alpha_{41} & \alpha_{42} & \alpha_{43} & \alpha_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_{1вип} \\ S_{2вип} \\ S_{3вип} \\ S_{4вип} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

або у вигляді чотирьох лінійних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} S_{1від} &= \alpha_{11}S_{1вип} + \alpha_{12}S_{2вип} + \alpha_{13}S_{3вип} + \alpha_{14}S_{4вип} \\ S_{2від} &= \alpha_{21}S_{1вип} + \alpha_{22}S_{2вип} + \alpha_{23}S_{3вип} + \alpha_{24}S_{4вип} \\ S_{3від} &= \alpha_{31}S_{1вип} + \alpha_{32}S_{2вип} + \alpha_{33}S_{3вип} + \alpha_{34}S_{4вип} \\ S_{4від} &= \alpha_{41}S_{1вип} + \alpha_{42}S_{2вип} + \alpha_{43}S_{3вип} + \alpha_{44}S_{4вип} \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

Визначення відбивних властивостей певного виду атмосферного утворення, в якому перебуває навігаційний об'єкт, проводиться шляхом теоретичного або експериментального дослідження елементів матриці $(\alpha_{11} \dots \alpha_{44})$, які несуть всю інформацію про фізичні властивості складного об'єкта. Під час моделювання відбивних властивостей складного об'єкта використовують параметри Стокса випромінюваної хвилі чотирьох поляризацій (три лінійні та одна кругова), а також параметри Стокса відбитої хвилі для кожного виду поляризації випромінюваної хвилі.

У СРПК в оперативній роботі визначення відбивних властивостей об'єктів радіолокаційного спостереження здійснюють шляхом опромінення спостережуваного об'єкта неполяризованою хвилею, хвилею лінійної вертикальної (горизонтальної) поляризації, лінійною з нахилом електричного вектору 45° у декартовій системі координат і круговою поляризацією правого чи лівого напрямку обертання вектору з вимірюванням параметрів Стокса відбитої від складного об'єкта частково поляризованої електромагнітної хвилі (за умови, що параметри Стокса випромінюваної хвилі приймаються рівними одиниці), за значеннями яких і визначаються елементи матриці $(\alpha_{11} \dots \alpha_{44})$.

У результаті послідовного опромінення складного об'єкта електромагнітними хвилями чотирьох фіксованих поляризацій і вимірювання параметрів Стокса відбитої хвилі для кожної поляризації опромінюваної хвилі повністю визначається матриця розсіювання складного об'єкта, що характеризує його відбивні властивості. Розбіжності в значеннях елементів матриць визначених об'єктів використовуються надалі в методиці їхньої ідентифікації, а також для розв'язання задачі поляризаційної селекції навігаційних об'єктів, що перебувають у зоні атмосферного утворення. Випромінювання електромагнітної хвилі певної поляризації здійснюється автоматично за визначеною програмою, а весь процес вимірювання елементів матриці становить кілька секунд, що перебуває в межах зміни фізичного стану внутрішньої структури радіолокаційного об'єму, який спостерігається СРПК складного об'єкта. Для виділення з луна-сигналу складного об'єкта луна-сигналу навігаційного об'єкта, складний об'єкт опромінюватимемо електромагнітними хвилями трьох лінійних і однієї кругової поляризацій.

У результаті опромінення складного об'єкта електромагнітними хвилями чотирьох фіксованих поляризацій визначено всі елементи $\alpha_{11} \dots \alpha_{44}$ матриці (4), що є дійсними енергетичними параметрами Стокса, які утворюють енергетичну матрицю розсіювання складного об'єкта (CO) та повністю характеризують його відбивні властивості, тобто [3]:

$$[S_{enCO}(t)] = \begin{bmatrix} \frac{S_{1\text{вiд}}^{JB}(t) + S_{1\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} & \frac{S_{1\text{вiд}}^{JB}(t) - S_{1\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} & S_{1\text{вiд}}^{JЛ45^\circ}(t) - \frac{S_{1\text{вiд}}^{JB}(t) + S_{1\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} & S_{1\text{вiд}}^{KP}(t) - \frac{S_{1\text{вiд}}^{JB}(t) + S_{1\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} \\ \frac{S_{2\text{вiд}}^{JB}(t) + S_{2\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} & \frac{S_{2\text{вiд}}^{JB}(t) - S_{2\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} & S_{2\text{вiд}}^{JЛ45^\circ}(t) - \frac{S_{2\text{вiд}}^{JB}(t) + S_{2\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} & S_{2\text{вiд}}^{KP}(t) - \frac{S_{2\text{вiд}}^{JB}(t) + S_{2\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} \\ \frac{S_{3\text{вiд}}^{JB}(t) + S_{3\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} & \frac{S_{3\text{вiд}}^{JB}(t) - S_{3\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} & S_{3\text{вiд}}^{JЛ45^\circ}(t) - \frac{S_{3\text{вiд}}^{JB}(t) + S_{3\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} & S_{3\text{вiд}}^{KP}(t) - \frac{S_{3\text{вiд}}^{JB}(t) + S_{3\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} \\ \frac{S_{4\text{вiд}}^{JB}(t) + S_{4\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} & \frac{S_{4\text{вiд}}^{JB}(t) - S_{4\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} & S_{4\text{вiд}}^{JЛ45^\circ}(t) - \frac{S_{4\text{вiд}}^{JB}(t) + S_{4\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} & S_{4\text{вiд}}^{KP}(t) - \frac{S_{4\text{вiд}}^{JB}(t) + S_{4\text{вiд}}^{JГ}(t)}{2} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Усі елементи, які входять в енергетичну матрицю розсіювання (8) складного об'єкта, легко вимірюються СРПК на шляху судна. Енергетична матриця розсіювання дає змогу розв'язати задачу поляризаційної селекції навігаційного об'єкта, що перебуває в зоні небезпечного атмосферного утворення.

Висновки.

1. Представлено поляризаційну модель складного об'єкта, спостережуваного СРПК за траєкторією руху судна.

2. Отримано енергетичну матрицю розсіювання луна-сигналу частково поляризованої хвилі складного об'єкта, що дала змогу виділити з луна-сигналу складного об'єкта луна-сигнал навігаційного об'єкта і спостерігати його на індикаторі СРПК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пиза Д.М. Влияние интерференции помех на системы помехозащиты импульсно-доплеровских радаров / Д. М. Пиза, А. П. Залевский, А. С. Сиренко // Радиотехника. Информатика. Управление. 2013. №1. С. 51–54
2. Обод І. І. Інформаційна модель систем спостереження повітряного простору / І. І. Обод, О. О. Стрельницький, В. А. Андрусевич. Х.: ХНУРЕ, 2015. — 270 с.
3. Корбан Д.В. Радіолокаційні методи поляризаційної селекції морських об'єктів. — Одеса. Монографія, 2024. — 162 с.

УДК 629.5.023

ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНЦЕПЦІЇ МОРСЬКОГО НАДВОДНОГО БЕЗЕКІПАЖНОГО КОМПЛЕКСУ

Кузнєцов А.І., Лисицький І.В.

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)*

Вступ. Виконання завдань, пов'язаних з захистом судноплавства у визначених районах моря, обороною морського узбережжя, тощо, що витікають із завдань ЗС України у мирний час та особливий період і визначаються Воєнною доктриною України [1], за використанням сучасних засобів ураження повітряних та надводних цілей морськими надводними безекіпажними комплексами (МНБЕК) передбачає усвідомлення призначення, озброєння та концепції застосування МНБЕК на етапі концептуального проектування.

Технічні вимоги, що виникли внаслідок узгодження цих факторів дозволяють перейти до визначення архітектурно-конструктивного типу, матеріалу корпусних конструкцій, тощо, маючи на меті досягнення належних, з точки зору виконання основної операційної функціональності, якостей. Технологічні особливості, відносно малі витрати на підготовку виробництва та швидкість реалізації проєктів малих суден за використанням поліетилену високої щільності у якості матеріалу корпусних конструкцій стимулює використання зазначеного матеріалу. Вітчизняна практика впровадження таких рішень є досить вражаючою.

Поширення використання HDPE пов'язане з наявністю певних, притаманних даному матеріалу, особливостей. Докладно особливості матеріалу наведено у роботі [2]. Приклади застосування наведеного матеріалу для малих суден різного призначення наведено у роботах [3], [4].

Актуальність дослідження. Актуальність визначення концепції патрульного морського надводного безекіпажного комплексу з урахуванням його призначення та умов застосування, архітектурно-конструктивного типу, обраного матеріалу корпусних конструкцій, обумовлена нагальною потребою у забезпеченні виконання завдань з захисту судноплавства у визначених районах моря та обороною морського узбережжя від повітряних та надводних засобів противника.

Постановка задачі полягає у визначенні концепції бойового надводного середнього ударного багаторазового морського безекіпажного комплексу «Катран».

Результати досліджень. На етапі концептуального проєктування, у ході визначення архітектурно-конструктивного типу у якості ключового параметру було прийнято досягнення максимізації середньої швидкості за будь-яких умов виконання завдань за призначенням у басейнах Чорного та Азовського морів. На короткій високій хвилі характерної для умов, що розглядаються, глісуючі судна змушені будуть переходити у водозаміщуючий режим, що обмежує їх швидкість. Особливості мультикорпусної концепції з великим відношенням довжини до ширини дозволяють зберігати відносно високу швидкість за несприятливих вітро-хвильових умовах.

Виходячи з цього у якості базової було прийнято гідродинамічну схему — тримаран, як таку, що забезпечую застосування комплексу на стратегічних відстанях, при максимізації середньої швидкості виконання завдань за призначенням, в умовах неспокійного моря та покращує стабілізацію платформи на хвилюванні, Рис. 1.

На підставі аналізу прототипів, з урахуванням ряду цільових параметрів, було обрано три корпуси: довжинами — 12 м, 14 м та 16,5 м. Результати порівняння потрібної потужності двигуна при постійної водотоннажності наведено у Таблиці 1.

Таблиця 1 — Порівняння потрібної потужності двигуна (к.с.), водотоннажність 5.7 т.

Vs, уз	Тримаран 12м	Тримаран 14м	Тримаран 16.5м
10	25.6	22.5	18.7
20	132.2	116.3	114.6
30	398.2	355.8	347.2
40	868.0	786.5	768.9

За результатами розрахунків у якості базової було обрано довжину – 14 м.

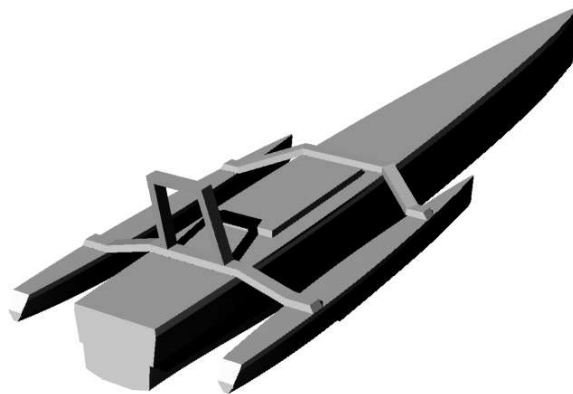


Рисунок 1 — Концепція платформи

Запропонована концепція крім очевидних гідродинамічних переваг істотно збільшує корисну площу палуби, на якій може бути розташоване корисне навантаження, що відповідає призначенню судна. За результатами розрахунків (прямовальний пропульсивний комплекс) для обраного гвинта (діаметр — 0,61 м., характерне шагове відношення — 1.375) визначено максимальну досяжну швидкість ходу близько 25 вузлів при частоті обертання 1150 об/мин. Потужність двигуна при цьому складає 200 кВт. Обраний тип двигуна найкращим образом відповідає плановим умовам експлуатації з урахуванням масо-габаритних характеристик та ресурсу.

У якості матеріалу корпусних конструкцій було обрано поліетилен високої щільності (HDPE), виходячи з його властивостей, що забезпечують корисні експлуатаційні якості.

Матеріал корпусу — HDPE, має позитивну плавучість (0,95 т/м³) та високі експлуатаційні характеристики, такі як: ударна міцність, пружність, радіо-прозорість, стійкість до корозії, ремонтпридатність, не підлягає фарбуванню. Наведені характеристики позитивно впливають на експлуатацію у жорстких умовах та суттєво знижують витрати на підтримку життєвого циклу судна. На Рис. 2 наведено порівняльні дані щодо відносних витрат на рік служби корпусних конструкцій.

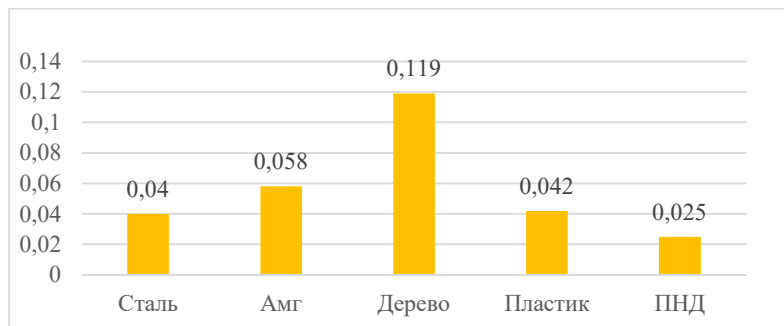


Рисунок 2 — Відносні витрати на рік служби корпусних конструкцій

Доцільно окремо розглянути завдання визначення міцних розмірів корпусних конструкцій з HDPE. У ході попередніх досліджень на підставі досить коректної і

розповсюджені процедури визначення розрахункових навантажень, що регламентована вимогами стандарту ISO [5], було здійснено спроби щодо обґрунтування підходу до нормування параметрів корпусних конструкцій стандартів ISO групи Small Craft, що наводяться у роботах [6], [7], [8].

Результати дослідження демонструють можливість адаптації вимог стандартів ISO групи Small craft до проєктування корпусних конструкцій із поліетилену високої щільності для малих суден. За результатами етапу концептуального проєктування можливо визначити призначення МНБЕК та його тактико-технічні характеристики, Таблиця 2.

Призначення. Бойовий надводний середній ударний багаторазовий морський безекіпажний комплекс «Катран», призначено для виконання завдань, що визначаються типом корисного навантаження, у складі угруповань та самостійно, на відстані до 350 морських миль у метеорологічних умовах, що відповідають (не більше) 5 балам за шкалою Бофорта у будь-який час доби при температурі повітря -5°C $+45^{\circ}\text{C}$, у режимі патрулювання.

Таблиця 2 — Тактико-технічні характеристики

№ з/п	Найменування характеристики	Одиниця виміру	Значення
1.	Повний перелік функціональних можливостей		
1.1	Вихід у район патрулювання	милі	< 350
1.2	Патрулювання: Моніторинг обстановки у визначеному морському районі: - Збір оперативних даних - Передача оперативних даних Виявлення об'єкту інтересу Ідентифікація об'єкту інтересу Знешкодження (знищення) об'єкту інтересу	милі	Від типу КН
1.3	Повернення до місця базування	милі	< 350
2.	Область (діапазон) застосування		
2.1	Акваторії моря та внутрішніх водойм, дальність ходу	милі	< 700
3.	Орієнтовні технічні характеристики платформи-носія, які забезпечують виконання функцій за призначенням		
3.1	Довжина найбільша	м	14
3.2	Ширина найбільша	м	3,5
3.3	Висота борту	м	1,5
3.4	Осадка	м	0,5
3.5	Водотоннажність	т	5,7
3.6	Корисне навантаження	кг	500–1500
3.7	Двигун	кВт	200
3.8	Запас палива	л	2000–1000
3.9	Швидкість максимальна	вузли	25
3.10	Швидкість крейсерського ходу (середня)	вузли	18
3.11	Дальність ходу	милі	700
5.	Технічні характеристики озброєння, які забезпечують виконання функцій за призначенням		
Види та типи корисного навантаження визначаються на вимогу замовника			

Висновки. Визначено концепцію бойового надводного середнього ударного багаторазового морського безекіпажного комплексу «Катран». Спроможності комплексу

щодо застосування на стратегічних відстанях корисного навантаження, при максимізації середньої швидкості виконання завдань за призначенням, в умовах неспокійного моря, забезпечуються гідродинамічною схемою — тримаран, виконуються з поліетилену високої щільності та дозволяють ефективно виявляти та знешкоджувати (знищувати) об'єкт інтересу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тактика Військово-морських Сил. Навчальний посібник. Під редакцією кандидата військово-морських наук Ю.М. Сичова. Друкарня Академії ВМС ім. П.С. Нахімова, 2017 р., 537 с.;
2. Грабенко, А. А. Кузнєцов, А. І. Особливості застосування поліетилену низького тиску в якості матеріалу корпусних конструкцій малих суден. Збірник наукових праць НУК №2, 2021, с.3–7;
3. Siswandi B., Wasid Dwi Aryawan, High Density Polyethylene (HDPE) Vessel of Pompong as a Fishing Vessel for Bengkalis Fisherman. [Text]/ The 2 nd International Seminar on Science and Technology, Postgraduate Program Institut Teknologi Sepuluh Nopember — Surabaya, Indonesia, 2016;
4. Ridwan M., Sulaiman, Sugeng S., Sarwoko & Nies H., Mechanical Properties of Small Boat Construction from HDPE Blue Drum Scrap. [Text]/ Diponegoro University — Semarang, Indonesia, SLV Mannheim GmbH — Mannheim, Germany, 2022;
5. European standard NF EN ISO 12215-3. Small craft. Hull constructions and scantlings Part 3: Materials: Steel, aluminium alloys, wood, other materials [Text] / August, 2002. — 8p.;
6. [6] Кузнєцов А.И., Лисицький І.В. Особливості проектування малих суден з HDPE : матеріали науково-технічної конференції «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд », НУК. Миколаїв, 2023;
7. Lysytskyi I.V., Kuznetsov A.I. Ways of standardizing HDPE hull structures parameters for small vessels. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. № 2 (491). 2023. С. 44–54;
8. Кузнєцов А.И., Лисицький І.В. Особливості застосування пропульсивних комплексів для малих суден з HDPE : матеріали науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», НУК. Миколаїв, 2023.

ENHANCING ENGINE ROOM COMMUNICATION: SCALABLE IT SOLUTIONS FOR MARINE ENGINEERING

Litikova O.I.

*Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)*

Introduction. In the age of digital transformation, the maritime industry increasingly relies on advanced information technology to ensure safety, efficiency and environmental compliance. Among the critical shipboard systems, the engine room remains a complex environment where miscommunication can lead to costly errors or accidents.

Relevance of research. In the early days of electromechanical onboard computers used exclusively for military purposes for combat, all the necessary calculations were performed by mechanical gears, cams and shafts (e.g. the naval ship Mark I). Further development of shipboard computers to modern technological ones (e.g. the turbine tanker Sea Sovereign) was accompanied by the implementation of appropriate software programs and their storage on rolls of punched tape, which were loaded via a compatible reader.

On the one hand, overwhelming digitalization has brought the shipping industry, staffed by international crews, into an extremely complex maritime environment where it appears fragile and vulnerable in the face of constant workload, technical challenges, unstable weather, and increased responsibility in reduced crews, stressful maritime regulations and much more. On the other hand, digitalization has begun to shape many maritime operations on UMS vessels, making them more efficient, safer and compliant, with real-time data-driven decision-making. The goal of digitalization has been to enable automation, remote monitoring, and predictive maintenance and optimized communications, all of which are essential in modern maritime operations.

In these conditions, efficient communication in engine rooms becomes critical, because it ensures accurate coordination amid high workloads, technical complexity, and diverse crews. In digitally advanced but high-pressure environments, clear communication prevents errors, supports real-time decision-making, and enhances safety, performance, and compliance with maritime regulations. IT ship technologies with their scalability and robustness appear to be undeniable to ensure this function and all crew members engaged in jobs connected with processing data on ships must be enough skillful to maintain this type of smart communication.

Problem Statement: Since crewmember communication goes far beyond the basic requirements for operating on smart ships, we believe it is logical to consider the extent to which IT can contribute to improving engine room communications.

Research and results. Were revealed a number of studies provided in the adjacent domains. Among them are publications about factors influencing psychoemotional strain and fatigue, and relationship of these factors with health complaints at sea among Lithuanian seafarers (Jonas Sąlyga Marijona Kušleikaitė, 2011); exploring bridge-engine control room collaborative team communication (Aditi Kataria, Eric Holder, Gesa Praetorius, Michael Baldauf, Jens-Uwe Schröder-Hinrichs, 2015) [1]; work environment and safety climate in the Swedish merchant fleet (Karl Forsell, Helena Pernilla Eriksson, Bengt Järvholm, Ralph Ingemar Nilsson, 2017); the methods of reducing communication stress in ship engine rooms (Takashi Miwa, Yanbin Wu, Yuh Sasawaki, Maki Kado, 2018); methods of the engine room resource management concept enhancement via the integrated model of training effectiveness and evaluation (Bulut Ozan Ceylan, 2019) [2], and others.

Many authors of the above works approach the problem of imperfect communication in the engine room of ships in different ways, but not all of them consider it advisable to involve IT to improve this very communication. The opinion of those researchers who see the possibilities of computer technology as an indispensable structural element of modern communication in modern international crews, and not only as a means of communication, seems to be reasonable. This is evidenced by the fact that operations are planned by a person, checked by computer processors, data from numerous machines, mechanisms and systems are calculated, processed on a

comparative basis by programmable logic controllers, control systems provide feedback to automated control systems on board the ship, and the results of this checking, calculation, automation of processes are analyzed and discussed by crew members.

Undeniable actuality of Standard Marine Communication Phrases, adopted by the 22nd Assembly of the IMO, in November 2001, for now do not outline the glossary and minimum of communication phrases for ship computer network, digitalized applications, cybersecurity risks, requirements of standardized communication on ships when serving ship computer network, IoT and automation processes, remote troubleshooting and planned maintenance system.

Some authors find it reasonable resorting to non-verbal language for effective teamwork in the ship engine room (Erdie Taganguin, 2017), some even suggest to apply remote network technology in engine room communication of a ship (Keyin Miao, Renqiang Wang, Jianming Sun, Hua Deng, 2022) [3], some appeal to the exploration of the automation malfunction effects on team communication and coordination in ships' engine rooms (Hasan Mahbub Tusher, Salman Nazir, Steven Mallam, Zaili Yang, Umer Asgher, Risza Rusli, 2024) [4].

Improving the automated engine room by utilizing scalable technologies available in the marine system is not possible without their application in real-world applications to address current engine room communication limitations. This will include limiting communication to fragmented, outdated or unscalable tools, which in turn will facilitate communication, eliminate language barriers, improve poor user interfaces, and act as a safeguard against human error. Unfortunately, despite the availability of advanced communication tools, engine rooms often rely on outdated systems or informal methods, leading to inefficiencies and increased operational risk.

To fill the existing gap between available marine engineering technologies and real-world demands for communication in engine room we started to apply several scalable IT solutions in process of Maritime English blended learning with elements of virtual simulation (VS) and augmented reality (AR).

In the online study, preferably were used digital twins of VS, which made it possible to recreate realistic shipboard environment. Some of digital twins Transas, Kongsberg, and MATLAB Simulink appeared to be very useful, because the students could practice communication skills directly in professional context.

Application Transas virtual Engine Room simulator (ERS) allowed to investigate that voice communication modules enable students to use Standard Marine Communication Phrases (SMCP), communicate in close to real-life mixed crews English, support clear and concise English under operational pressure, improving verbal fluency and comprehension. Feedback and debriefing were ensured by recording and analyzing language accuracy, grammar, and clarity of students' messages.

During the work with Kongsberg K-Sim Engine twin VS, a digital replica of real ship engine systems, it was found that use of authentic ship data may be successfully combined with English usage in realistic contexts of engine failures, troubleshooting, reporting, emergency response. Students were motivated to check operational vocabulary in action, apply technical terminology and SMCP within their functional tasks. Chosen scenarios required multi-role collaboration, promoting verbal English exchanges under time constraints.

In process of work with MATLAB Simulink digital twin VS models (diesel/gas turbine engines, emissions, fuel control, shaft line dynamics, combined and hybrid propulsion systems) it appeared possible to expose students to different layers of system-specific vocabulary related to propulsion, controls, fluid dynamics, and automation.

It was revealed that learning Maritime English through VS without the guided support of a facilitator to coordinate the language development process might become haphazard. Limited vocabulary development with insufficient attention to developing comprehension of complex technical, academic and literary texts was found. Not enough attention is paid to developing well-structured, coherent writing with appropriate tone and style.

While AR is often used in on-site training, some tools are increasingly being adapted or created specifically for online learning, including for Maritime English. AR tools and platforms

investigated can support remote or blended Maritime English training especially in technical and communication contexts. Among them are Scope AR — WorkLink, Zappar / ZapWorks, Merge EDU + Merge Cube.

Platform Scope AR — WorkLink allows the creation and sharing of interactive AR instructions remotely. Students can follow step-by-step tasks in English, using AR guides. The platform can create specific environment, which is ideal for training English while carrying out safety commands and doing maintenance of machinery.

For language-based application of WebAR and app-based AR content creator Zappar / ZapWorks teachers can develop interactive scenarios like emergency drill, equipment labeling, vocabulary work, role-play instructions, dialogue simulations.

In portable AR learning system Merge EDU + Merge Cube the students use a cube scanned by their phones. This tool makes it possible to model ship systems (engine, bridge, fire-fighting equipment) for Maritime English application. Students interact with labeled parts and instructions in their mobile apps.

Also were tried remote AR tools to guide students in resolving complex problems using real-time visuals and voice instructions. The most free and easy to use of these platforms was found to be Zappar / ZapWorks. To Create interactive WebAR experiences it is enough to scan a QR code, and see ship parts, safety equipment, or procedures in engine room. It also became clear that the weakest side of all AR tools that they are primarily designed and well-shaped for technical training, not language development.

Through the insights and findings, based on our analysis the conclusion was made that scalable IT solutions, as digital twins, tools of augmented reality and others are called to improve marine engineering and engine room communication, but only if they tightly integrate technical knowledge and skills with soft skills and professional communication of students, future marine engineers.

Hard or technical knowledge and skills [5] involve:

- Basic IT and networking — understanding of onboard networks, data protocols, and connectivity between shipboard systems.
- Familiarity with marine specific software — ability to operate and interpret data from condition monitoring systems, digital twins, and engine control software.
- Cybersecurity awareness — knowledge of digital safety protocols to protect critical systems from cyber threats.
- Data interpretation and analytics — skills to read sensor data, recognize patterns, and make decisions based on diagnostic tools.
- System integration understanding — know how propulsion, power, and control systems interface with IT platforms.

Soft and professional communication skills [5] include:

- Clear technical communication — ability to explain findings and instructions clearly, especially in English, to bridge gaps between crew, shore-based teams, and multinational stakeholders.
- Problem-solving mindset — quickly identify faults or anomalies and act decisively using digital tools.
- Team collaboration — work effectively with electricians, technicians, and IT professionals in a tech-integrated environment.
- Adaptability to new technologies — willingness to learn, update skills, and engage in continuous professional development.

Conclusion. The study provided proves the assumption that involvement of IT and ship computer knowledge and integrated skills formation in students, future seafarers may significantly improve clarity, data sharing, and response time, as the pilot program and learning shows the further feasibility to adapt this system to various vessel sizes and crew skills and levels. The main takeaway is the potential of scalable IT in engine room.

Virtual simulation twins and augmented reality technologies emerge as highly scalable IT

solutions that address both the hard and soft language skill demands of maritime education. Their ability to deliver immersive, repeatable, and adaptive training makes them ideal for online platforms, supporting a wide range of Maritime English competencies. Prioritizing their use in curriculum design can ensure consistent language immersion and professional communication growth.

To summarize, the priority of virtual simulation twins lies in improving learners' technical English proficiency, system diagnosis communication, and familiarity with operational terminology. In contrast, augmented reality tools excel at developing situational Maritime English, especially for commands, SMCP, and task-based language in interactive contexts. Together, they represent a complementary, scalable solution to meet the multifaceted linguistic needs of future marine engineers in online settings.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kataria A., Holder E.H., Praetorius G.P., Baldauf M., Schröder-Hinrichs J.-U. (2015). Exploring Bridge-Engine Control Room Collaborative Team Communication. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 9, No. 2, doi:10.12716/1001.09.02.02, pp. 169–176.
2. Ceylan B., Kandemir C., Celik M. (2019). A process improvement approach to restructuring engine-room resource management concept. Conference: ERPA International Congresses on Education, Sakarya, June 2019.
3. Miao K., Wang R., Sun J., Deng H. (2022). Application of Remote Network Technology in Engine Room Communication of the Ship. In: Kountchev, R., Mironov R., Nakamatsu K. (eds) *New Approaches for Multidimensional Signal Processing. Smart Innovation, Systems and Technologies*, Vol. 270. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8558-3_19.
4. Tusher H.M., Nazir S., Mallam S., Yang Z., Asgher U., Rusli R. (2024). Exploring the effects of automation malfunction on team communication and coordination in ships' engine rooms. *Process Saf Prog.* 43(S1):S50-S62. doi:10.1002/prs.12571S62 TUSHER ET AL.
5. Lamri, J., Lubart, T. (2023). Reconciling Hard Skills and Soft Skills in a Common Framework: The Generic Skills Component Approach. *Journal of Intelligence*, 11(6), 107. <https://doi.org/10.3390/jintelligence11060107>.

ВИЗНАЧЕННЯ ТИСКУ НАСИПНОГО ВАНТАЖУ НА СТІНИ КУЗОВА ВАГОНА ПРИ ЗАЛІЗНИЧНО-ПОРОМНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

Ловська А. О.¹, Діжо Я.², Блатницький М.², Бучко М.²

¹Український державний університет залізничного транспорту
(Україна)

²Жилінський університет в Жиліні
(Словаччина)

Вступ. Інтеграція України в систему міжнародних транспортних коридорів обумовлює необхідність створення систем комбінованого транспорту. У зв'язку з цим набули розвитку залізнично-поромні перевезення (рис. 1). Однією із держав чорноморського басейну, яка використовує такий тип перевезень є Україна [1].



Рисунок 1 – Залізничні пороми з вагонами на борту:
а) Грейфсвальд; б) Герої Одеси

Розвиток залізнично-поромного сполучення в Україні розпочався в 1954 р. Пізніше залізнично-поромні маршрути сполучили Україну з Болгарією, Грузією та Туреччиною. Враховуючи актуальність даного виду перевезень, прогнозується зростання кількості залізнично-поромних маршрутів не тільки в акваторії Чорного моря, а і у інших світових акваторіях.

Актуальність дослідження. Одним із часто перевізних вантажів у вагонах морем є насипні та навалювальні (рис. 2).



Рисунок 2 — Розміщення напіввагонів, завантажених кам'яним вугіллям,
на палубі залізничного порому

Ці вантажі спричиняють тиск на стіни вагона, який у разі перевезень морем перевищує за величиною той, що має місце при експлуатації на магістральних коліях. Це може викликати не тільки пошкодження кузовів вагонів, а і загрожує безпеці їх перевезень морем.

Тому важливим є дослідження навантаженості кузовів вагонів при залізнично-поромних перевезеннях. Це сприятиме не тільки адаптації їх конструкцій до завданих умов експлуатації, а і підвищенню безпеки залізнично-поромних перевезень.

Постановка задачі. Визначення тиску насипного вантажу на стіни кузова вагона при перевезенні залізничним поромом.

Результати досліджень. Для визначення тиску насипного вантажу на стіни кузова напіввагону при перевезенні залізничним поромом пропонується використання метода Кулона. При цьому максимальний тиск буде відповідати напрямку площини сповзання. Для визначення величини максимального тиску використано метод, запропонований В. В. Синельниковим [2, 3], згідно якому необхідно замінити в умові максимуму тиску, кут нахилу площини сповзання, який в загальному випадку визначити аналітичним шляхом не можливо, на деяку змінну. З урахуванням відповідних перетворень отримаємо [2]:

$$p = \gamma h \frac{\cos^2(\rho - \alpha)}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin \rho \sin(\rho - \alpha)}{\cos \alpha}}\right]^2 \cos \alpha}, \quad (1)$$

де γ — об'ємна маса вантажу; h — висота кузова напіввагону; ρ — кут внутрішнього тертя (для ідеально сипучого середовища дорівнює куту природного відкосу).

При визначенні тиску насипного вантажу на стіни кузова напіввагона також враховано прискорення, які діють на нього. Особливості визначення динамічного навантаження на кузов вагона при крені залізничного порому наведено в роботі [1]. При цьому застосовується математична модель

$$I \cdot \ddot{q} + \left(\Lambda_{\theta} \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q} = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_{\theta} \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \quad (2)$$

де I — момент інерції залізничного порому, B — ширина корпусу, h — висота борта, Λ_{θ} — коефіцієнт, який характеризує опір коливанням залізничного порому, p' — тиск вітру на надводну проекцію; $F(t)$ — закон дії збурюючого зусилля.

При завданні збурюючої дії враховано курсові кути морської хвилі до корпусу залізничного порому. Ці кути завдавалися через довжину морської хвилі:

$$\lambda = \kappa_{\lambda} \cdot L |\cos \chi|, \quad (3)$$

де κ_{λ} — коефіцієнт, який змінюється в межах 0,5–0,8 у залежності від форми обводів корпусу судна; χ — курсовий кут хвилі (0° – 180°).

При визначенні тиску насипного вантажу на бокові стіни кузова напіввагону при крені залізничного порому пропонується в якості закону його розподілу використання закону трикутника з максимумом у основі (рис. 3), у відповідності з [4].

Підхід до визначення тиску насипного вантажу на стіни кузова вагону при перевезенні його залізничним поромом в умовах хвилювання моря відрізняється від [2] способом визначення динамічної складової, а також законом розподілення тиску на бокову стіну кузова напіввагону.

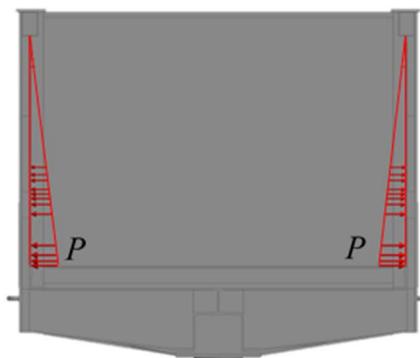


Рисунок 3 — Розподіл тиску насипного вантажу на бокові стіни напіввагона

Тиск насипного вантажу на торцеві стіни напіввагона при диференті залізничного порому також можна визначити за вищенаведеним способом.

Даний підхід може бути використаний і при визначенні тиску насипного вантажу на стіни контейнера. Але у разі його розміщення в напіввагоні [5], що перевозиться залізничним поромом, дана методика повинна бути доопрацьована шляхом врахування додаткових динамічних навантажень, що обумовлені зазорами між фітингами та фітинговими упорами [6].

У якості прикладу проведено визначення тиску насипного вантажу на стіни кузова напіввагона при його перевезенні акваторією Чорного моря. У якості насипного вантажу обрано кам'яне вугілля, як один із найбільш поширених вантажів експортного напрямку, із насипною масою $\gamma=8,83 \text{ кН/м}^3$. На підставі проведених розрахунків при куті крену залізничного порому $12,2^\circ$, отримано значення тиску насипного вантажу на бокову стіну кузова напіввагона близько 15 кПа, що перевищує величину тиску насипного вантажу при експлуатації вагонів на магістральних коліях більше ніж на 50%.

Висновки. Результати проведених досліджень дозволили отримати уточнену величину тиску насипного вантажу на бокові стіни кузова напіввагона при перевезенні залізничним поромом. Це може бути враховано при проєктуванні та розрахунках кузовів вагонів нового покоління з покращеними техніко-економічними показниками на вагонобудівних підприємствах. У свою чергу, це сприятиме забезпеченню міцності несучих конструкцій вагонів при перевезенні у міжнародному сполученні, а також покращенню безпеки руху залізничних поромів.

Подальшим розвитком даного дослідження є визначення впливу нерівномірності завантаження кузова насипним вантажем на тиск, що передається його стінам при перевезенні морем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Alyona Lovska, Juraj Gerlici, Jan Dizo, Vadym Ishchuk. The Strength of Rail Vehicles Transported by a Ferry Considering the Influence of Sea Waves on Its Hull. Sensors. 2024. Vol. 24, 183. <https://doi.org/10.3390/s24010183>
2. Землезин И. Н. К оценке нагрузок распора сыпучих грузов в условиях транспортировки вагонов на морских паромов. Сборник трудов ЦНИИ МПС «Исследование динамики вагонов». 1965. Вып. 307. С. 37–63.
3. Ловська А. О. Визначення зусиль розпору насипного вантажу на стіни кузова напіввагону при перевезенні залізничним поромом. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. 2014. Вип. 143. С. 54–57.
4. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проєктування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015.
5. Gerlici J., Lovska A., Vatulia G., Pavliuchenkov M., Kravchenko O., Solcansky S. Situational adaptation of the open wagon body to container transportation. Applied Sciences. 2023. Vol. 13(15). 8605. <https://doi.org/10.3390/app13158605>
6. ДСТУ ISO 1496-1:2013 Вантажні контейнери серії 1. Технічні вимоги та методи випробування. Частина 1. Контейнери загальної призначеності універсальні. Київ, 2013.

АДАПТИВНІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВІ СИСТЕМИ У ЗАДАЧАХ КЕРУВАННЯ КУРСОМ СУДНА

Оберто Сантана Л.Е.

*Одеський національний морський університет
(Україна)*

Вступ. Сучасне морське судноплавство стикається з необхідністю підвищення ефективності та безпеки навігації в умовах інтенсивного трафіку та складних погодних умов. Особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на створення інтелектуальних систем керування курсом судна, здатних автономно приймати рішення та адаптуватися до динамічно змінюваного середовища. У даному контексті застосування адаптивних нейронних мереж відкриває нові можливості для розробки ефективних систем автоматичного керування, що перевершують традиційні методи за точністю, швидкістю та стійкістю до зовнішніх збурень. Сучасні нейромережеві технології дозволяють не лише моделювати складну нелінійну динаміку судна, але й прогнозувати зміни параметрів системи в реальному часі, забезпечуючи оптимальне керування в різних навігаційних ситуаціях.

Актуальність досліджень у галузі адаптивних нейромережевих систем керування курсом судна зумовлена кількома факторами. Зростання інтенсивності морських перевезень та збільшення кількості суден в обмежених водах підвищують ризики виникнення аварійних ситуацій [1]. Статистика показує, що більша частина морських аварій (51,5 %) відбувається у внутрішніх водах, а людський елемент становить 59,1 % від загальної кількості причин аварійних подій [2].

Розвиток концепції автономного судноплавства вимагає створення надійних та ефективних систем керування, здатних функціонувати в різних навігаційних умовах без втручання людини. Традиційні контролери, хоча й забезпечують прийнятну якість керування в стаціонарних умовах, але значно поступаються адаптивним нейромережевим системам за наявності невизначеностей та зовнішніх збурень [3].

Сучасні системи керування курсом мають забезпечувати не лише стабілізацію на заданій траєкторії, але й оптимальне маневрування з урахуванням динамічних обмежень судна, що вимагає застосування більш досконалих методів моделювання та керування [4].

Постановка задачі. Основною метою дослідження є аналіз методів побудови адаптивних нейромережевих систем для керування курсом судна, що забезпечують високу точність утримання заданої траєкторії в умовах впливу зовнішніх збурень та параметрів моделі судна, що змінюються. Для досягнення поставленої мети необхідно визначити оптимальні архітектури нейронних мереж для завдань ідентифікації параметрів моделі судна та синтезу керуючих впливів, розробити методи навчання та адаптації нейронних мереж у режимі реального часу, дослідити можливості інтеграції нейромережевих методів з традиційними підходами до керування для підвищення ефективності та надійності систем, а також оцінити ефективність запропонованих рішень на основі математичного моделювання та порівняння з існуючими методами.

Основний матеріал. Ефективне керування курсом судна вимагає адекватного математичного опису його динаміки. У більшості досліджень використовується лінійна модель Номото другого порядку, яка відносно проста і підходить для синтезу систем керування курсом [5]:

$$G(s) = \frac{K_R}{s(T_R s + 1)}, \quad (1)$$

де K_R і T_R — індекси маневреності судна.

Для більш повного опису руху судна розглядається нелінійна модель:

$$\ddot{\psi} = \alpha \dot{\psi} + \beta \dot{\psi}^3 + \gamma \delta - K_d; \quad (2)$$

де $\alpha = -1/T_R$; $\beta = -\alpha/T_R$; $\gamma = K_R/T_R$, а K_d представляє собою зовнішні збурення.

В умовах реального морського середовища параметри моделі судна непостійні та

піддаються впливу різних факторів, що обумовлює необхідність застосування адаптивних методів керування. Особливу складність представляє моделювання динаміки руху судна в обмежених водах, де виникають додаткові гідродинамічні ефекти взаємодії з берегами та мілинами. При зменшенні глибини води відбувається зміна гідродинамічних коефіцієнтів судна, що призводить до погіршення керованості та збільшення радіусу циркуляції [4]. Це підкреслює необхідність розробки адаптивних систем керування, здатних враховувати ці зміни в реальному часі.

Вагомим елементом побудови ефективної системи керування курсом є точна ідентифікація параметрів моделі судна. Існуючі методи ідентифікації можна розділити на дві основні групи: методи оффлайн-ідентифікації, що вимагають попереднього збору і обробки даних, та методи онлайн-ідентифікації, що дозволяють оцінювати параметри в процесі руху судна. Для завдань керування курсом судна найбільший інтерес представляють методи онлайн-ідентифікації, серед яких особливо ефективним є метод розширеного фільтра Калмана (*Extend Kalman Filter, EKF*). Цей метод дозволяє оцінювати параметри α , β і γ в реальному часі на основі вимірювань кута курсу, кутової швидкості та кута повороту руля.

Алгоритм EKF-ідентифікації складається з наступних кроків:

- 1) прогнозування стану системи на основі попередніх оцінок параметрів;
- 2) оновлення коваріаційної матриці помилок;
- 3) обчислення коефіцієнта посилення Калмана;
- 4) корекція оцінок параметрів на основі поточних вимірювань;
- 5) оновлення коваріаційної матриці.

Експериментальні дослідження показують, що *EKF*-ідентифікація забезпечує швидко збіжність оцінок параметрів моделі судна і високу точність прогнозування руху, що робить її ефективним інструментом для адаптивних систем керування [5].

Альтернативним підходом є використання нейронних мереж для ідентифікації параметрів моделі судна. Нейронні мережі зворотного поширення (*Backpropagation, BP*) демонструють високу ефективність у вирішенні завдань апроксимації нелінійних залежностей та прогнозування динаміки систем. Для ідентифікації параметрів моделі судна використовується двошарова *BP* нейронна мережа. Вхідними сигналами цієї нейронної мережі є значення кута курсу, кутової швидкості та кута повороту керма на попередніх кроках, а вихідними – прогнозовані значення параметрів моделі. Нейрони прихованого шару використовують нелінійні функції активації типу *Sigmoid*, що забезпечує можливість апроксимації складних нелінійних залежностей. Навчання мережі здійснюється методом зворотного поширення помилки з використанням алгоритму градієнтного спуску.

Аналіз результатів експериментальних досліджень показують, що *BP* нейронна мережа забезпечує високу точність ідентифікації параметрів моделі судна. Середня помилка прогнозування становить лише 0,28 % при часі навчання близько 3,51 секунди, що робить цей підхід придатним для використання в системах реального часу [6].

Перевагою нейромережевого підходу є його здатність враховувати нелінійні ефекти та зміни параметрів моделі судна, що особливо важливо при маневруванні в складних умовах. Крім того, нейронні мережі демонструють високу стійкість до шумів вимірювань та зовнішніх збурень, що підвищує надійність системи керування.

На основі ідентифікованих параметрів моделі судна здійснюється синтез адаптивного контролера для керування курсом. Одним з найбільш ефективних підходів є використання адаптивного контролера на основі методу *Closed-loop Gain Shaping (CGS)* [5]. Цей метод дозволяє формувати бажану передавальну функцію замкненої системи керування та забезпечує високу стійкість нейромережевих систем утримання курсу до неточностей моделі та зовнішніх збурень.

Одним з напрямків удосконалення адаптивних систем керування курсом є використання контролерів дробового порядку (*Fractional Order Proportion Integration Differentiation, FOPID*). Ці контролери є узагальненням класичних ПІД-контролерів і

забезпечують більш високу гнучкість у налаштуванні параметрів [6]:

$$G_c(s) = k_p + \frac{k_i}{s^\lambda} + k_d s^\mu, (0 < \lambda < 2, 0 < \mu < 2), \quad (3)$$

де λ і μ — порядки інтегрального та диференціального членів відповідно.

FOPID-контролери мають додаткові степені свободи (порядки інтегрування та диференціювання), що дозволяє більш точно формувати частотні характеристики системи керування та забезпечувати кращі показники якості. Однак налаштування параметрів таких контролерів є складним завданням, що вимагає використання спеціальних методів оптимізації.

Для оптимізації параметрів *FOPID*-контролера ефективно застосовується метод рою частинок (*Particle Swarm Optimization, PSO*). Цей метод належить до класу метаевристичних алгоритмів оптимізації і базується на моделюванні соціальної поведінки груп організмів, таких як зграї птахів або риб. *PSO* використовує набір «частинок» (потенційних рішень), які рухаються в просторі пошуку, взаємодіючи між собою та адаптуючись до середовища.

Алгоритм *PSO*-оптимізації для налаштування параметрів *FOPID*-контролера включає наступні кроки:

- 1) ініціалізація популяції частинок з випадковими значеннями параметрів контролера;
- 2) оцінка цільової функції для кожної частинки;
- 3) оновлення найкращих позицій для кожної частинки та для всієї популяції;
- 4) оновлення швидкостей та позицій частинок;
- 5) перевірка умов збіжності та повторення кроків 2–4 до досягнення бажаного результату.

У якості цільової функції для оптимізації використовується інтегральний критерій якості керування, що враховує помилку регулювання та витрати енергії на керування.

Інтеграція методів *BP* нейронних мереж для ідентифікації параметрів моделі судна з *PSO*-оптимізованими *FOPID*-контролерами дозволяє створити високоефективну адаптивну систему керування курсом, що забезпечує оптимальне співвідношення між швидкодією, точністю та робастністю. Експериментальні дослідження показують, що така система забезпечує швидку стабілізацію на заданому курсі (2,75 с) при мінімальній помилці регулювання (0,065), що значно перевершує показники традиційних систем керування [6].

Особливо важливим елементом розробки систем керування курсом судна є моделювання траєкторії руху. Традиційний підхід, що використовує лінійні сегменти для з'єднання точок маршруту, не відповідає реальній динаміці судна і призводить до значних помилок при автоматичному керуванні. Більш ефективним є використання раціональних кривих Безьє для моделювання траєкторії [9].

Раціональна крива Безьє другого порядку може бути ефективно параметризована з урахуванням розмірів судна, його осадки та кутової траєкторії:

$$W_2 = \frac{L\varphi}{\nabla(1-c)S_{drift}}, \quad (4)$$

де L — довжина судна; φ — кутовий шлях; ∇ — водотоннажність; S_{drift} — шлях дрейфу; c — безрозмірний коефіцієнт [9].

Використання кривих Безьє для моделювання траєкторії судна дозволяє врахувати обмеження на маневреність судна, забезпечити плавність зміни курсу та мінімізувати відхилення від заданого маршруту. Крім того, такий підхід добре поєднується з адаптивними нейромережевими системами керування, оскільки дозволяє генерувати реалістичні референтні сигнали для системи керування.

Для великих морських суден особливо актуальним є забезпечення високої точності слідування заданій траєкторії при маневруванні в обмежених водах. Використання адаптивних нейромережових систем керування у поєднанні з моделюванням траєкторії на основі кривих Безьє дозволяє значно підвищити безпеку навігації та ефективність

керування.

Порівняльний аналіз різних методів керування курсом судна, проведений на основі математичного моделювання, підтверджує переваги адаптивних нейромережових систем. Результати моделювання показують, що адаптивний CGS-контролер на основі EKF-ідентифікації забезпечує більш швидкий час наростання (18, 511 с) порівняно з традиційним ПД-контролером (70,648 с) та класичним CGS-контролером (110, 181 с) [5].

Подальше удосконалення системи керування курсом судна шляхом інтеграції методів PSO і FOPID з нейромережовим передбаченням параметрів моделі судна дозволяє досягти ще більш високих показників якості керування.

Висновок. Проведене дослідження показало високу ефективність застосування адаптивних нейромережових методів для керування курсом судна. Інтеграція методів онлайн-ідентифікації параметрів моделі судна з адаптивними контролерами дозволяє суттєво підвищити якість керування курсом в умовах невизначеності та зовнішніх збурень. Нейронні мережі зворотного поширення забезпечують високу точність прогнозування параметрів руху судна і можуть ефективно застосовуватися в системах адаптивного керування. Оптимізація параметрів контролерів за допомогою методу рою частинок дозволяє досягти оптимального балансу між швидкодією системи та якістю перехідних процесів. Застосування раціональних кривих Безье для моделювання траєкторії судна у поєднанні з нейромережовими методами керування забезпечує високу точність слідування заданому курсу та ефективне маневрування. Адаптивні нейромережові системи керування курсом судна демонструють значні переваги перед традиційними методами, особливо в умовах складного динамічно змінного середовища.

Подальші дослідження в даній галузі можуть бути спрямовані на розробку гібридних архітектур, що поєднують нейромережові методи з традиційними підходами до керування, застосування нових методів навчання для підвищення ефективності адаптації системи, а також інтеграцію нейромережових систем керування з технологіями е-навігації та автономних суден.

ЛІТЕРАТУРА

1. Qian, Y., Fang, Y. Qian, Y., & Fang, Y. (2019). Switching Logic-Based Nonlinear Feedback Control of Offshore Ship-Mounted Tower Cranes: A Disturbance Observer-Based Approach. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 16, 1125–1136.
2. Сагін С.В., Сагін С.С. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден. *Водний транспорт*. 2024. № 1(39). С. 215–225.
3. Сінюта К.О., Голіков В.В. Глибоке навчання у контексті штучного інтелекту в морській навігації: перспективи розвитку. *Водний транспорт*. 2024. № 1(39). С. 104–111.
4. Changyuan Chen, Guillaume Delefortrie, Evert Lataire. Effects of water depth and speed on ship motion control from medium deep to very shallow water. *Ocean Engineering*, 2021, Volume 231, 109102.
5. Guan, W., Peng, H., Zhang, X., & Sun, H. (2022). Ship Steering Adaptive CGS Control Based on EKF Identification Method. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(2), 294.
6. Shi, X., Chen, P., & Chen, L. (2023). An Integrated Method for Ship Heading Control Using Motion Model Prediction and Fractional Order Proportion Integration Differentiation Controller. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(12), 2294.
7. Farahnakian, F., & Heikkonen, J. (2020). Deep Learning Based Multi-Modal Fusion Architectures for Maritime Vessel Detection. *Remote Sensing*, 12(16), 2509.
8. Perera, L.P. Deep Learning Toward Autonomous Ship Navigation and Possible COLREGs Failures." *ASME. J. Offshore Mech. Arct. Eng.* June 2020; 142(3): 031102.
9. Miller A., Walczak S. Maritime Autonomous Surface Ship's Path Approximation Using Bézier Curves. *Symmetry*, 12(10), 1704.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ЗАПОБІГАННЯ ЗІТКНЕННЯМ СУДЕН В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО РУХУ НА ПРИКЛАДІ ПОРОМНОЇ НАВІГАЦІЇ В ПРОТОЦІ ДУВР

*Россомаха О.І., Колеснік О.В., Саф'ян О.С.
Одеський національний морський університет
(Україна)*

Вступ. Забезпечення безпеки морської навігації є критично важливим завданням, особливо в умовах інтенсивного судноплавства. Протока Дувр, будучи найбільш завантаженим морським маршрутом у світі зі щоденним проходженням близько 400 суден, створює особливі виклики для запобігання зіткненням. Міжнародні правила запобігання зіткненням суден у морі (COLREG) надають базові настанови, проте їхня інтерпретація стає неоднозначною у складних ситуаціях множинної взаємодії суден. За даними досліджень, 48 % морських аварій у цьому районі відбуваються в ситуаціях перетину курсів, що підкреслює актуальність розроблення ефективних систем підтримки прийняття рішень. У цій роботі пропонується інтелектуальна стратегія запобігання зіткненням, що інтегрує правила COLREG з експертним досвідом мореплавства і сучасними методами машинного навчання. Дослідження фокусується на паромній навігації в системі поділу руху (TSS) протоки Дувр, де судна повинні перетинати встановлені смуги руху під прямим кутом, зберігаючи водночас безпечну дистанцію під час взаємодії з множинними цільовими суднами.

Актуальність дослідження. Протока Дувр, будучи найбільш завантаженим морським маршрутом у світі та становить підвищений ризик зіткнень. Берегова охорона зазначає, що основна кількість аварій відбувається під час перетину курсів. Поромна навігація у зоні TSS особливо складна через вимогу Правила 10 COLREG перетинати потоки під прямим кутом у разі одночасного наближення кількох суден по правому борту. Традиційні методи, засновані тільки на людському елементі, малоефективні в багатосуднових сценаріях, де застосування COLREG неоднозначне. Це зумовлює необхідність впровадження інтелектуальних систем підтримки рішень, що об'єднують правила COLREG з експертним досвідом і штучним інтелектом.

Постановка задачі. Необхідно розробити стратегію управління для запобігання зіткненням декількох суден під час поромної навігації у системі поділу руху (TSS) протоки Дувр. Потрібно створити COLREG-сумісну систему, здатну ефективно керувати судном у взаємодії з множинними цілями. Завдання включає формалізацію неоднозначних аспектів COLREG, інтеграцію правил з експертним досвідом і розробку стратегії моніторингу в багатосуднових сценаріях. Дослідження фокусується на ситуації перетину поромом TSS під час наближення групи суден з правого борту. Рішення має оптимізувати ухвалення рішень з урахуванням категоризації зустрічних суден, розрахунку ризиків зіткнення і параметрів маневрування.

Основний матеріал. Міжнародні правила попередження зіткнень суден у морі (COLREG), розроблені Міжнародною морською організацією (IMO), являють собою основу для безпечної навігації в морських умовах [1]. Однак ці правила можуть ставати неоднозначними в складних ситуаціях надмірного зближення кількох суден, особливо в таких районах як протока Дувр. У цьому дослідженні пропонується стратегія запобігання зіткненням, сумісна з COLREG, що інтегрує людський досвід із методами штучного інтелекту.

Протока Дувр, незважаючи на свою вузькість, є найбільш завантаженим морським маршрутом у світі. Система розподілу руху (TSS) у цьому районі призначена для організації суднопотоків у певних напрямках. Судна в конкретній смузі рухаються в одному напрямку, утворюючи південно-західний (SW) і північно-східний (NE) потоки. Пороми регулярно перетинають протоку, створюючи ситуації перетину курсів.

Причини зіткнень у TSS протоки Дувр пов'язані не тільки зі складним морським рухом, а й з людським фактором, зокрема, з недостатнім знанням правил COLREG. У цьому

дослідженні основна увага приділяється ситуації перетину курсів для порома в протоці Дувр.

Згідно з Правилом 10 COLREG, судно повинне за можливості уникати перетину смуг руху, але якщо вимушене це робити, повинне мати курс, що є якомога ближчим до прямого кута до загального напрямку потоку руху. Правило 15 визначає, що в ситуації перетину курсів судно, яке бачить інше судно з правого борту, повинно поступитися дорогою і, якщо дозволяють обставини, уникати перетину курсу перед іншим судном.

Приклад ситуації перетину курсів у TSS показано на рис. 1. Згідно з COLREG, судно, що має інше судно з правого борту, вважається судном, що поступається дорогою, тоді як інше судно вважається судном, що має право пріоритетного проходу. Отже, у смузі руху NE судно-ціль 1 (TS1) є таке, що поступається дорогою, тоді як власне судно (OS) має право пріоритетного проходу. Судно, що поступається дорогою, має маневрувати, щоб уникнути зіткнення, переважно обходячи позаду судна, що має право пріоритетного проходу, тоді як останнє має зберігати свою швидкість і курс.

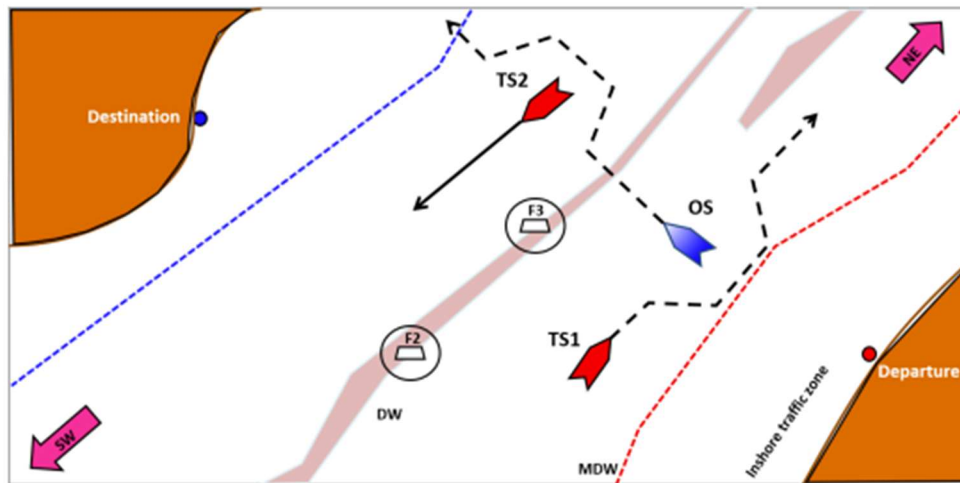


Рис. 1 — Ситуація з перетином у TSS [2]

Однак, коли кілька суден безперервно наближаються з правого борту власного судна, як показано на рис. 2, ситуація стає складнішою. Існують два основні підходи до розв'язання цієї проблеми: очікування до усунення ризику зіткнення або маневрування вздовж краю й очікування великого проміжку, що дає змогу безпечно пройти. Обидва підходи мають недоліки і можуть створювати нові ситуації надмірного зближення з іншими суднами.

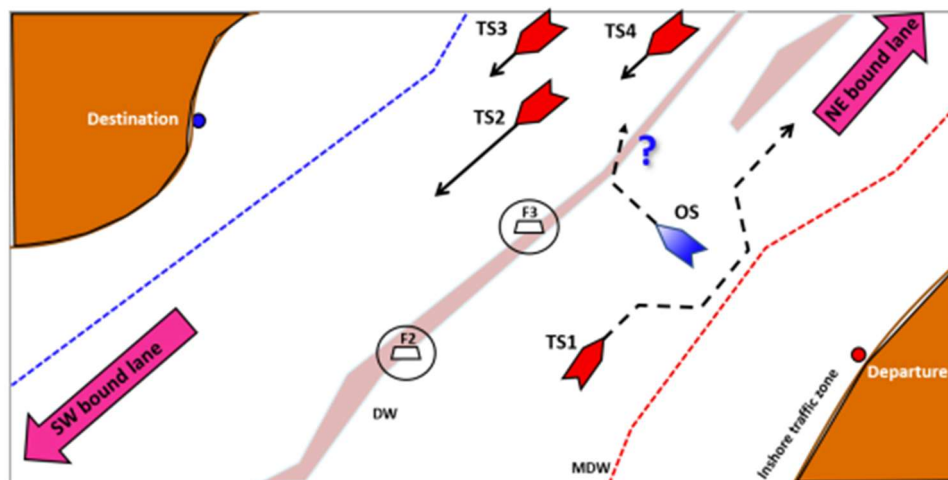


Рис. 2 — Ситуація з перетином кількох суден у TSS [2]

Для розроблення ефективної системи запобігання зіткненням (CAS) у таких сценаріях було виконано такі кроки:

1. Збір та аналіз даних експертами. Демонстрації експертів були зібрані із симуляцій сценаріїв перетину кількох суден. Був зроблений аналіз ключових параметрів ухвалення рішень.

2. Оцінка ризику зіткнення. Для оцінки ризику зіткнення використовуються два основні параметри – відстань до найближчої точки підходу (CPA) і час до найближчої точки підходу (TCPA). Найближча точка підходу (CPA) визначається як точка, в якій відносний курс судна цілі, що наближається, є дотичним до мінімальної відстані [3–5].

3. Розроблення стратегії управління — глибоке навчання з підкріпленням (deep reinforcement learning — DRL), адаптовану для конкретного сценарію перетину курсів кількох суден [6, 7].

Кількісний аналіз, який був проведений експертами, виявив такі параметри для ухвалення рішень щодо запобігання зіткненням:

- Зміни курсу зазвичай відбуваються між 25° і 30° при досягненні суднами-цілями певних діапазонів;
- Відстань до першого судна-цілі: 4–5 морських миль;
- Відстань до другого судна-цілі: 5–6 морських миль;
- CPA з першим і другим судном-ціллю: 0,2–4,5 морських миль;
- TCPA з першим і другим судном-ціллю: 10–14 хвилин.

Для моделювання динаміки руху судна використовували диференціальне рівняння руху судна, що враховують гідродинамічні сили, сили гвинта і керма, де різні компоненти представляють гідродинамічні сили, сили гвинта і сили керма, що діють на судно [8].

Розроблена стратегія прийняття рішень представлена у вигляді чотирифазного процесу:

1. Фаза 1. Визначення, чи знаходяться зустрінуті судна-цілі в безпечному діапазоні від власного судна, і категоризація типу зустрінутих суден. Процедура категоризації виконується на основі миттєвих позицій і відносних курсів між власним судном і кожним із суден цілей. Судна-цілі класифікуються як такі, що перебувають в одній з чотирьох позицій: перетин курсів з пріоритетним положенням відносно позиції судна-цілі, обгін, перетин курсів з обов'язком поступитися дорогою і зустрічний рух.

2. Фаза 2. Розрахунок ризику зіткнення в ситуації перетину курсів. Наприклад, у смузі руху SW, якщо кілька суден-цілей наближаються по правому борту власного судна, потрібно використовувати найбільш «небезпечне» судно, яке знаходиться в цій групі, для процесу прийняття рішень у ситуації надмірного зближення. Це допомагає капітану заздалегідь оцінити небезпечну зону і дає чітку картину ситуації. Після аналізу положення цієї групи суден-цілей, вахтовий офіцер повинен визначити CPA і TCPA суден-цілей.

3. Фаза 3. Ухвалення рішення про маневрування. На цьому етапі вахтовий офіцер власного судна повинен уважно стежити за суднами, що перетинають його, по правому борту, в максимально можливий короткий проміжок часу оцінювати ситуацію і обирати правильну дію відповідно до COLREG. Згідно з настанов ІМО рекомендована зміна курсу це 30° , а швидкість має бути зменшена на 50 %. Також не варто нехтувати виконанням комбінованого маневру.

4. Фаза 4. Повернення на попередній курс після успішного розходження з суднами-цілями.

Результати моделювання демонструють ефективність запропонованої стратегії. Рис. 3 ілюструє процедуру уникнення зіткнення з трьома суднами цілями. Чотири судна утворюють ситуацію перетину курсів, аналогічну тій, що зустрічається в TSS протоки Дувр. За цих обставин процедура ухвалення рішень для власного судна активується небезпечною групою. Власне судно змінює свій курс праворуч і успішно проходить між суднами.

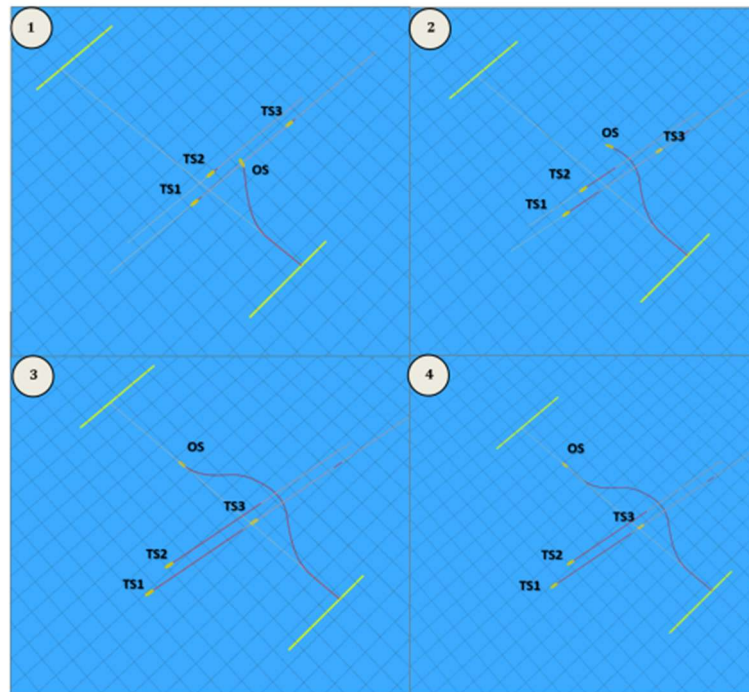


Рис. 3 — Моделювання маневру ухилення власного судна у ситуації перетину курсів з кількома суднами в TSS [2]

Результати траєкторії руху власного під час маневру розходження зображено на рис. 4. Власне судно генерального курсу до пункту призначення під час маневрування.

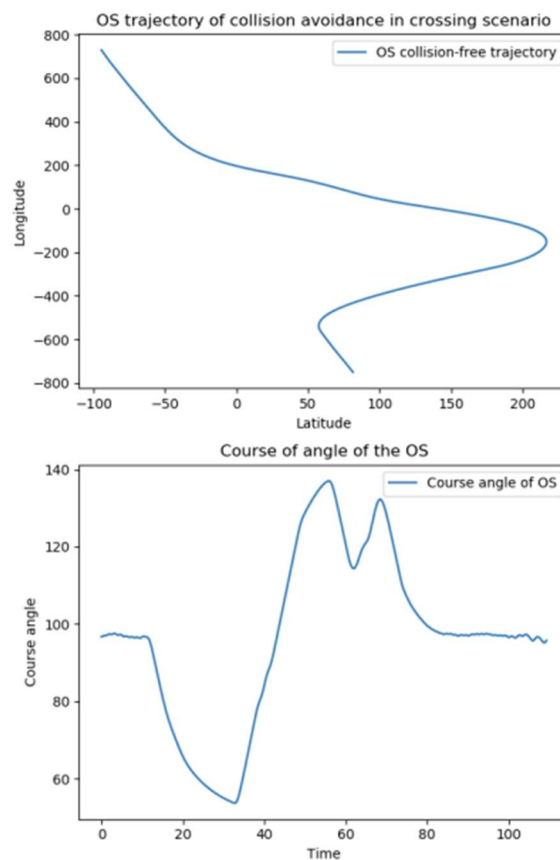


Рис. 4 — Траєкторія власного судна під час виконання маневру ухилення та зміни його курсового кута до пункту призначення [2]

Запропонована стратегія інтегрує правила COLREG з експертними знаннями судноводіїв та методами штучного інтелекту для ефективного вирішення багатосуднових

ситуацій розходження. Стратегія надає кількісну оцінку неоднозначним аспектам правил COLREG через аналіз рішень експертів у змодельованих ситуаціях. Такий підхід вирішує проблеми безпеки руху паромів у TSS протоки Дувр, де перехресний рух створює складні ситуації надмірного зближення та ризику зіткнення. Запропонований чотирифазний алгоритм структуровано вирішує завдання ідентифікації загроз, оцінки ризиків, вибору маневрів ухилення і повернення на запланований курс. Результати моделювання підтверджують, що запропонований підхід успішно забезпечує навігацію без зіткнень при дотриманні COLREG. Власне судно ефективно ідентифікує кілька суден, що наближаються, виконує відповідні зміни курсу і безпечно маневрує через складні схеми руху, перш ніж повернутися на визначений шлях.

Висновки. Дослідження проблеми запобігання зіткненням кількох суден в умовах інтенсивного руху в протоці Дувр дало змогу сформувати ефективну стратегію управління, що ґрунтується на інтеграції правил COLREG, експертного досвіду та методів штучного інтелекту. Розроблена чотирифазна процедура ухвалення рішень забезпечує структурований підхід до навігації в складних багатосуднових сценаріях.

На основі кількісного аналізу експертних даних встановлені рекомендовані параметри для маневрування: оптимальна зміна курсу 25–30°, коли дистанція до першого судна-цілі становить 4–5 миль, а до другого — 5–6 миль, з обов'язковим врахуванням CPA і TCPA. Застосування методів глибокого навчання з підкріпленням дало змогу створити адаптивну систему управління, що враховує особливості руху в TSS.

Комп'ютерне моделювання підтвердило ефективність розробленої стратегії: судно завчасно ідентифікує небезпечні ситуації, здійснює оптимальні маневри і безпечно проходить зони інтенсивного руху, повертаючись на запланований маршрут. Даний підхід істотно підвищує безпеку морської навігації в протоці Дувр, вирішуючи проблему неоднозначності застосування COLREG в ситуаціях близького зближення декількох суден і надаючи надійну підтримку прийняття рішень для морських операторів.

ЛИТЕРАТУРА

1. I. M. Organization, «Convention on the international regulations for preventing collisions at sea, 1972 (colregs)», 1972.
2. Luman Zhao, Houxiang Zhang, Guoyuan Li. Multi-ship Collision Avoidance Control Strategy in Close-quarters Situations: a Case Study of Dover Strait Ferry Maneuvering. Conference Paper October 2020. DOI: 10.1109/IECON43393.2020.9255182
3. J. M. Mou, C. Van Der Tak, and H. Ligteringen, «Study on collision avoidance in busy waterways by using ais data», Ocean Engineering, vol. 37, no. 5-6, pp. 483–490, 2010.
4. K. Woerner, «Colregs-compliant autonomous collision avoidance using multi-objective optimization with interval programming», MASSACHUSETTS INST OF TECH CAMBRIDGE, Tech. Rep., 2014.
5. D. Squire, «The hazards of navigating the dover strait (pas-de-calais) traffic separation scheme», The journal of navigation, vol. 56, no. 2, pp. 195–210, 2003.
6. L. Zhao and M.-I. Roh, «Colregs-compliant multiship collision avoidance based on deep reinforcement learning», Ocean Engineering, vol. 191, p. 106436, 2019.
7. C. Tam and R. Bucknall, «Collision risk assessment for ships», Journal of marine science and technology, vol. 15, no. 3, pp. 257–270, 2010.
8. T. I. Fossen, Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control. John Wiley & Sons, 2011.

ЛЮДСЬКИЙ ЕЛЕМЕНТ У МОРСЬКІЙ БЕЗПЕЦІ: ПЕРЕГЛЯД СФОРМОВАНОЇ СТАТИСТИКИ

Томчаковський Г.Г., Россомаха О.А.
Одеський національний морський університет
(Україна)

Вступ. Безпека мореплавства залишається однією з ключових складових сталої роботи глобальної транспортної системи. Упродовж останніх десятиліть значна увага приділяється ролі людського елемента як визначального чинника у виникненні морських аварій. Поширене твердження, що приблизно 80 % інцидентів зумовлені людською помилкою, не лише закріпилося в наукових дискусіях, але й стало орієнтиром для політик, стратегій і реформ у сфері морської безпеки. Утім, ця цифра дедалі частіше ставиться під сумнів через відсутність прозорих емпіричних підтверджень.

На тлі активного розвитку цифрових технологій та концепції автономного судноплавства, питання достовірності такого узагальнення набуває нового звучання. Технології дедалі більше позиціонуються як альтернатива людському фактору, що викликає необхідність переоцінити реальний вплив людини — не лише як джерела ризику, але і як ключового захисного механізму в складних соціотехнічних системах.

Це дослідження пропонує критичний аналіз джерел походження цифри «80 %», зосереджуючись на її науковій основі, методологічних відмінностях та впливі термінології на оцінку людського чинника. Метою є формування більш точного, комплексного та збалансованого уявлення про роль людини в забезпеченні морської безпеки.

Актуальність дослідження. Дослідження впливу людського елемента на морську безпеку є особливо актуальним у контексті стрімкого розвитку морської галузі та впровадження нових технологій. Загальноприйняте твердження про те, що людський елемент відповідальний за приблизно 80 % усіх морських аварій, стало основою для численних досліджень, політик та стратегій у сфері морської безпеки. Це твердження набуло ще більшої ваги з появою концепції автономного судноплавства, де технологічний прогрес часто обґрунтовується потенційним зниженням людських помилок і, як наслідок, підвищенням безпеки.

Проте, незважаючи на широке використання цього показника, існує значний брак емпіричних доказів, які б його підтверджували. Різноманітність методологічних підходів у дослідженнях людського елемента призводить до суперечливих результатів, що коливаються від 14,9 % до 100 %. Такий значний діапазон ставить під сумнів достовірність загальноприйнятого 80 % показника та вказує на необхідність більш ретельного дослідження витоків цього твердження та його наукової обґрунтованості.

Постановка задачі. Метою дослідження є виявлення джерел широко розповсюдженого твердження про 80 % вплив людського елемента на морські аварії та перевірка його обґрунтованості через проведення комплексного літературного огляду. Задача полягає у:

1. аналізі наукової літератури, що стосується впливу людського елемента на морську безпеку, для виявлення оригінальних досліджень та їх методології.
2. Ідентифікації та оцінці першоджерел, на які спираються дослідники при цитуванні показника 80 %.
3. Визначенні впливу лексичних відмінностей («людська помилка», «людський фактор», «людська дія», «людський елемент») на результати досліджень.
4. Оцінці методологічних підходів, що використовуються у дослідженнях людського елемента в морських аваріях, та їх впливу на отримані результати.
5. Розробці рекомендацій щодо більш комплексного та системного підходу до розуміння ролі людського елемента в морській безпеці, який би враховував не лише негативні аспекти людської діяльності, але й роль людини як останнього захисного бар'єру в запобіганні розвитку потенційних аварійних ситуацій.

Вирішення цих задач дозволить не тільки перевірити обґрунтованість широко використовуваного показника 80 %, але й сприятиме розвитку більш точного та нюансованого розуміння впливу людського елемента на морську безпеку.

Основний матеріал. Проведене дослідження було спрямоване на виявлення джерел широко поширеного переконання про 80 % вплив людського елемента на морські аварії та перевірку його обґрунтованості за допомогою обширного літературного огляду, що включає 292 документи. Результати показують, що хоча оригінальні дослідження загалом згодні з тим, що людські помилки роблять значний внесок у виникнення морських аварій, конкретний показник у 80 % не підтверджується надійними даними [1].

Однією з найвпливовіших праць із питання людської помилки в морській сфері вважається стаття, опублікована 2000 року [2]. У ній повідомляється про показники людської помилки до 96 % від загальних причин аварій у деяких випадках. Однак у цій роботі не представлені оригінальні дослідження, а наведені цифри взяті з інших звітів.

Проблема також ускладнюється відмінностями в систематизації та методологічних підходах. У морській сфері найширше використовують терміни «людська помилка», «людський фактор», «людська дія» і «людський елемент», причому останній використовується Міжнародною морською організацією (ІМО). Ці терміни мають різні визначення залежно від використовуваної системи й іноді використовуються взаємозамінно, що створює плутанину і знижує якість оцінок людської надійності [3].

Під час огляду літератури було ідентифіковано 30 документів з описом оригінальних досліджень, спрямованих на визначення впливу людського елемента на виникнення аварій. Результати цих досліджень варіювалися від 14,9 % до 100 %, причому більшість досліджень, що показали 100 % результат, були пов'язані із застосуванням системи аналізу та класифікації людських факторів (HFACS). Тільки два документи повідомляли про значення, що дорівнювали або були близькими до 80 % [4].

У середньому внесок людини в аварії оцінювали в 70,2 % у документах, що використовують термін «людська помилка», і 88,9 % у тих, де використовували термін «людський фактор». Це вказує на те, що результати досліджень сильно залежать від методології та використовуваної термінології [5].

Джерела, на які посилаються автори тез, охоплюють:

1. дослідження, яке вказує, що людський елемент був присутній у понад 90 % зіткнень і посадок на міліну та у понад 75 % контактів і пожеж/вибухів, але наголошує на тому, що людський елемент був визнаний присутнім, а не відповідальним.

2. Звіт Ради з транспортної безпеки Канади, яка стверджує, що людський фактор був сприятливим фактором у більш ніж 80 % всіх танкерів, залучених до аварії на морі в канадській юрисдикції, хоча не надає деталі про процедуру, яка призвела до цього висновку.

3. Звіт UK P&I Club, в якому стверджується, що половина вантажних претензій, половина випадків забруднення, 65 % травм персоналу, 80 % майнової шкоди і 90 % претензій щодо зіткнень згадують людську помилку як основну причину [6].

Проблема кількісної оцінки внеску людського елемента в аварії складна і багатогранна. Різні методи систематизації і підходи ускладнюють перевірку цього твердження. Крім того, кожна аварія виникає внаслідок різного ланцюга подій, і розрахунок середнього показника таких аномалій може бути не цілком коректним.

Важливо зазначити, що людська помилка ніколи не буває єдиною причиною аварії. Згідно з концепцією «швейцарського сиру», виникнення людської помилки зазвичай є необхідною умовою для виникнення аварії в соціотехнічній системі [7].

Водночас, люди також виступають як останній захисний бар'єр, що запобігає розвитку потенційної аварії. Дослідження в морській галузі переважно зосереджені на негативному аспекті людської участі в системі, незважаючи на те, що ІМО спеціально вказує на важливість людського елемента в запобіганні морським аваріям.

Висновок. Проведене дослідження виявило, що широко поширене твердження про

80 % вплив людського елемента на морські аварії не має достатнього наукового обґрунтування. Результати оригінальних досліджень показують значні розбіжності в оцінках — від 14,9 % до 100 %, що пов'язано з відмінностями в застосовуваних методологіях і систематизаціях. Спостерігається тенденція до спрощення складного феномена до єдиного числового показника, ігноруючи системний характер морських подій. Для підвищення безпеки мореплавства необхідний комплексний підхід, що враховує не тільки негативні аспекти людської участі, а й роль людини як захисного бар'єру в запобіганні аваріям. Існуючий міф про 80 % вимагає перегляду для формування більш ефективних стратегій морської безпеки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wrobel K. Searching for the origins of the myth: 80 % human error impact on maritime safety // *Reliability Engineering & System Safety*. 2021. Vol. 216.
2. Rothblum A. M. Human error and marine safety // *National Safety Council Congress and Expo*. Orlando, FL, 2000.
3. Gordon R. P. E. The contribution of human factors to accidents in the offshore oil industry // *Reliability Engineering & System Safety*. 1998. Vol. 61. P. 95–108.
4. Baker C. C., Seah A. K. Maritime accidents and human performance — the statistical trail // *MARTECH*. 2004. P. 225 — 239.
5. Wagenaar W. A., Groeneweg J. Accidents at sea: multiple causes and impossible consequences // *International Journal of Man-Machine Studies*. 1987. Vol. 27. P. 587–598.
6. UK P&I Club. Analysis of major claims: ten-year trends in maritime risk. 1999.
7. Reason J. Human error. Cambridge : Cambridge University Press, 1990.

СУЧАСНА БІОЛОГІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ, ЛЬЯЛЬНИХ ВОД

Чабан В.О., Кущенко Ю.О.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Протягом багатьох років зростає антропогенне навантаження на водні ресурси, одна з головних причин — це хижацьке відношення людини до природи, концентрації забруднюючих речовин у воді з кожним роком збільшуються, одна з головних причин це несанкціоновані викиди з суден льяльних та промивних вод при проведенні різних технологічних операцій на судні, а також аварійні викиди від промислових підприємств.

При проведенні приймання вантажу вантажні відсіки судна очищаються від попереднього вантажу та промиваються забортною водою і зберігаються в відповідних ємностях при цьому здаються в портові очисні споруди для очищення. Законодавчі та нормативні акти, які регулюють водні ресурси в більшій частині не працюють, одна з головних причин це недостатнє фінансування при проведенні наукових робіт із обґрунтування кордонів господарської діяльності підприємств [3].

Актуальність досліджень. За останні два-три десятиліття людство до такої міри забруднило океан, що вже зараз важко знайти такі місця у Світовому океані, де не спостерігалися б сліди активної діяльності людини [4]. Океан використовується не тільки для видобутку біологічних, мінеральних ресурсів, але і служить простором для розвитку судноплавства, а також є лікувально-оздоровчим середовищем [5]. Таким чином, океан віддає людству всі свої багатства, тому в даний час стоїть проблема його раціонального використання. Відповідно до закону динамічної природної рівноваги водна система постійно змінюється внаслідок кліматичних та річних коливань. Тому загрозу для екосистеми слід чекати від антропогенного середовища, ця загроза може виникнути влітку, коли температура води різко зростає, тому в регіоні створюється несприятлива тенденція зростання забруднених вод у загальному обсязі відведення [6].

Водні ресурси є первинним чинником життєзабезпечення людства, тому вода повинна самоочищатися, але часто це не відбувається з причин недбалого ставлення населення Землі до природних ресурсів. В останній період часу в науці сформувалося точка зору, згідно якої морські організми можуть не тільки накопичувати шкідливі речовини, але й синтезувати наприклад з сирої нафти, коли це підтвердиться, то це буде проблемою для всього екологічного середовища [7]. При випаровуванні та розчиненні вуглеводнів у воді, вони піддаються інтенсивному фотохімічному і біологічному окисленню, при цьому для окислення 1л нафти необхідно стільки кисню, скільки міститься в 400000 л води. Усе це знижує фауну морського середовища прибережної зони, від фактору зниження вмісту кисню у воді [8].

У водоймі вуглеводні акумулюються в мулі, які потім є джерелом його хронічного забруднення. При зростанні температури води у водоймі токсична дія вуглеводнів посилюється [9]. Таким чином, антропогенне навантаження на водойми постійно зростають. Відсутність обігових коштів на підприємствах перешкоджає відновленню та модернізації очисних споруд на підприємствах різної форми володіння. Виробничі стічні води очищають разом із побутовими, але якщо концентрація забруднюючих речовин перевищує допустиму або стічні води містять високотоксичні речовини, то такі води попередньо очищають на очисних спорудах відповідних підприємств, установ і тільки після цього скидають у загальні очисні споруди. Перед скиданням очищених стічних вод у природне середовищем їх обов'язково знезаражують за допомогою хлору [10].

Постановка задачі. Розробити біологічну технологію очистки стічних, льяльних вод.

Результати досліджень. Для проведення дослідження взято водну поверхню в 30 га, де було систематичне викидання стоків від суден та промислових підприємств в р. Дніпро. Для очищення води в водоймі була взята Ейхорнія, водяний гіацинт (*Eichornia crassipes*, раніше *E. speciosa*), багаторічна трав'яниста водна рослина родини понтедерієвих. Ранньою

весною в даній водоймі були взяті аналізи води, дані приведені у таблиці 1.

Таблиця 1 — Вміст забруднювальних речовин у водоймі ранньою весною

Зважені речовини, мг/л	1100
Біологічне споживання кисню, мг O ₂ /л	850
Хімічне споживання кисню, мг O ₂ / л	1200
Амонійний азот, мг / л	130

Згідно з варіантом дослідження відбулося відстоювання води у відстійнику протягом місяця, після чого були взяті проби води та визначений вміст забруднювальних речовин, які були присутні у воді. Вміст токсичних речовин у воді (після відстоювання) значно знизився, амонійний азот — 125, нітрати — 3,85 мг/л.

Потім в цю водну ділянку було висаджено ейхорнію, яка росла протягом року вегетації. Проводились аналізи води на різних періодах розвитку рослини ейхорнії товстоножкової. Стан рослини під час очищення стоків змінювалась у залежності від багатьох факторів - як концентрації різних інгредієнтів, температури води і повітря, кисневої забезпеченості, освітленості.

Таблиця 2 — Визначення показників забруднювальних речовин у воді в залежності від різних способів очищення

Контрольний показник води	До очистки водойми (після відстоювання)	Після очистки води ейхорнією
ХПК, мгO ₂ /л	30,3	7,0
БПК, мгO ₂ /л	12,6	5,4
Жорсткість, мг-екв/л	2,6	2,0
Хлориди, мг/л	23,6	12,5
Сульфати, мг/л	77,0	39,1
Фосфати, мг/л	1,2	0,3
Нітрати, мг/л	4,1	0,25
Амонійний азот мг/л	5,0	0,96
Звішені, мг/л	220,0	39,0
Сухий залишок, мг/л	420,5	10,4

Відповідно до даних і таблиці 2, що вміст забруднюючих речовин у воді із застосуванням водної тропічної рослини ейхорнії знизився в порівнянні з варіантом до очистки водойми (після відстоювання), так згідно з цим хлориди після відстоювання води становили 23,6, після очищення води ейхорнією вони знизились на 11,1 мг/л, сульфати до очищення — 77,0, — очищення — 37,9 мг/л.

Таблиця 3 — Результати аналізів рослинних зразків ейхорнії товстоножкової по періодах відбору

Показники якості біологічних зразків	Період відбору зразків під час вегетації		
	25.05	12 .07	29.08
Вологість, %	25,0	26,3	2,0
Сирий протеїн, %	34,7	35,98	30,83
Фосфор, %	1,32	1,39	1,12
Кальцій, %	1,63	1,72	1,71
Сира зола, %	20,12	21,10	19,76
Мінеральна домішка, нерозчинна в HCl, %	1,02	2,60	2,30
Каротин, мг / кг	11,46	22,70	60,02
Сира клітковина, %	7,91	12,26	13,34
Нітрати, мг / кг	87,30	81,90	69,30
Сирий жир, %	1,73	1,70	1,47

Після вегетації рослин проводилося дослідження біологічних зразків ейхорнії,

попередньо висушених до сухого стану — результати аналізів дані в таблиці 3. Вміст речовин в рослині визначався на суху речовину — нітрати склали на першому місяці віку рослин — 87,30, другому — 81,90, третьому — 69,30 мг / кг, сира клітковина — 7,91–12,26 — 13,34 %.

Висновки. Наукові дослідження, показали, що очищення водного середовища від вмісту токсикантів в водному середовищі за допомогою тропічної рослини ейхорнії товстоножкової відбулося, кількість хлоридів, сульфатів, фосфатів, нітратів знизилась, В подальших наукових дослідженнях при утворенням при очищенні стічних вод активного мулу, який можна використовувати як флокулянти, точніше біофлокулянта як добрива.

Надлишкова кількість токсикантів у воді показали, що кількість хлоридів, сульфатів, фосфатів, нітратів суттєво знизилась за допомогою тропічної рослини ейхорнії. В подальшому в перспективі будуть вивчені методи біологічного очищення виробничих стічних вод, що мають марганець, залізо, цинк в воді з утворенням при очищенні стічних вод надлишкового активного мулу, який можна використовувати як флокулянти, точніше біофлокулянта.

ЛІТЕРАТУРА

1. Schwer C., Clausen J. Vegetative filter treatment of dairy milkhouse wastewater J. Environ. Qual. — 1989. — N4. — P. 446–451.
2. Sen Asit K., Mondal Nitya G. Removal and uptake of copper (II) by salvinia natans from wastewater // Water, Air and Soil Pollut. — 1990. — N1–2. — P. 1–6.
3. Luesk G. W. A growing interest in wastewater plants // Waste Age. — 1990. — N6. — C. 87–88, 92.
4. Heidmann Torsten, Henke Gustav A. Reinigung industrieller Abwasser durch chemischbiologische Verfahren // WLB: Wasser Luft und Boden. — 1990. — N1–2. — C. 26–27.
5. Эйно́р Л. О., Дми́триева Н. Г. Поглощение фосфора из природных вод полупогруженными макрофитами (на примере манника) // Водн. ресурсы. — 1988. — №4. — С. 130–136.
6. Рыженко Б. Ф. Эйхорния — кому мы обязаны нефтью и газом // Кавказская здравница. — 1991. — №2. 58 с.
7. Токарева Н. Известия науки: Эйхорния укротительница гептила // Экологияи жизнь. — 1999. — №4. — С. 5–7.
8. Кононцев С. В. Технологія біологічного очищення стічних вод молокозаводів: Дис. канд. техн. наук: 05.17.21 / Національний технічний унт України «Київський політехнічний ін т». — К., 2006. — 158 с.
9. Мітченко Т. Ефективний метод очищення води // Харчова і переробна промисловість. — 1998. — № 10. — С. 24–25
10. Никифоров Л. Использование фильтров для очистки производственных сточных вод // Мясная индустрия. — 2001. — № 1. — С. 52–54

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ЧЛЕНІВ ЕКІПАЖУ СУДНА В УМОВАХ ВПЛИВУ РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ РЕЙСУ

Чабан В.О., Безкровний В.О., Кириченко К.В.

Херсонська державна морська академія

(Україна)

Вступ. За оптимальних мікрокліматичних умов в організмі людини, відповідно до механізмів терморегуляції, підтримується постійна температура тіла (36,6 °С). Кількість тепла, що утворюється в організмі, залежить від фізичного навантаження кожного члена команди під час виконання відповідної роботи на судні, а рівень тепловіддачі — від мікрокліматичних умов виробничого середовища. За високої температури навколишнього середовища значна частина тепла витрачається на випаровування через шкіру. При цьому організм зневоднюється, що призводить до порушення обміну речовин.

У машинно-котельному відділенні (МКВ) судна підтримується штучний мікроклімат. Вологість повітря впливає на самопочуття та виконання відповідальних операцій, а також сприяє поліпшенню тепловіддачі. Однак надмірно низька вологість викликає пересихання слизових оболонок дихальних шляхів. Для забезпечення допустимих параметрів мікроклімату на виробництві впроваджується механізація важких робіт, обов'язкова наявність припливно-витяжної вентиляції з механічною витяжкою, а також допоміжне кондиціювання повітря. Фізіологічно оптимальна відносна вологість становить 40–60%, допустиме значення — не більше 75%. Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі — СОЛАС-74 — спрямована на захист життя і здоров'я людей, які працюють у морі [1].

Актуальність досліджень. Кліматичні умови є головними санітарно-гігієнічними факторами охорони праці на судні. Вони характеризуються температурою, відносною вологістю, швидкістю руху повітряних мас у робочій зоні, а також тепловим випромінюванням від нагрівальних поверхонь, що суттєво впливає на самопочуття і працездатність людини. У дослідженні [2] в результаті опитування моряків виявлено що рівень психологічного стресу, спричиненого вібрацією становить 80,6%, шумом — 71,8%, теплом — 45,7%. При цьому створення нормальних кліматичних умов є одним із важливих першочергових завдань.

Постановка задачі. Розробити нові технічні рішення, які дозволять оптимізувати параметри мікроклімату в МКВ, знизити негативний вплив несприятливих умов на екіпаж та підвищити ефективність виконання робіт.

Результати досліджень. У реальних умовах плавання (Середземне море) температура в МКВ влітку становить 38–42 °С (при нормі 18–22 °С, табл. 1), взимку — 18–22 °С (при нормі 17–19 °С, табл. 1). Відносна вологість у літній час становить 80–85% (при нормі 40–60%, табл. 1), а взимку — 50–55% (при нормі 40–60%, табл. 1). Система примусової вентиляції включає два припливних вентилятори потужністю кожен 1500 м³/год і два витяжних вентилятори з продуктивністю 1200 м³/год кожен. Суднова установка складається з двох головних двигунів марки 48 NVD потужністю 1400 кВт кожен і трьох ВДГ марки КА492 потужністю 180 кВт кожен. Таким чином, у реальних умовах спостерігаються порушення параметрів метеорологічних умов у МКВ.

З метою створення нормальних умов праці для персоналу встановлені оптимальні та допустимі норми виробничого мікроклімату, які нормуються з урахуванням пори року, категорії та тяжкості виконуваних робіт, а також надлишкового тепла.

Для систем кондиціювання повітря, що працюють із рециркуляцією, частка використання повітря в літньому режимі роботи МКВ допускається не більше 80%, а в

зимовому – не більше 50% від необхідної кількості при подачі зовнішнього повітря.

При визначенні впливу кліматичних умов на організм людини враховують так звану терморегуляцію організму, під якою розуміють сукупність усіх фізіологічних факторів, що забезпечують процес теплообміну між організмом і зовнішнім середовищем, а також підтримання температури тіла на постійному рівні (36,6 °C) незалежно від зовнішньої температури.

Таблиця 1 — Оптимальні та допустимі параметри метеорологічних умов у виробничих приміщеннях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С						Відносна вологість %		Швидкість руху, м/с	
		Опти-мальна	Допустима				Опти-мальна	допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більше	Опти-мальна	Допустима на робочих постійних місцях і непостійних	
			верхня межа		нижня межа						
			на робочих місцях								
		постійна	непостійна	постійна	непостійна						
Холодний	Легка -Іа	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	Не більше 0,1	
	Легка -Іб	21-23	24	25	20	17	40-60	75	0,1	Не більше 0,2	
	Середньої тяжкості - Іа	18-20	23	24	17	15	40-60	75	0,2	Не більше 0,3	
	Средньої тяжкості - Іб	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	Не більше 0,4	
	Тяжкості -ІІІ	16-18	19	20	13	12	40-60	75	0,3	Не більше 0,5	
Теплий	Легка - Іа	23-25	28	30	22	20	40-60	55	0,1	0,1-0,2	
	Легка -Іб Середньої тяжкості -Іа Средньої тяжкості -Іб	22-24	28	30	21	19	40-60	60	0,2	0,1-0,3	
		21-23	27	29	18	17	40-60	65	0,3	0,2-0,4	
		20-22	27	29	16	15	40-60	70	0,3	0,2-0,5	
		18-20	26	28	15	13	40-60	75	0,4	0,2-0,6	
	Тяжка -ІІІ							75 (при 24 ⁰ С та нижче)			

Людина в нормальних умовах постійно віддає тепло в навколишнє середовище. Із загальної кількості теплової енергії при температурі 18–20 °C розподіл тепловтрат виглядає так:

- на випромінювання (радіацію) — 45%;
- на випаровування (потовиділення) — 25%;
- на конвекцію — 30%.

Таке розподілення тепловтрат вважається найбільш оптимальним.

На стан організму в умовах підвищених температур значний вплив має вологість повітря. При температурі 16–20 °С оптимальною є вологість повітря на рівні 45%. Підвищення вологості до 80% викликає неприємні відчуття, а вологість вище 85% призводить до порушення терморегуляції організму. Негативний вплив на організм людини має і знижена вологість (нижче 30%).

На терморегуляцію організму також впливає швидкість руху повітряних мас. Коли температура повітря перевищує температуру тіла, підвищена швидкість руху повітря може призводити до перегріву організму. При низьких температурах посилений рух повітря збільшує тепловіддачу від тіла людини.

Оптимальні метеорологічні параметри в робочих зонах судна (табл. 1) нормуються відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 [3]. Розрізняють приміщення з незначним виділенням тепла (менше 20 ккал/м³·год) і приміщення зі значним виділенням тепла (більше 20 ккал/м³·год).

Об'єм припливно-витяжної вентиляції в (МКВ) для відведення надлишкового тепла визначається за формулою:

$$V_{\tau} = V_0 + \frac{Q - 0,29 \cdot V_0 \cdot (t_0 - t_H)}{0,29 \cdot (t_{yx} - t_H)}$$

де: V_{τ} — об'єм зовнішнього повітря, яке подається в приміщення при розрахунку за надлишковим явним теплом, м³/год;

V_0 — об'єм повітря, що видаляється з робочої зони приміщення місцевими повітродувками для технологічних потреб, м³/год;

$Q_{\text{я}}$ — надлишок явного тепла, ккал/м³·год;

t_0 — температура повітря, яке видаляється з робочої зони приміщення, °С ($t_0 = t_{\text{норм}}$);

t_H — температура зовнішнього повітря, що подається в приміщення, °С;

t_{yx} — температура повітря, що видаляється з приміщення за межами робочої зони, °С.

Примусова вентиляція в МКВ здійснюється з метою забезпечення оптимальних і допустимих параметрів метеорологічних умов, а також відведення надлишкового явного тепла.

Розроблено нове технічне рішення для очищення повітря робочої зони МКВ та забезпечення оптимальних і допустимих параметрів метеорологічних умов, суть якого полягає в наступному:

- атмосферне повітря не забирається ззовні приміщення МКВ і не викидається за його межі;
- очищення та обробка повітря МКВ проводиться в замкнутому робочому об'ємі МКВ;
- процес очищення та кондиціонування повітря МКВ здійснюється в комбінованому апараті (рис. 1).

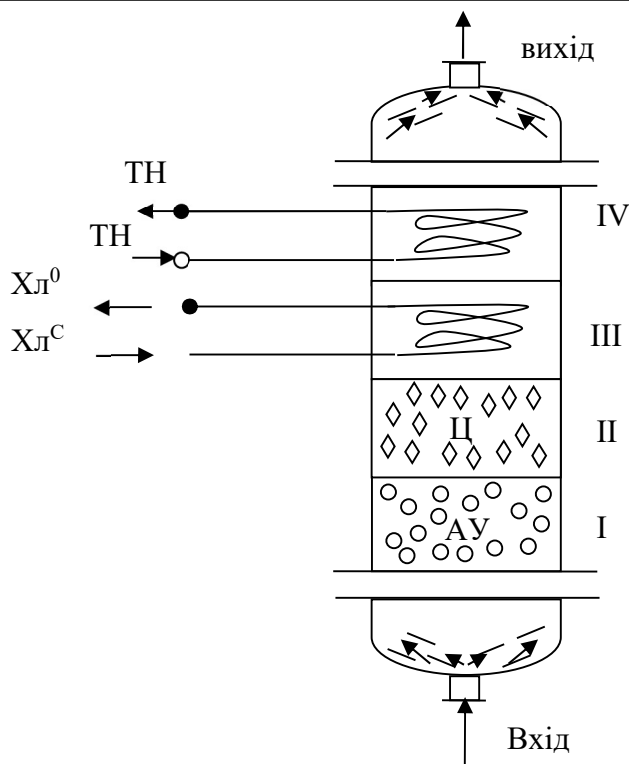


Рисунок 1 — Апарат для забезпечення оптимальних та допустимих параметрів мікроклімату у МКВ.

Стадії процесу обробки та очищення повітря в МКВ:

- I. Адсорбція парів масла та вуглеводнів палива, що містяться в повітрі МКВ, на активованому вугіллі (АУ).
- II. Хімічна адсорбція токсичних компонентів, які містяться у відпрацьованих газах СЕУ, із використанням хімічних сполук на цеоліті (Ц) першого покоління ($x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2 \cdot \text{Me}_n^Z \cdot \text{H}_2\text{O}$).
- III. Охолодження повітря робочої зони МКВ за допомогою холодоагенту (ХЛ) до оптимальних і допустимих меж температури та відносної вологості повітря.
- IV. Підвищення температури в робочій зоні МКВ за допомогою теплоносіїв (ТН) до оптимальних і допустимих значень температури та відносної вологості.

Під час реалізації процесу не виникає перепаду швидкості руху повітряних мас, а швидкість руху повітря в МКВ залишається близькою до нуля.

Висновки. Виявлено що параметри мікроклімату в машинно-котельному відділенні не відповідають нормативним вимогам. Розроблено ефективне, економічно та екологічно обґрунтоване нове технічне рішення, яке дозволяє забезпечити нормальні, безпечні та нешкідливі умови праці екіпажу в МКВ.

ЛІТЕРАТУРА

1. SOLAS. Consolidated text of the International Convention for the Safety of Life at Sea 1974. London IMO. 2004. 566p.
2. Oldenburg M, Felten C, Hedtmann J, Jensen HJ. Physical influences on seafarers are different during their voyage episodes of port stay, river passage and sea passage: A maritime field study. PLoS One. 2020 Apr 8;15(4):e0231309. doi: 10.1371/journal.pone.0231309. PMID: 32267889; PMCID: PMC7141673.
3. Oldenburg M, Felten C, Hedtmann J, Jensen HJ Physical influences on seafarers are different during their voyage episodes of port stay, river passage and sea passage: A maritime field study. 2020. PLOS ONE 15(4): e0231309. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231309>

СЕКЦІЯ:

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ
ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ**

SECTION:

**INFORMATION TECHNOLOGIES, SYSTEM ANALYSIS
AND MATHEMATICAL MODELLING OF COMPLEX OBJECTS**

MATHEMATICAL MODELING OF A MAINTENANCE SYSTEM FOR TECHNICAL OBJECTS CONSIDERING DEPENDENT FAILURES OF THEIR COMPONENTS

Busarova T.M., Hryshechkina T.S.

*Ukrainian State University of Science and Technologies
(Ukraine)*

Introduction. One of the modern methodologies for constructing systems for the maintenance of technical facilities is the risk-based maintenance (RBM) methodology for traction rolling stock. RBM combines both optimisation approaches to building maintenance systems and elements of condition-based maintenance (CBM) using preventive maintenance approaches.

The basic concept of RBM is the concept of ‘risk’ and its minimisation or maintenance at a given level. The concept of risk is widely used in the economic and technical fields.

Actual relevance of the research. The theoretical foundations for building rational systems for maintaining railway rolling stock are described in [1, 2]. According to [2], to determine the parameters of the maintenance system means to calculate the periods of any type of repair or inspection for each element (unit, assembly, system) of the locomotive. The main indicator of the effectiveness of the maintenance system is its cost. The cost of the maintenance system includes the cost of scheduled and unscheduled maintenance repairs. It is proposed to consider a rational maintenance system as a system of rolling stock maintenance in which the total cost of scheduled and unscheduled repairs is minimal, while also meeting the following condition: the total time spent in repair should be less than or equal to a certain predefined value. The solution to the formulated problem is given in [1, 2].

The methodology for determining a rational maintenance system was further developed in [3–5] by taking into account the influence of dependent node failures.

Statement of the problem. Dependent failures are understood as failures of elements, the direct or indirect cause of which is the failure or malfunction of another element. To assess the impact of dependent failures on the maintenance system and the life cycle cost of a locomotive, the following coefficient is proposed in [5]:

$$P_{30} = \frac{C_3}{C_{\text{непл}}} 100\%, \quad (1)$$

where $C_{\text{непл}}$ is the average cost of an unscheduled repair of an element;

C_3 — is the average cost of one unscheduled repair, taking into account dependent failures:

$$C_3 = C_{\text{пл}} + \sum_{i \in V} p_i C_{\text{пл}}^i + C_{\text{лг}}(t_{\text{тр}} + t_{\text{пр}}), \quad (2)$$

where $C_{\text{пл}}^i$ is the cost of one scheduled repair of the i -th dependent element;

p_i is the probability of dependent failure of the i -th element;

V is the set of dependent elements.

Results of the research.

The cost of the maintenance system includes the cost of repairs and elimination of the consequences of failures. For the entire life cycle of a technical facility, or for the period of operation between certain types of repairs, the cost of the maintenance system can be defined as the sum of the costs of performing maintenance and repair work and the costs of eliminating the consequences of failures:

$$F_{LCC} = \sum_{j=1}^n F_j^k + \sum_{i=1}^e F_i, \quad (3)$$

where $\sum_{j=1}^n F_j^k$ is the sum of costs for scheduled repairs or maintenance.

k is the type of repair (current, medium, overhaul);

n is the number of scheduled repairs for the period of operation;

$\sum_{i=1}^e F_i$ is the sum of costs for eliminating the consequences of failures, taking into account dependent failures.

e is the number of unscheduled repairs for the period of operation.

The optimisation problem of determining a rational system of locomotive maintenance for

the period of operation can be formulated as follows. It is necessary to determine a maintenance system in which the total costs of scheduled and unscheduled repairs are minimal, while also ensuring the following conditions the total time spent by the locomotive in repair must be less than or equal to a certain predefined value, and the total risk associated with the occurrence of failures does not exceed a predefined VaR limit:

$$\left(\frac{\sum_{j=1}^n F_j^k}{\sum_{i=1}^e F_i} \right) \rightarrow \min, R < VaR, \quad (4)$$

where R is the risk level;

VaR is the threshold risk level.

Using the computer algebra system MS Maple, a program was developed for determining rational maintenance intervals for components of a technical object, taking into account dependent failures.

Modeling results for the maintenance system of electric locomotive power network equipment considering dependent failures are shown in Figure 1.

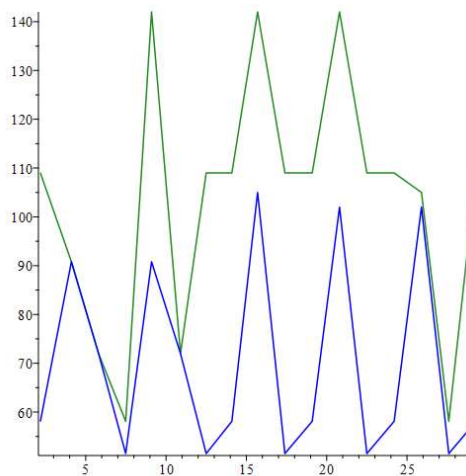


Figure 1 — Maintenance system

Modeling results with the risk level threshold VaR are presented in Figure 2.

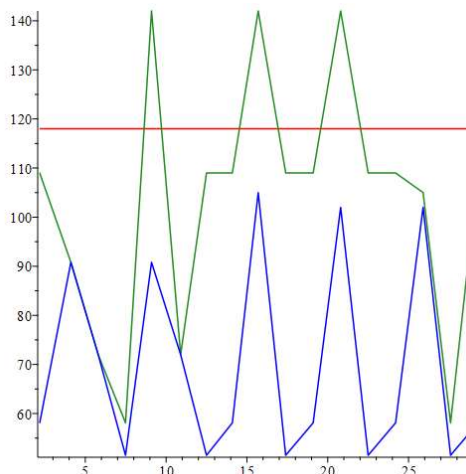


Figure 1 — Maintenance system considering risk level

Conclusion. The proposed calculation methodology can be used for comparison and evaluation of different maintenance systems for complex technical objects and for developing diagnostic systems for such objects.

REFERENCES

1. Bodnar, E. B. Improving operational reliability of locomotives by implementing a

- rational maintenance system (Ph.D. Thesis). Dnipro: DSUST, 2004. — 161 p.
2. Bosov P. A., Loza P. A. Theoretical foundations of rational maintenance of railway rolling stock: Monograph. Dnipro: Driant, 2015. — 252 p. ISBN 978-966-2394-15-3
 3. Hryshechkina T. Mathematical model of the rational maintenance system of railway transport technical objects. *Transport Systems and Transportation Technologies*. 2017. Iss. 14. P. 30-35. DOI: 10.15802/tstt2017/123165
 4. Choosing the system of locomotive maintenance in view of the effect of dependent failures / B. E. Bodnar, O. B. Ochkasov, T. S. Hryshechkina, E. B. Bodnar // *Science and Transport Progress*. — 2018. — No. 6 (78). — P. 47–58. DOI: 10.15802/stp2018/154823
 5. Hryshechkina T. S. Improving the maintenance system of railway transport technical objects considering dependent failures of their components (Ph.D. Thesis). Dnipro: DNUZT, 2021.

DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE COMPONENT FOR THE HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX OF TECHNICAL DIAGNOSTICS FOR RAPID DAMAGE DETECTION IN HEATING AND WATER SUPPLY SYSTEMS

*Vladimirsky A.A., Nedoseka S.A., Zvaritch V.M.,
Artemchuk V.O., Vladimirsky I.A., Kryvoruchko I.P.*

*G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of the NAS of Ukraine
(Ukraine)*

Introduction. Ensuring the resilience of critical infrastructure, including potentially hazardous facilities and installations subjected to high operational loads, is a pressing task requiring advanced diagnostic technologies. Reliable continuous monitoring systems capable of identifying and signaling early-stage damage play a crucial role in infrastructure safety. However, many facilities currently lack permanent monitoring capabilities, creating an urgent need for the development of effective and rapidly deployable diagnostic systems with robust software components.

Research Relevance. Critical infrastructure systems in Ukraine, especially heating and water supply networks, have become increasingly vulnerable due to extensive operational wear and exposure to military threats, significantly complicating timely maintenance and repair operations. To address these issues, technical diagnostic methods, particularly acoustic diagnostics, have become indispensable for early and accurate identification of leaks and structural damages, enabling proactive measures to maintain infrastructure resilience.

Problem Statement. The main objective of this research is the development of the software component of a specialized hardware-software diagnostic complex capable of quickly and precisely evaluating infrastructure integrity. The system must effectively handle acoustic signal processing, accurately localize damages, estimate residual operational resources, and adapt to challenging real-world conditions including significant noise interference.

Research Results. The developed software component of the hardware-software diagnostic complex (fig. 1) incorporates advanced algorithms for acoustic data processing, enabling real-time damage detection, localization, and integrity assessment even under challenging operational scenarios.

The diagnostic software integrates multiple existing diagnostic tools and enhances their capabilities:

- **Acoustic Emission Systems (EMA):** The EMA systems provide continuous monitoring and damage assessment based on acoustic emission methods, facilitating quantitative evaluation of material degradation and residual resource estimation [1].
- **RASTR-2V System:** This acoustic diagnostic system is designed for probing pipelines through low-frequency acoustic signals. The system includes specialized software for generating probing signals, recording acoustic responses, and accurately determining leak locations based on wave propagation analysis [2].
- **Thermo-Acoustic Leak Detector A-10T3:** Developed specifically for branched underground pipeline systems, the A-10T3 combines acoustic and thermal detection methods to reliably identify leaks under complex operational conditions, including high wear and inadequate valve performance [3].

The software of the hardware-software complex (see Fig. 1) is developed using Pascal language in the Delphi environment (for PC-compatible laptops), and in C and Assembly languages (for microcontrollers of individual devices and remote units) [4, 5].

The implemented algorithms are based on diagnostic methods for underground pipelines developed by the authors [6, 7, 8].

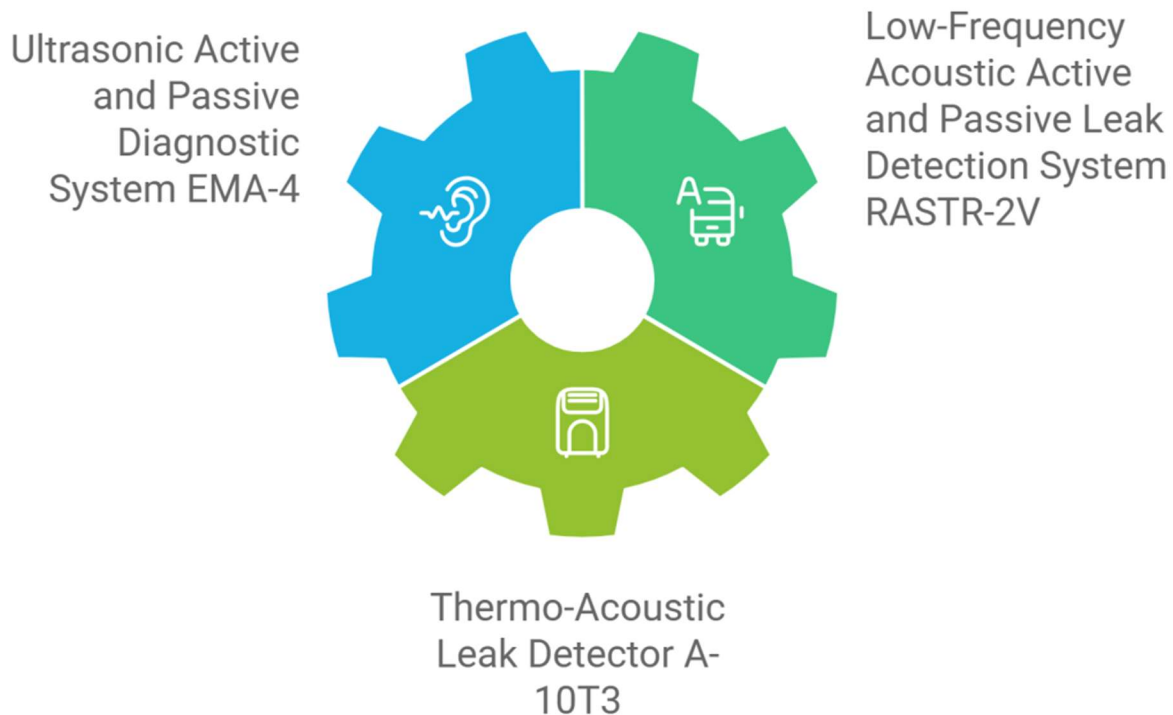


Figure 1 — Structure of the hardware-software complex for Pipeline Damage Detection

The diagnostic software effectively manages and processes data obtained from these systems, allowing rapid interpretation of acoustic signals despite low signal-to-noise ratios and complex interference patterns. It also accurately models the acoustic wave propagation to pinpoint precise locations of detected anomalies, significantly reducing response times and improving maintenance planning.

Furthermore, the developed software enables automated quantitative assessments of detected damages, supporting decision-making regarding necessary maintenance actions and enhancing overall infrastructure resilience.

Conclusions. The software developed as part of this hardware-software diagnostic complex significantly improves diagnostic accuracy and efficiency for critical infrastructure systems. By leveraging advanced acoustic diagnostic techniques combined with sophisticated analytical algorithms, the system provides rapid, precise, and reliable diagnostics, essential for ensuring the resilience of infrastructure subjected to operational wear and external threats.

The authors express their sincere gratitude to the National Research Foundation of Ukraine for its financial support, which enabled the research within the framework of project No. 2023.04/0022, «Development of a Hardware-Software Complex and Methodology for Rapid Detection of Damages in Heating and Water Supply Systems Considering Their Wear and Tear and Military Impacts».

REFERENCES

1. Nedoseka, S.A., Nedoseka, A.Y. (2010). Comprehensive Assessment of Damage and Residual Life of Metals with Operational Wear. *Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing*, 1, p. 9–16.
2. Vladimirsky, A.A., Vladimirsky, I.A., Kryvoruchko, I.P., Savchuk, N.P. (2017). Development of Modernized Low-Frequency Diagnostic System for Pipelines RASTR-1M. *Modeling and Information Technologies*, 78, p. 40–45.
3. Vladimirsky, A.A., Vladimirsky, I.A., Kryvoruchko, I.P. (2020). Thermoacoustic Leak Detector A-10T3. *Proceedings of the 38th Scientific-Technical Conference of Young Scientists and Specialists at the G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering NAS of Ukraine*,

p. 72.

4. Vladimirsky, A.A., Vladimirsky, I.A., Artemchuk, V.O. (2022). Computer Program «Multichannel Recorder 'Vibrologger-3.02' of the RASTR-2V System for Detecting Leaks in Underground Pipelines». Certificate of Registration of Copyright to a Service Work No. 132954, Ukraine.

5. Vladimirsky, A.A., Vladimirsky, I.A. (2021). Parametric Correlation Leak Detector K-10.5M3. Operation Manual. K105M3-1.00.04 KE. Certificate of Registration of Copyright to a Service Work No. 110118, Ukraine.

6. Vladimirsky, A.A., Vladimirsky, I.A. (2021). Parametric Correlation Method for Determining the Coordinates of Pipeline Damages. Utility Model Patent No. 149956, Ukraine.

7. Vladimirsky, O.A., Vladimirsky, I.A. (2021). Method for Determining the Coordinates of Pipeline Inhomogeneities. Utility Model Patent No. 153487, Ukraine.

8. Vladimirskyi, O.A., Vladimirskyi, I.A. (2024). Parametric Correlation Method for Determining the Actual Velocity of Hydraulic Shock Acoustic Wave Propagation in Pipelines. Patent Application No. u202405043 dated October 25, 2024, submitted by G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of NAS of Ukraine.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ КОМБІНОВАНОГО СУДНОВОГО ТУРБОКОМПРЕСОРА

Вороненко С.В.¹, Тимофєєв К.В.¹, Лебеденко Ю.О.²

¹*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

²*Київський національний університет технологій та дизайну
(Україна)*

Вступ. Сучасні суднові енергетичні системи потребують ефективних рішень для оптимізації процесів наддування двигунів внутрішнього згоряння. У цьому контексті особливого значення набуває керування турбокомпресорами, зокрема комбінованого типу, що використовують як енергію викидних газів, так і додатковий привід від асинхронної машини.

Відомі системи керування турбокомпресорними установками забезпечують точну регуляцію параметрів наддування за допомогою обертового частотного перетворювача, що дозволяє адаптувати роботу компресора до змінних експлуатаційних умов, таких як навантаження двигуна, температура вихлопних газів і баланс енергоспоживання [1].

Важливу роль у функціонуванні системи відіграє інформаційно-вимірювальна частина, яка не тільки забезпечує передачу вимірних параметрів у керуючий модуль, а й виконує діагностику стану обладнання на основі аналізу отриманих даних. Використання інтелектуальної обробки інформації, зокрема нейронних мереж та алгоритмів нечіткої логіки дозволяє прогнозувати потенційні відхилення та оперативно коригувати робочі параметри, що підвищує надійність і ефективність роботи турбокомпресора.

Актуальність досліджень. Таким чином, розробка нових підходів до створення інформаційно-вимірювальних систем турбокомпресорних установок, удосконалення методів моніторингу, аналізу та адаптивного керування є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню ефективності суднових двигунів і забезпечить їх стабільну роботу в широкому діапазоні експлуатаційних умов.

Постановка задачі. Задачею дослідження є аналіз можливостей удосконалення систем керування комбінованими турбокомпресорами суднових двигунів шляхом оптимізації інформаційно-вимірювальної частини.

Результати досліджень. Система керування турбокомпресором суднового двигуна забезпечує необхідний рівень наддування як за рахунок енергії викидних газів, так і за допомогою асинхронної машини, яка отримує живлення від частотного перетворювача. Її основна функція – підтримка оптимального режиму роботи турбокомпресора, відповідного до частоти обертання двигуна, його навантаження та параметрів викидних газів.

Управління здійснюється шляхом адаптації параметрів частотного перетворювача, що дозволяє регулювати частоту обертання асинхронної машини і, відповідно, компресора. Це дозволяє забезпечити стабільне наддування в межах визначених співвідношень тиску та масової витрати повітря, що сприяє більш повному згорянню палива і підвищенню ефективності двигуна.

Додатковим фактором, що впливає на режим роботи турбокомпресора, є баланс електроенергетичної системи судна. Коригування параметрів регулятора здійснюється на основі поточного рівня виробленої і спожитої потужності. Окрім цього, система враховує змінні експлуатаційні умови, такі як температура навколишнього середовища та вологість повітря, що дозволяє забезпечити гнучке налаштування режимів роботи.

Турбокомпресор має комбіновану структуру, яка включає компресор, турбіну та асинхронну машину. Остання виконує дві основні функції: у двигуновому режимі вона додає обертальний момент до компресора, а в генераторному — відбирає надлишкову потужність з турбіни. Турбіна та компресор з'єднані з випускним і впускним колекторами головного двигуна, що забезпечує ефективний перерозподіл енергії.

Робота компресора базується на енергії вихлопних газів, які обертають турбінне колесо. Вхід компресора підключений до очищувача повітря, що фільтрує потік перед його подачею у систему, а вихід — до охолоджувача, який відводить надлишкове тепло. Це дозволяє забезпечити ефективну роботу турбокомпресора в різних експлуатаційних умовах.

У випадку, коли керування частотним перетворювачем неможливе (наприклад, в аварійних режимах суднової електроенергетичної системи), система використовує перепускний клапан. Він дозволяє знизити тиск у напірному каналі компресора та збільшити потік повітря через систему, підтримуючи необхідний режим роботи.

Така система керування забезпечує гнучке регулювання режиму наддування, що сприяє підвищенню ефективності роботи турбокомпресора та двигуна внутрішнього згоряння. Вона оптимізує витрати енергії, покращує продуктивність двигуна, а також забезпечує стабільну роботу в широкому діапазоні експлуатаційних умов.

З іншого боку, сучасні системи керування турбокомпресорами суднових двигунів потребують високоточної інформаційно-вимірювальної частини, яка забезпечує не лише контроль робочих параметрів, а й діагностику стану обладнання [2].

Основною задачею системи є підтримка ефективного наддування двигуна за рахунок комбінованої роботи турбіни та асинхронної машини. Оскільки керування здійснюється на основі складних взаємозв'язків між параметрами двигуна, важливу роль відіграє безперервний моніторинг таких величин, як тиск у впускному колекторі, температура вихлопних газів, частота обертання компресора та навантаження двигуна. Дані параметри визначаються через систему датчиків, інформація з яких надходить до модуля керування.

Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи моніторингу стану турбокомпресорної установки наведена на рис. 1.



Рисунок 1 — Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи моніторингу стану комбінованого турбокомпресора

Пропонована інформаційно-вимірювальна система виконує дві основні функції: передача даних до керуючого модуля та аналіз отриманої інформації для оцінки технічного стану турбокомпресора.

Для отримання точних даних використовується цілий комплекс вимірювальних перетворювачів. Зокрема, тиск у впускному колекторі реєструється мембранним датчиком, а момент двигуна визначається шляхом вимірювання на валопроводі. Додатково, спеціалізовані терморезистивні датчики дають інформацію про температуру вихлопних газів та навколишнього середовища. Також у системі присутній датчик обертів, який

дозволяє оцінювати динамічні зміни швидкості роботи компресора.

Отримані дані обробляються у процесорі модуля керування. Спочатку аналогові сигнали перетворюються в цифрову форму за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Далі вони зіставляються з заздалегідь заданими параметрами, що зберігаються у пам'яті модуля. На цій основі здійснюється аналіз робочого стану турбокомпресора та вибір оптимальних параметрів керування.

Однією з ключових особливостей даної інформаційно-виміральної системи є застосування алгоритмів нечіткої логіки. Цей метод дозволяє проводити гнучкий аналіз даних, визначаючи не лише конкретні числові значення параметрів, а й їхні відносні відхилення [3]. Завдяки цьому можливе розпізнавання трьох основних станів турбокомпресора: нормального, з потенційним відхиленням або критично несправного.

Якщо в процесі аналізу система фіксує зміни, які можуть призвести до зниження ефективності роботи компресора, вона передає керуючі сигнали для корекції параметрів. Наприклад, у разі недостатнього наддування модуль управління може змінити частоту обертання асинхронної машини, збільшивши її вплив на компресор. У протилежному випадку, коли спостерігається надлишковий тиск, машина може працювати у генераторному режимі, відбираючи зайву енергію турбіни.

У аварійних ситуаціях, коли керування наддуванням через асинхронну машину неможливе, система активує перепускний клапан, який механічно регулює тиск у напірному каналі. Інформаційно-виміральна система контролює його роботу, реєструючи показники тиску та витрати повітря. Завдяки постійній передачі даних у модуль керування забезпечується точне налаштування положення клапана відповідно до змін умов експлуатації.

Важливо зазначити, що інформаційно-виміральна частина також інтегрована у загальну систему моніторингу судна. За допомогою промислового мережевого інтерфейсу вона передає інформацію про стан турбокомпресора в загальну систему контролю двигуна, що дозволяє здійснювати віддалене діагностування, коригування параметрів та аварійне скидання налаштувань.

Висновки. Реалізація запропонованої інформаційно-виміральної системи дозволяє значно підвищити ефективність роботи турбокомпресора, забезпечити прогнозування потенційних несправностей та оптимізувати процеси керування. Вона виконує функцію не лише засобу збору даних, а й інтелектуального аналізу технічного стану обладнання, що сприяє безперервному підвищенню надійності та продуктивності суднового двигуна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вороненко С. В., Субботін О. В., Лебеденко Ю. О., Рудакова Г. В. Аналіз ефективності роботи системи керування судновою комплексною електроенергетичною турбокомпресорною установкою з урахуванням впливу зовнішніх факторів. Прикладні питання математичного моделювання. 2020. Т. 3, № 2.1. С. 60–71. DOI: <https://doi.org/10.32782/KNTU2618-0340/2020.3.2-1.5>
2. Вороненко С.В., Короленко Е.А. Інтегровальний підхід до діагностики суднових турбогенераторів. IV осінні наукові читання: збірник наукових публікацій «Велес» за матеріалами міжнар. наук.-практ. конф. м. Київ, 12 жовт. 2015 р. Київ. 2015. 1 частина. С.55-56.
3. Castro P. F., de Lira G. R. S., Vilar P. B., da Costa E. G., Carvalho F. B. S. Fuzzy Inference System Development for Turbogenerator Failure Diagnosis on Floating Production Offloading and Storage Platform. *Energies*. 2024. Vol. 17, no. 2. P. 392–407. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17020392>.

СТРУКТУРНІ МОДЕЛІ ТИПОВИХ СИСТЕМ АВІОНІКИ

Єнчев С. В.¹, Тачинін Є. В.²

¹Державний університет «Київський авіаційний інститут»

(Україна)

²АТ «АНТОНОВ»

(Україна)

Вступ. Під авіонікою маємо на увазі інтегрований комплекс бортового електронного обладнання ЛА, який здійснює збір даних про навколишнє середовище, стан самого апарату, його вузлів і блоків, стан систем, вирішуючих цільових завдань польоту, обробку зібраної інформації бортовим обчислювачем, а також видачу результатів обробки операторам для прийняття рішення або передачу сигналу безпосередньо на виконавчі пристрої [1, 2].

Актуальність дослідження обумовлена зростанням вимог до авіаційних систем, що стосуються їхньої надійності, безпеки, ефективності та екологічності. У сучасних стандартах авіації, алгоритми управління конфігурацією ІМА повинні відповідати високим вимогам до стійкості, адаптивності та відповідності міжнародним нормам. Зокрема, критично важливим є забезпечення безперервної роботи основних функціональних систем у разі відмови одного або декількох модулів. Удосконалення авіоніки зв'язується, з одного боку з розвитком самої авіації, підвищення її ролі як транспортного засобу і як засобу, що дозволяє досить ефективно вирішувати різні військові завдання, а з другого — з якісними змінами елементної бази електроніки і механіки.

Постановка задачі. Авіоніка четвертого покоління має настільки значну вагу в процесі керування польотом, що її збої і відмови призводять, як мінімум, до ускладнень у виконанні польотного завдання, а в окремих випадках можуть вплинути на працездатність, і навіть життєздатність як літального апарату, так і членів екіпажу. Дуже поширений спосіб забезпечення необхідної надійності радіоелектронних компонентів, за рахунок резервування підсистем, в реальних умовах обмежується внаслідок існування природніх обмежень на масогабаритні характеристики та енергоспоживання обладнання [1, 3, 4]. Внаслідок цього задача раціонального вибору і використання апаратних і програмних засобів авіоніки, що забезпечують її відмовостійкість, є досить актуальною.

Загальна структура авіоніки. Узагальнена структура технічних засобів авіоніки наведена на рис. 1.

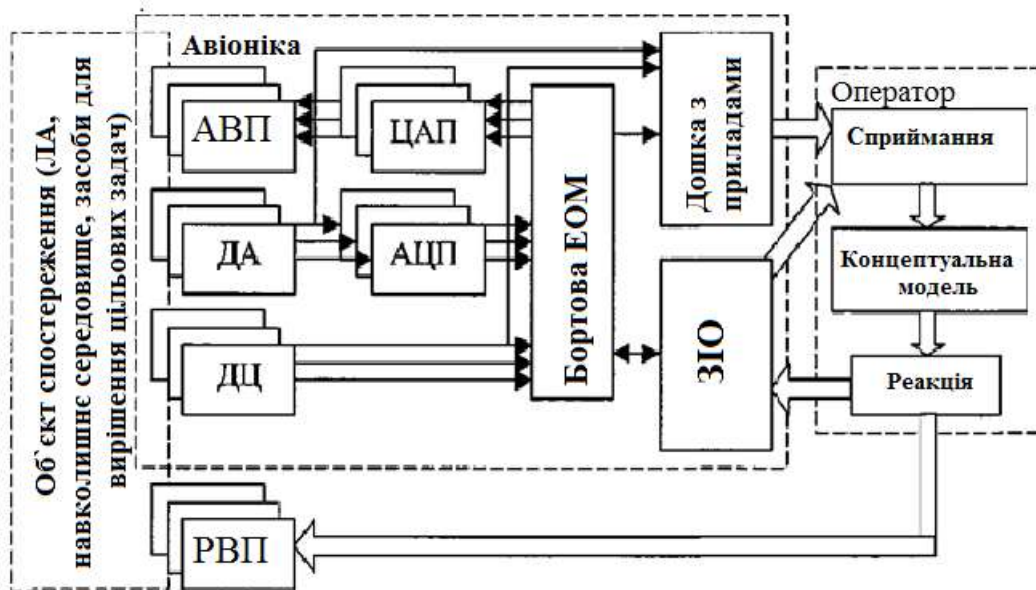


Рисунок 1 — Узагальнена структура технічних засобів авіоніки

До складу інтегрованого комплексу авіоніки входять:

- сенсорна система, що служить для вимірювання параметрів навколишнього середовища, інших систем літального апарату, орієнтації літального апарату в просторі, спеціального обладнання, вирішального цільового завдання польоту, і включає аналогові (ДА) і цифрові (ДЦ) датчики;
- аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), службовці для підготовки аналогової інформації, що надходить з ДА, до введення в бортову ЕОМ;
- бортова ЕОМ, під якою розуміється цифровий лічильно-вирішальний прилад, що виробляє обробку інформації з датчиків сенсорної системи по заздалегідь заданими алгоритмами, або система лічильно-обчислювальних приладів, об'єднаних в бортову локальну обчислювальну мережу;
- дошка з приладами, яка містить систему електронних, електрооптичних, механічних, електромеханічних і т.д. індикаторів і приладів, зосереджених на робочих місцях операторів і призначених для відображення інформації про стан контрольованих об'єктів;
- засоби інтерактивного обміну (ЗІО) оператора і авіоніки, представляючи пульти введення-виведення інформації з бортової ЕОМ і призначені для відображення результатів обробки інформації та введення рішень оператора для подальшого впливу на літальний апарат і спецобладнання;
- цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП), призначені для перетворення результатів обробки в сигнали, що подаються на автоматичні виконавчі пристрої;
- автоматичні і ручні виконавчі пристрої (АВП та РВП, відповідно), призначені для здійснення безпосередніх впливів на ЛА або спеціальне обладнання.

Модель конструкцій. Одним з важливих чинників, що забезпечують відмовостійкість авіоніки, є її конструкція, що забезпечує фізичну установку і механічний захист функціональних електронних блоків. В цілому конструкція авіоніки є типовою, що дозволяє сформувати її структуру, наведену на рис. 2. Як впливає зі схеми, структура всієї бортової електроніки є модульною, ієрархічною, що дозволяє максимально уніфікувати вимоги до електронних блоків за розмірами, електроживленням і стикуванням з іншими блоками.

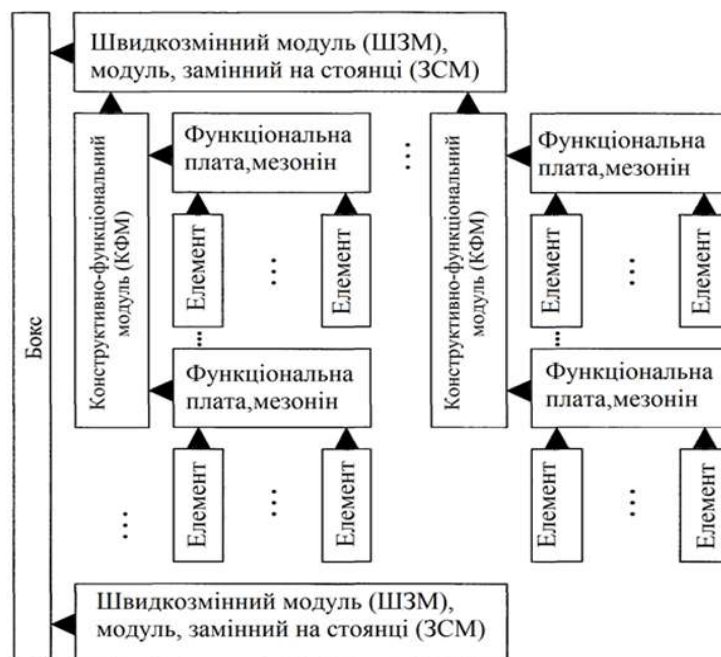


Рисунок 2 – Структурна модель конструкції

Основою структури є бокс, має автономне електроживлення і виконує функції базового конструктивного елемента. Бокс складається з модулів, які виконуються як

швидкозмінні або замінні на стійці модулі. Основною несучою конструкцією боксу є каркас, в якому розміщені:

- напрямні, що забезпечують механічну фіксацію положення модулів в каркасі і належне механічне з'єднування з'єднувачів;
- з'єднувачі для електричного підключення схеми боксу до фідера об'єкта;
- пристрій комутації, що містить оптоелектронні і напівпровідникові компоненти для організації передачі інформації по резервованим системним шинам [4].

Модель сенсорної системи. Основою сенсорної системи авіоніки є датчики (вимірювальні перетворювачі), якими називаються вузли і блоки, які перетворюють вимірювану фізичну величину в сигнал для подальшого його використання в якості первинної (вихідної) інформації при прийнятті рішень. Типова конструкція датчика з прямим виміром інформативного параметра x приведена на рис. 3, а. У ряді випадків більш високу точність забезпечує диференціальна схема вимірювання інформативного параметра, наведена на рис. 3, б. У будь-якому датчику можна виділити сприймаючий елемент (СЕ), перетворюючий елемент (ПЕ) і виконавчий елемент (ВЕ), на виході якого формується результат вимірювання y . У датчиках з диференціальною схемою є також джерело опорного сигналу (опорний елемент, ОЕ), який служить для формування деякого значення інформативного параметру z , з яким порівнюється вимірювана фізична величина. Іноді функції елементів поєднуються.

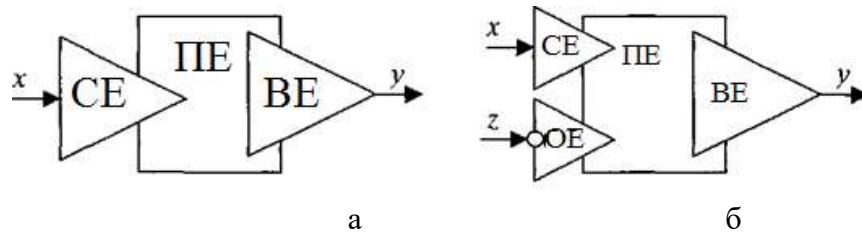


Рисунок 3 — Типова конструкція датчика: а — пряме вимірювання інформативного параметра; б — різницевий вимір інформативного параметра

Модель системи електроживлення. Система електроживлення є невід'ємною частиною авіоніки. В її завдання входить забезпечення безперебійного постачання електричної енергії необхідного виду всіх її систем. До бортових джерел електроживлення висуваються високі вимоги стабільності параметрів, а надійність компонентів системи електроживлення істотно впливає на технічний рівень і показники надійності всієї авіоніки в цілому [4].

У загальному випадку система електроживлення інтегрованого комплексу бортового обладнання включає первинні джерела електроживлення, який перетворює неелектричні види енергії в електроенергію, і вторинні блоки живлення, призначені для узгодження параметрів первинних джерел до вимог живлення споживачів електричної енергії. До первинних джерел відносяться генератори, акумулятори, наземні джерела, що підключаються до борту літального апарату під час стоянки, тощо. Типова структура вторинних блоків приведена на рис. 4.

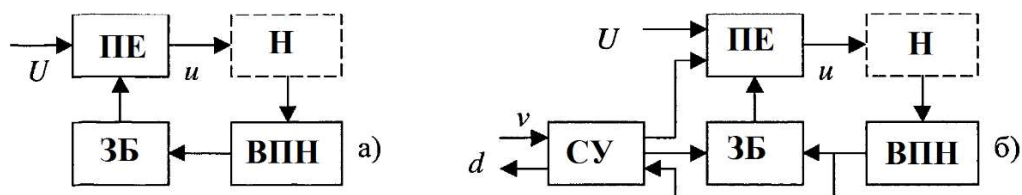


Рисунок 4 — Типові структури вторинних блоків живлення: а — некерованих; б — керованих

До складу будь-якого вторинного блоку живлення входять перетворювальний елемент (ПЕ), вимірювач параметрів навантаження (ВПН), засоби блокування (ЗБ).

Перетворювальний елемент формує вихідний, як правило, стабілізуючий параметр і блок живлення (струм, напругу, частоту, фазу і т.д.) з вхідного параметра U . Навантаження (H) можна також вважати невід'ємною частиною вторинних блоків живлення, тобто ряд вихідних параметрів джерела формується тільки під навантаженням.

Модель бортової ЕОМ. Бортова ЕОМ є основою авіоніки. Її характеристики в основному визначають параметри ефективності застосування бортового обладнання інших систем. Узагальнена структурна схема фізичних з'єднань блоків бортової ЕОМ є загальноприйнятою і приведена на рис. 5.

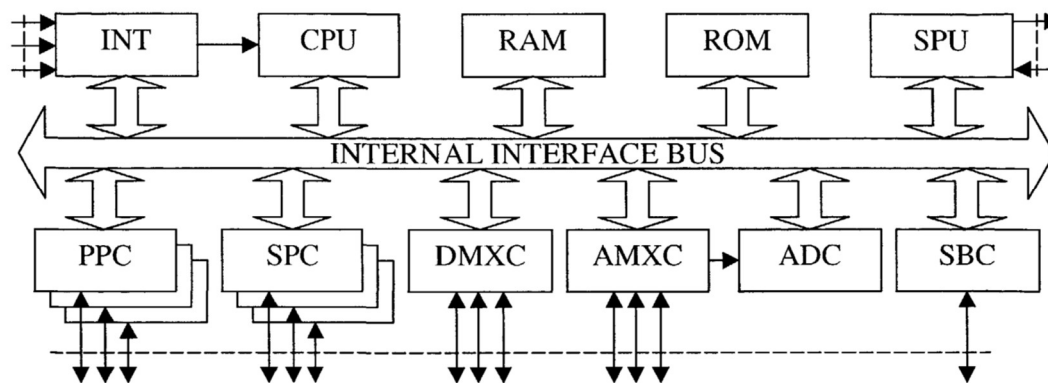


Рисунок 5 — Структура бортової ЕОМ

На рис. 5 прийняті наступні позначення: CPU - центральний процесор, який слугує для виконання математичних, логічних і інших операцій по обробці даних; RAM і ROM — оперативні і постійні запам'ятовуючі пристрої, що служать для зберігання програм, оброблюваних даних, проміжних результатів і т.п.; SPU — спеціалізований процесор (акселератор), який використовується для прискорення обробки інформації; INT — контролер переривань, апаратно реалізує процес переривання основної програми за запитом від зовнішнього пристрою і перехід на виконання програми обробки переривання.

Висновок. На підставі аналізу структур апаратних, програмних та інших компонентів авіоніки четвертого покоління зроблений висновок про можливість єдиного підходу до формування їх моделей. Показано, що моделі повинні бути структурно-параметричними і відображати систему зв'язків між компонентами, що є основою для моделювання відмовостійких систем при аналізі параметричних і структурних відмов.

ЛІТЕРАТУРА

1. Захарченко В.П. Методи та засоби резервування авіоніки / В.П. Захарченко, С.В. Єнчев, С.С. Ільєнко та ін. // монографія. — К.: НАУ, 2020. — 276 с.
2. Безпека авіації / В. П. Бабак, В. П. Харченко, В. О. Максимов та ін. — К.: Техніка, 2004. — 584 с.
3. Collinson R. P. G. Introduction to Avionics Systems/ Collinson R. P. G. — Springer; 3rd edition, 2011. — 546 p.
4. Moir I., Seabridge A., Langton R. Aircraft Systems: Mechanical, Electrical, and Avionics Subsystems Integration / Moir I., Seabridge A., Langton R. — Wiley; 3rd edition, 2008. — 560 p.

ТРАНСПОРТНІ АСПЕКТИ ЕКСПОРТУ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ СУХОПУТНИМИ ТА ВОДНИМИ ПЕРЕХОДАМИ ЗА УМОВИ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ

Запара В.М., Альошкін К.О., Балакішіїв А.А., Науменко С.В.

*Український державний університет залізничного транспорту
(Україна)*

Вступ. Транспорт України і за умови військового стану орієнтується на осучаснення своїх процесів з використанням цифрових технологій управління перевезеннями за допомогою IoT (інтернету речей) та AI (штучного інтелекту).

Актуальність досліджень. Для нарощування експорту необхідно, щоб країна мала конкурентоспроможний товар. Для України таким якраз і є зерно. Останнім часом Україна збільшувала експорт зернових вантажів. Навіть за перший рік за умови військового стану (з 31.03.2022 по 31.03.2023 року) з України експортовано 58,2 млн т зернових, в т.ч. з використанням «зернового коридору» — 26,9 млн т, а за три останні роки (з березня 2022 по березень 2025 року) — 179,3 млн т [1]. В грошовому еквіваленті цей експорт дав у 2022 році 45% від загального експорту країни.

Постановка задачі. Встановити роль видів транспорту в експорті зернових сухопутними та водними переходами за умови військового стану, а також визначитись з пріоритетами технологічних рішень залізничного транспорту для адаптації до сучасних викликів в сфері експорту зернових вантажів.

Результати досліджень. Від'ємне сальдо зовнішньої торгівлі у 2024 році збільшилось на 3,6% в порівнянні з 2023 роком (25,239 млрд дол. США) [2]. При цьому за останній рік експорт зріс на 16,5% (до 38,423 млрд дол. США), а зростання імпорту зафіксовано на рівні 11,0% (до 63,662 млрд дол. США) [2]. Наведені дані вказують на необхідність для України сконцентруватися на розширенні експортного потенціалу країни і підтримці стратегічних галузей АПК, IT та машинобудування. Тобто активне нарощування експортних можливостей економіки України є нагальним пріоритетом для держави. Серед лідерів за обсягами експортних перевезень – продукція АПК: кукурудза, пшениця, соняшникова олія.

Наразі є добра динаміка експорту продукції агросектору. Навіть під час широкомасштабної агресії Україна не втратила у вартісному показнику щодо експорту сільгосппродукції. У середньому щорічна валютна виручка від агроекспорту складає понад 22 млрд дол. США. Розглянемо ситуацію на видах транспорту, які найбільше задіяні в експорті продукції АПК, особливо зерновантажів. Переважаюча частка експорту зернових вантажів проходить через водні переходи. Обсяги перевалки в українських портах за останні 5 років зазнали суттєвих змін: від падіння в 3 рази з початком широкомасштабної агресії (з 153,3 млн т у 2021 році до 51,2 млн т у 2022 році) до нарощування обсягів в наступні 2 роки майже вдвічі (до 97,2 млн т) [3].

Зернові вантажі, які слідують на експорт, залишаються пріоритетним (основним) вантажем в портах України, в тому числі і за умови військового стану. Звичайно, на початковому етапі агресії при блокуванні чорноморських портів України фіксувались суттєві зниження перевалки зернових вантажів (до 28,8 млн т у 2022 році) [3]. Однак з початком функціонування зернового коридору обсяги почали зростати і в 2024 році перевищили довоєнні рівні (більше 60 млн т) [3]. За 2024 рік частка зернових вантажів в перевалці портів перевищувала 60% [3].

Робота українського морського коридору дозволила вітчизняним портам вийти у 2024 році на 2/3 довоєнного обсягу перевалки. При цьому порти Великої Одеси знову стали основними воротами морського експорту, а гавані на Дунаї зменшили обсяги, обробляючи невеликі суднові партії або нішеві вантажі. Держава повинна знайти певні механізми

підтримки цих портів, як резервного шляху експорту.

Важливим моментом є напрямки експортних перевезень, які можуть мати суттєві коливання в залежності від кон'юнктури та інших впливів (наприклад, широкомасштабні військові дії). З початком агресії і блокуванням портів України експортні потоки почали переорієнтовуватись на західні сухопутні прикордонні переходи, де стикнулись з обмеженістю пропускної спроможності залізниць країн ЄС. За 2024 рік 36,5% всіх експортних перевезень залізницею України слідували через сухопутні переходи, а 63,5% - в порти. Проте стосовно експорту зернових вантажів маємо іншу ситуацію.

Статистичні дані [1] свідчать про значні помісячні коливання обсягів перевезення залізницею зерна на експорт через сухопутні переходи останні два роки із загальною чітко вираженою тенденцією до зниження. Виходячи з бази даних [1], вирахована частка залізничного транспорту в експортному перевезенні зерна: вона знизилась з 16,7% у 2023 році до 9,5% у 2024 році. Така ж тенденція мала продовження і на початку 2025 року: в січні частка складала 7,5%, а в лютому — 6,7% [1].

Автотранспорт має значно менші обсяги таких перевезень та яскраво виражену тенденцію до зниження обсягів перевезення (на початку 2023 року щомісячні перевезення були на рівні 450 тис. т, в кінці 2024 року знизились до 100 і менше тис. т за місяць) [1]. За розглянуті роки частка автотранспорту в експортному перевезенні зерна знизилась з 5,3% у 2023 році до 2,2% у 2024 році. Така ж тенденція мала продовження і на початку 2025 року: в січні частка складала 1,7%, а в лютому дещо зросла — до 2,0%. Загальний експорт зерна через сухопутні переходи (залізниця+автотранспорт) зменшився з 1,5 млн т на початку 2023 року до 500 і менше тис. т в кінці 2024 року (тобто в 3 рази) [1]. Через сухопутні переходи у 2023 році було переміщено 22,0% експортного зерна, а за 2024 рік — лише 11,7%. Подальше зниження частки сухопутного експорту зерна продовжилось і на початку 2025 року: в січні — 9,2%, в лютому — 8,7%.

Експорт зерна через водні пункти переходу значно (в рази) перевищують обсяги через сухопутні переходи. За аналізований період (2023-2024 роки) відбулось повернення до відсоткового рівня експорту зерна через водні пункти переходу практично до довоєнного рівня. Розрахунки, проведені на основі статистичних даних [1], показали, що у 2023 році водними шляхами було експортовано 78,0% зерна, а в 2024 - 88,3%. На початку 2025 року цей показник перевищив уже 90%: за січень — 90,8%, за лютий – 91,3%.

Загальні помісячні обсяги експорту зерна всіма видами магістрального транспорту за 2023 та 2024 роки встановлені згідно з [1] і показані на рисунку 1.

За IV квартал 2024 року маємо суттєве зниження обсягів переробки, на відміну від IV кварталу 2023 року. У грудні 2024 року експорт зерна з України зіткнувся з серйозними труднощами. Із-за нової системи реєстрації податкових накладних понад 700 тис. т зерна застрягли в портах [4]. Є певна складність, з якою стикнулись всі великі експортери: практично у кожного на кінець року вичерпані ліміти, які контролює податкова служба.

Основні тренди логістики аграрних вантажів у 2025-2026 маркетинговому сезоні визначатиме домінуюча роль морських портів, проте така концентрація потоків робить логістику вразливою до ризиків, пов'язаних з діями ворога в Чорному морі чи повітряними атаками на припортову інфраструктуру. До 2022 року близько 65% обсягів перевезення зернових культур в Україні здійснювалося залізничним транспортом, а для експорту через морські порти цей показник перевищував 70% [5]. До речі, частка перевезень зернових експортних вантажів залізницею у напрямку портів у січні 2025 року зросла до 92% [6].

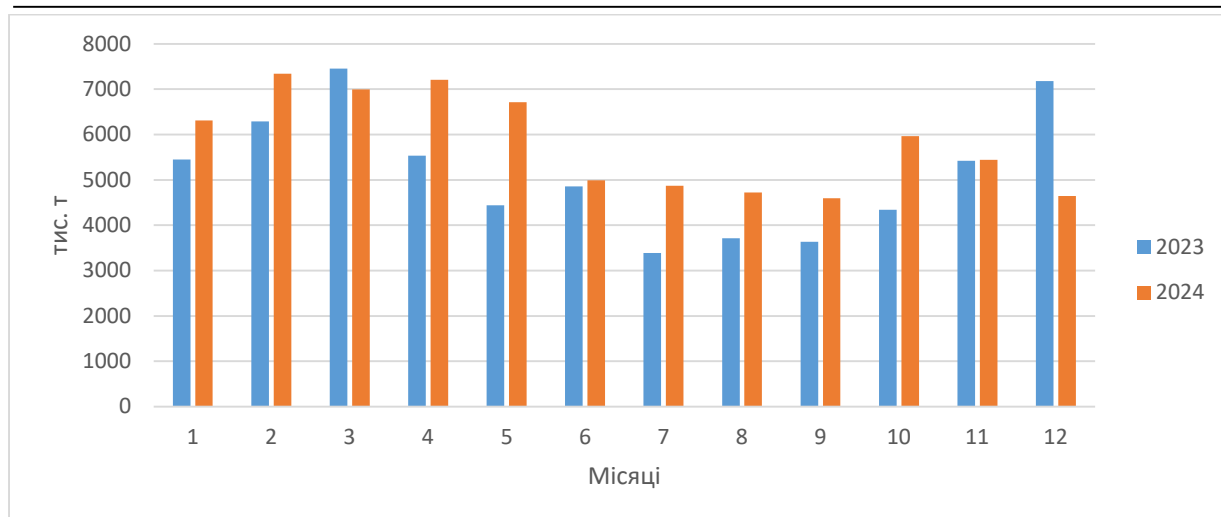


Рисунок 1 — Помісячні обсяги експорту зерна з України всіма видами транспорту за 2023 та 2024 роки

Відомо, що понад 80% лінійних елеваторів оснащені інфраструктурою для завантаження залізничних вагонів, тоді як серед «польових» елеваторів така можливість є лише приблизно у 15% випадків. З 2017 року АТ «Укрзалізниця» здійснює політику із збільшення рівня маршрутизації при транспортуванні зернових. Наразі для покращення експлуатаційних показників рухомого складу використовується технічна маршрутизація, в тому числі і для зерна. Для зменшення простою завантаженого вагона, а відповідно і обігу вагона, запропоновано систему, в якій маршрутний поїзд формується на певній вузловій станції, а підвезення до неї виконується за допомогою автотранспорту.

З метою визначення потенційно можливих вузлових станцій адаптовано методику, яка базується на методах кластерного аналізу. Із використанням агломератного алгоритму кластерного аналізу, який базується на стратегії об'єднання Варда й «канберрівський» мірі відмінності об'єктів із множини станцій регіональної філії «Південна залізниця» було виділено станції для можливої концентрації вантаження зерна. В підсумковому вирішенні до складу 11 районів концентрації вантаження зерна включено 36 станцій, що за мінімальних додаткових витрат забезпечує максимальний сумарний обсяг вантаження зерна маршрутами не менше 50 тис. вагонів.

Висновки. Встановлено, що експорт зерна з України проходить переважно водними шляхами, частка яких в обсягах перевезення після спаду з початком введення військового стану в подальшому почала невпинно нарощуватися (за 2023 рік – до 78,0%, за 2024 рік – до 88,3%). Залізниця залишається лідером в транспортуванні експортного зерна до портів України. Запропоновано розташування вузлових станцій й формування на їх базі районів концентрації вантаження зерна. Показано, що вирішення пропозиції є досить складною багатоваріантною й багатофакторною оптимізаційною задачею.

Активне нарощування експортних можливостей АПК України є нагальним пріоритетом для держави, а залізничний транспорт повинен вчасно адаптуватись до викликів в цій сфері, підвищуючи, в першу чергу, ефективність маршрутизації перевезення зернових вантажів.

Таким чином, за допомогою організаційно-технічних заходів без значних капіталовкладень відбудеться покращення експлуатаційних показників використання залізничного рухомого складу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стан зовнішньої торгівлі продуктами АПК. URL: <https://uga.ua/eksportni-pokazniki/> (дата звернення 19.04.2025).
2. Ринок експорту в Україні продовжує зростати попри війну з рф — Свириденко. — URL: <https://unn.ua/news/rynok-eksportu-v-ukraini-prodovzhuie-zrostaty-popry-viinu-z-rf->

svyrydenko (дата звернення 19.04.2025).

3. Вантажообіг українських портів в 2024 році. — URL: https://cfts.org.ua/infographics/vantazhoobig_ukranskikh_portiv_v_2024_rotsi (дата звернення 19.04.2025).

4. Ситуація з експортом зерна: що змінилося в грудні та які виклики чекають на аграріїв? — URL: <https://uga.ua/meanings/mykola-gorbachov-yakshho-bude-mozhlyvist-reyestrivaty-nakladni-vruchnu-kozhn-zavede-svogo-menedzhera-z-podatkovoyi/> (дата звернення 19.04.2025).

5. Центр транспортних стратегій. — URL: https://cfts.org.ua/imglib/_newimage/infographics/144426/1058.png (дата звернення 15.04.2025).

6. Частка експорту зернових залізницею у напрямку портів зросла до 92%. — URL: <https://www.railinsider.com.ua/chastka-eksportu-zernovyh-zaliznyczeyu-u-napryamku-portiv-zroslo-do-92/> (дата звернення: 15.04.2025).

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВАНТАЖНОМУ СЕКТОРІ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Запара Я.В., Боровець Р.І., Камінський Б.В., Кузьміченко С.В.
Український державний університет залізничного транспорту
(Україна)

Вступ. АТ «Укрзалізниця» (далі — УЗ) позиціонує себе як перевізника, орієнтованого на потреби клієнтів. Попри складну ситуацію, спричинену війною, компанія продовжує оновлювати матеріально-технічну базу та впроваджувати цифрові технології. Значну увагу приділено підвищенню якості пасажирських перевезень: модернізується рухомий склад, з'являються нові маршрути, покращується комфорт у вагонах. Проте основні інновації зосереджені саме в пасажирському секторі, який залишається збитковим.

Актуальність досліджень. Вантажоперевезення, що є ключовим джерелом доходу компанії, все ще функціонують за застарілими підходами, які не завжди відповідають вимогам сучасного ринку. Монопольне становище та відсутність конкурентного тиску знижують гнучкість сервісу та стримують зміни. Попри численні звернення бізнесу щодо оптимізації процедур, пришвидшення цифровізації та адаптації до нових реалій, розвиток вантажного напрямку відбувається значно повільніше, ніж пасажирського. Окрему увагу необхідно приділити процесу обробки перевізних документів. Крім того, інформаційні технології, а точніше їх захист, на жаль не впорався з кібератаками у березні 2025 року на автоматизовані системи УЗ, що показало недостатній рівень адаптованості компанії до викликів сьогодення.

Постановка задачі. Однією з ключових задач реформування залізничного сектору є цифровізації у вантажному напрямі, які залишаються повільними [1]. Зокрема, такі процеси, як відстеження руху складів, аналіз завантаженості інфраструктури та постановка завдань виконавцям, переважно здійснюються вручну. Це призводить до затримок і знижує ефективність управління. Щоб підвищити якість сервісу та зміцнити конкурентні позиції, необхідно пришвидшити цифрову трансформацію вантажного сегмента — впровадити автоматизовані системи для обробки даних та управління процесами. Це сприятиме прозорості та оперативності вантажоперевезень як для клієнтів, так і для самої компанії.

Результати досліджень. З точки зору будь-якого раціонального бізнесу, логічним є пріоритетне обслуговування саме того сегмента клієнтів, який генерує прибуток. Однак УЗ, замість інвестування в модернізацію вантажної логістики — критично важливого джерела фінансування всієї галузі — фокусується на пасажирському напрямі. Цей вибір пояснюється бажанням створити яскравий медійний ефект, попри те, що пасажирські перевезення залишаються збитковими. Натомість вантажовласники змушені миритися з недоліками системи та приймати суттєве підвищення тарифів (планується підвищення на 37%) аби покривати втрати застарілої, неефективної моделі управління.

Проведено аналіз останніх публікацій щодо інформаційних технологій у вантажному секторі УЗ. Так, в роботі [2] розглянуто технологічні аспекти створення і функціонування Пунктів концентрації обробки перевізних документів (ПКОПД) в межах АСК ВП УЗ-Є та АС Клієнт, підкреслено необхідність ретельності розроблення організації взаємодії працівників ПКОПД і вантажних станцій; оцінено технологічні переваги функціонування ПКОПД, які полягають у тому, що висока концентрація фахівців у цьому центрі дає змогу їм активно підвищувати свій професійний рівень і надавати більш якісні послуги для користувачів послуг залізниці, що призведе в цілому до підвищення якості надання послуг.

Інший напрямок — це планування перевезень, яке і досі не є гнучким. В існуючій АС Месплан на УЗ відсутнє короткострокове планування перевезень, що ускладнює оперативно реагувати на зміну вагонопотоку. Практика більшості європейських країн вказує на ефективність застосування короткострокового планування перевезень на залізничному транспорті. Показовим є приклад Словаччини, яка інвестувала в систему

автоматизованого планування перевезень стільки ж, скільки УЗ витрачає на один пасажирський вагон. У світі вже активно використовуються технології телеметрії, штучного інтелекту та автоматизованого управління вантажопотоками, які пришвидшують логістику та оптимізують витрати. Тим часом український експорт втрачає конкурентоспроможність через застарілі підходи УЗ, що змушує вітчизняних виробників платити більше за доступ до зовнішніх ринків.

Нинішня структура УЗ нагадує архаїчний механізм, нездатний до змін зсередини. Для справжніх змін потрібен системний крок — ухвалення Закону «Про залізничний транспорт», що дасть старт структурній реформі відповідно до європейських директив.

Конкретну пропозицію щодо удосконалення інформаційної технології розрахунку собівартості перевезень надає металургійна галузь — один із найбільших клієнтів УЗ, яка вже зараз має шанс вплинути на початок реформ, не чекаючи ухвалення закону. Замість пасивного прийняття підвищення тарифів, вона може висунути конструктивні зустрічні пропозиції: наприклад, розробити за власний кошт автоматизовану систему обрахунку собівартості перевезень. Це буде в рази дешевше, ніж щорічна переплата через підвищення тарифів, і створить прозору фінансову модель, яку УЗ не зможе ігнорувати.

Крім того, така ініціатива покладе край маніпуляціям навколо класів вантажів та звинуваченням у недоплатах. Це не лише знизить фінансовий тиск на бізнес, а й посилить конкурентоспроможність української продукції за кордоном. Оскільки ефективність залізниці є фундаментом економічного розвитку, реформи УЗ мають відбутися вже зараз, якщо ми прагнемо побудувати ринкову і прозору модель транспортної системи.

Висновки. Реформування галузі, зокрема необхідні темпи впровадження інформаційних технологій та надійний їх захист є запорукою ефективного функціонування залізничного транспорту. Особливої уваги потребує вантажний сектор, де порівнюючи з пасажирським сектором, де процеси інформатизації, цифровізації та діджиталізації відбуваються повільно. Тільки системні, зважені кроки зможуть вивести роботу вантажного сектору УЗ на новий, якісний та конкурентний рівень.

На основі проведеного аналізу, надано конкретні пропозиції для покращення інформаційних технологій у вантажному секторі залізничного транспорту:

1. Оптимізація роботи ПКОПД, що призведе до підвищення якості надання послуг.
2. Внесення змін в автоматизовану систему Месплан для більш гнучкого планування перевезень (на прикладі Словаччини).
3. Розробка та впровадження автоматизованої системи обрахунку собівартості перевезень (одним із розробників може бути металургійна галузь), це повинно зняти питання щодо зближення класів, необґрунтованого підняття тарифів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Запара В.М., Мухопад Н.В. Пункти концентрації обробки перевізних документів — сучасний підхід в удосконаленні транспортних технологій. Тези ХІХ науково-практичної міжнародної конференції «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика» (1–2 червня 2023р. м. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2022. С. 127–128.
2. Каграманян А.О., Ковальов А.О., Запара В.М., Запара Я.В., Шпатіна О.О. Адаптивна концентрація у вантажній і комерційній роботі в умовах інформатизації технологічних процесів на залізниці України. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2024. № 2. С. 25–32.

OPTIMIZATION OF UAV FLIGHT ROUTES IN UNSTABLE WEATHER CONDITIONS AND THE PRESENCE OF OBSTACLES

Kalashnyk G.A.

*Ukrainian State Flight Academy
(Ukraine)*

Introduction. One of the key aspects of optimizing UAV flight routes is using algorithms that consider changing weather conditions. Strong winds can be a serious obstacle to the stability of UAV flight, especially at high altitudes or in mountainous areas where air flows can be unpredictable. To overcome this challenge, stabilization and route optimization algorithms are used that take into account the weather forecast, real-world data from wind sensors, and information about the topography of the area. For example, when strong winds are detected in a certain flight zone, the system can automatically adjust the route, directing the UAV to bypass a dangerous area or lowering the flight altitude to avoid strong air flows [1].

Relevance of research. Optimization of UAV flight routes in unstable weather conditions and the presence of obstacles are a complex and multi-component task that requires the use of modern algorithms and technologies [2]. Taking into account changes in weather conditions, such as wind, rain or temperature, as well as the presence of natural and artificial obstacles, allows for safe and efficient UAV flight even in the most difficult conditions. Intelligent algorithms that use data from various sources and can adapt to changes in the environment in real time open up new opportunities for effective monitoring and firefighting, as well as for other tasks that require accurate and prompt response.

Setting task. It is extremely important to use specialized algorithms for optimizing UAV routes that can adapt to changing environmental conditions and ensure the safety of aircraft and the effectiveness of their tasks.

Research results. Algorithms for self-organization and coordination of a group of UAVs are used to ensure effective interaction of UAVs during monitoring and extinguishing fires. A key aspect is the ability of UAVs to independently make decisions based on data received from sensors and quickly adapt to changing conditions. The algorithms are based on the principles of swarm optimization and allow UAVs to coordinate their actions without centralized control.

The main components of the algorithms:

1) Self-organization: UAVs can dynamically distribute tasks among themselves depending on the current situation. For example, if one of the UAVs detects a new fire source, it automatically transmits information to other UAVs, which adjust their actions according to the new data.

2) Collision avoidance. Coordination algorithms use data from LIDAR sensors and cameras to detect obstacles and ensure safe flight routes in dense forests, urban areas, or during difficult terrain.

3) Group interaction. UAVs coordinate their actions, ensuring maximum coverage of the territory, avoiding duplication of efforts.

4) Collection and processing of data from sensors. UAVs are equipped with various types of sensors, such as thermal imagers, hyperspectral cameras and multispectral cameras. The main task of the sensors is to collect data on the state of the territory and identify fire centers. The data obtained from these sensors is processed in real time using machine learning algorithms, which allows the UAV to quickly detect threats and make decisions about further actions. The processed data is transmitted to other UAVs and to the control center to coordinate rescue operations.

5) Optimization of flight routes taking into account changing weather conditions and obstacles. Flight route optimization algorithms are based on dynamic data on weather conditions (wind, rain, smoke) and terrain. UAVs can adjust their routes depending on changing external conditions to ensure flight safety and maximum efficiency. The optimization algorithm includes: a) avoiding areas with dangerous conditions; if the UAV enters an area with strong winds or thick smoke, the algorithm adjusts the route to avoid obstacles; b) calculating optimal trajectories (the algorithm uses data on the topography of the area and weather conditions to build the shortest and

most efficient route to the fire centers); c) interaction between UAVs (UAVs exchange information about their trajectories to avoid collisions and effectively cover the territory).

For effectively verify the intelligent geometric architecture of UAV group control in the conditions of monitoring and extinguishing fires, several simulation scenarios were created, each of which simulated different conditions for the occurrence and spread of a fire. These scenarios took into account different weather conditions (wind, rain, smoke), which made it possible to check the effectiveness of UAV operation in various realistic situations. Three weather scenarios were simulated, each of which included different complex conditions.

1) Strong wind. The fire developed in an open area under the influence of wind at a speed of 20 m/s. The main problem for the drones was maintaining flight stability and correcting the route to avoid areas with the most intense wind gusts.

2) Rain. The fire occurred in conditions of heavy rain, which complicated the operation of thermal imagers and cameras. The drones had to adapt their algorithms to take into account the reduced visibility and efficiency of the sensors.

3) Smoke. The forest fire was accompanied by thick smoke, which limited visibility and interfered with the operation of optical sensors. This required the active use of thermal imagers to detect fire centers through the smoke screen.

In each scenario, the UAVs automatically adjusted their routes depending on the weather conditions. In the case of strong winds, the UAVs lowered their flight altitude to avoid the most intense gusts. The rainy scenario included camera correction, which allowed compensating for the decrease in image clarity. In the case of smoke, the main emphasis was placed on the use of thermal imagers, which allowed identifying fire centers even in conditions of limited visibility [3, 4].

To conduct simulation experiments and verify the intelligent geometric architecture of the UAV group control for monitoring and extinguishing fires, the Gazebo environment was chosen, which provides realistic simulation of physical processes such as gravity, air resistance, friction, and allows you to accurately reproduce the behavior of unmanned aerial vehicles in different conditions. In addition, Gazebo integrates with ROS (Robot Operating System), which allowed the development and testing of complex control algorithms, communication between UAVs, and data analysis. MATLAB/Simulink was used to model and test intelligent routing algorithms that were integrated into the UAV control system via ROS. MATLAB provided analysis and visualization of simulation results, which helped to quickly assess the effectiveness of the developed algorithms in various scenarios.

Analysis of the simulation results is presented in Tables 1–3.

Table 1 — Accuracy and speed of fire detection in various conditions

Scenario	Detection time (minutes)	Coordinate determination accuracy (%)	Number of detected cells
Strong wind	15	90	4
Rain	18	88	3
Smoke	10	94	4

The rainy scenario proved to be the most challenging due to reduced visibility and limited camera performance, which increased the time to detect hotspots. The accuracy of coordinates remains high in all scenarios, indicating the effectiveness of thermal imagers and multispectral cameras.

Table 2 — Evaluation of the effectiveness of coordination and stabilization algorithms

Scenario	Coordination algorithm efficiency (%)	Flight stabilization efficiency (%)
Strong wind	88	75
Rain	85	80
Smoke	94	88

The high wind scenario demonstrated a decrease in flight stability, which affected the overall effectiveness of the stabilization algorithms.

Table 3 — The influence of weather conditions on flight stability

Weather conditions	Impact on flight stability (%)	Sensor accuracy degradation (%)
Normal	100	0
Strong wind	80	10
Rain	75	12
Smoke	90	5

The greatest impact on flight stability was observed in scenarios with strong winds and rain, which reduced the UAV's performance. Smoke had little impact on sensor performance, as the primary data source was the thermal imagers, which continued to operate effectively even in difficult conditions.

In all three scenarios, the UAVs were able to effectively perform the fire detection and monitoring tasks. The most challenging scenario for the UAVs was the strong wind scenario, where some UAVs were forced to abort flights due to instability. However, most UAVs successfully adapted their routes. In rainy conditions, the reaction time to new fire sources increased by 15%, but the thermal imagers and other sensors continued to operate effectively. The smoke scenario showed that the system is capable of providing effective fire detection even in conditions of severe limited visibility. These challenging scenarios confirmed the effectiveness of the developed UAV control architecture for monitoring and extinguishing fires in various difficult conditions.

Conclusion. Simulation results showed that the proposed UAV group control architecture is effective in various conditions. Self-organization and coordination algorithms allowed to achieve a high level of accuracy and speed of fire detection. Weather conditions, such as wind and rain, affected the flight stability, however, the route adaptation algorithms helped to compensate for these difficulties, ensuring stable UAV operation even in difficult conditions.

REFERENCES

1. Mashkov O, Bychkov A., Kalashnyk G., Shevchenko V., Vyshemyrska S. Application of the Theory of Functional Stability in the Problems of Covering Territories by Sensory Networks / Lecture Notes in Data Engineering, Computational Intelligence, and Decision Making / 2022 International Scientific Conference «Intellectual Systems of Decision-Making and Problems of Computational Intelligence», Proceedings / Springer, Pages 266–285
2. Trush O., Kravchenko I., Trush M., Plushch O., Dudnik A., & Shmat K. (2021, December). Model of the sensor network based on unmanned aerial vehicle. In 2021 *IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*. pp. 138–143.
3. Tymochko O., Fustii V., Kolesnyk G., Olizarenko S., Kalashnyk G., Kulish R., Tymoschuk O., Galinskji D. Inter-Object Navigation of Unmanned Aerial Vehicles to Increase the Efficiency and Accuracy of Inspection of Power Lines. *Problemele Energeticii Regionale*. 1(57). 2023. P.28-38. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2023.1-57.03>
4. Zakharchenko I., Tristan A., Chornogor N., Berdnik P., Kalashnyk G., Tymochko A., Zalevskii A., Dmitriiev O. Modeling of Object Monitoring Using 3D Cellular Automata. *Problemele Energeticii Regionale*. 4 (56). 2022. P.61–78. DOI: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2022.4-56.06>

USING OF INTERNATIONAL EXPERIENCE TO IMPROVE ATMOSPHERIC RESEARCH METHODS IN UKRAINE FOR CIVIL AVIATION

Kalashnyk G.A., Voroshylo D.S.
Ukrainian State Flight Academy
(Ukraine)

Introduction. Using international experience to improve atmospheric research methods is an important stage of Ukraine's integration into the global aviation system and improving flight safety. World experience demonstrates a wide range of innovative approaches to monitoring atmospheric conditions, forecasting and correcting the impact of external factors on aviation navigation and communications. Ukraine, given its geographical location and active participation in international aviation programs, has significant potential for adapting best practices and technologies [1, 2].

Relevance of research. Atmospheric factors significantly affect aviation navigation and communications, creating challenges that require constant improvement of technologies and approaches to their study. Understanding these factors, developing correction methods and integrating modern technologies allows to ensure high accuracy and reliability of navigation systems, contributing to increasing flight safety in civil aviation.

Setting task. One of the most important areas of improving atmospheric research methods is the use of satellite technologies for monitoring weather phenomena. Ukraine already has experience in using satellite data, but integration with global satellite systems will significantly improve the quality of forecasting.

Research results. One of the key aspects of international experience for improving atmospheric research methods is the implementation of global atmospheric monitoring systems, such as those of the World Meteorological Organization (WMO). The WIGOS (World Integrated Global Observing System) program integrates ground-based, satellite, and airborne data to form a comprehensive picture of atmospheric conditions. This approach allows combining information from different sources and ensuring forecast accuracy. The use of such systems in Ukraine can increase the level of atmospheric monitoring and allow for more effective consideration of regional climate features [3].

European experience in this area is also noteworthy. The SESAR (Single European Sky ATM Research) program is actively working to improve atmospheric monitoring methods for aviation needs. SESAR is implementing advanced technologies, such as EUMETSAT (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites) satellite systems, which provide highly accurate weather data. The application of these technologies in Ukraine will contribute to the creation of an integrated air traffic control system that meets modern international standards.

Satellites such as NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) and Copernicus provide highly accurate data on temperature, humidity, air mass movement, and the state of the ozone layer. For example, using data from the Copernicus program can contribute to more accurate forecasting of dangerous weather phenomena such as thunderstorms, icing, or strong winds, which is especially important for ensuring flight safety.

In addition to satellite technologies, radar systems play an important role. International experience shows the effectiveness of using Doppler radars to monitor precipitation, wind, and other atmospheric phenomena. For example, at the USA, the NEXRAD (Next Generation Radar) system provides constant real-time weather monitoring. Adaptation of such technologies in Ukraine will significantly improve forecasting accuracy and provide aviation with reliable data.

The integration of lidar technologies, which are actively used in many countries around the world, is also a promising direction for Ukraine. LiDAR allow measuring aerosol concentration, cloud cover height and other atmospheric parameters. Their implementation at Ukrainian airports can significantly improve the quality of data used for air traffic control and flight planning.

Considerable attention in international practice is paid to the use of GNSS (Global Navigation Satellite Systems) systems for atmospheric research. GNSS sensing methods, which allow analyzing the influence of the ionosphere and troposphere on radio signals, are widely used in aviation. The European EGNOS system, which is a complement to GPS, provides high navigation accuracy, compensating for errors caused by atmospheric influences. The use of such systems in Ukraine will not only increase navigation accuracy, but also improve methods for analyzing atmospheric conditions.

Modern methods of analyzing big data (Big Data) and machine learning are another important element of international experience. They allow processing large volumes of meteorological data and identifying patterns that are difficult to detect using traditional methods. For example, in the USA, artificial intelligence algorithms are actively used to predict extreme weather events, such as hurricanes or severe thunderstorms.

Ukraine can also implement these technologies, adapting them to its conditions and climate characteristics. Another important area is the development of international cooperation within the framework of ICAO (International Civil Aviation Organization) programs. ICAO sets standards and recommendations for atmospheric monitoring and the implementation of navigation systems. Ukraine's participation in these programs allows not only to gain access to the latest technologies, but also to ensure that the national aviation infrastructure complies with international standards.

It is also important to note the experience of Asian countries, in particular Japan and China, which are actively developing atmospheric monitoring technologies. For example, the Japanese Himawari program provides high-precision real-time monitoring of weather conditions using satellites. China is actively implementing its own BeiDou system, which integrates navigation functions with atmospheric monitoring capabilities. Using this experience can be an important step for Ukraine in developing its technologies [4].

Improving atmospheric research methods in Ukraine can also be based on regional cooperation. For example, data exchange with European countries through the EUMETNET network will allow for accurate forecasts and joint use of modern tools for atmospheric monitoring. Regional cooperation can also include the creation of joint training programs for meteorology and aviation specialists.

Modern technologies allow not only to study the influence of atmospheric factors, but also to compensate for them. For example, differential correction systems (DGPS) use ground stations to transmit data on local errors caused by atmospheric conditions. The Wide Area Augmentation System (WAAS) and the European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) provide real-time correction for ionospheric and tropospheric effects, improving the accuracy of satellite navigation to the centimeter level.

The study of atmospheric factors and their impact on navigation and communication also includes modeling these phenomena. Numerical models such as WRF (Weather Research and Forecasting) allow for the prediction of atmospheric conditions with high accuracy. These models take into account various factors such as temperature, humidity, pressure, and wind speed, which allows for the creation of three-dimensional profiles of the atmosphere and the assessment of their impact on radio signals [5].

Integration of data from various sources, such as satellites, radars, LiDAR (Light Detection and Ranging) and weather stations, is a key component for ensuring the accuracy of navigation and communication. These data allow for the creation of multifactorial atmospheric models that take into account the impact of various phenomena on radio signals. The use of artificial intelligence and machine learning technologies to analyze large amounts of data opens up new opportunities for forecasting and correcting atmospheric impacts [6].

Analysis of modern approaches to monitoring atmospheric conditions has shown that GPS sounding is one of the most effective methods for assessing ionospheric and tropospheric parameters. The technology allows for high-precision data on changes in TEC (Total Electron Content), as well as determining the level of tropospheric delay. Integration of GPS measurements with ground-based meteorological stations provides additional accuracy and reliability of the data.

Conclusions. Atmospheric parameters have a significant impact on the accuracy of GPS measurements. For example, air humidity significantly increases tropospheric delay, which requires mandatory signal correction. Ionospheric disturbances, in particular magnetic storms, can cause significant deviations in GPS data, which requires additional measures from navigation system operators. International experience in using GPS technologies for atmospheric research indicates a significant potential for their implementation in Ukraine. Successful practices in the USA and the EU demonstrate that regular monitoring of atmospheric parameters allows improving the accuracy of forecasts, as well as reducing the impact of weather factors on aviation systems. The introduction of such practices into the national aviation infrastructure will significantly increase the efficiency and safety of flights.

REFERENCES

1. Бондаренко Л.В. Технології супутникової навігації у цивільній авіації. *Вісник аерокосмічної галузі*. 2022. Т. 15, № 2. С. 123–137.
2. Воловик О.С. Використання GNSS у моніторингу кліматичних змін: теоретичні та практичні аспекти. *Науковий журнал «Екологія і технології»*. 2023. № 4. С. 56–68.
3. Воробей С.А. GPS-технології в прогнозуванні погоди: досвід України. *Наукові записки НАУ*. 2022. № 3. С. 58–73.
4. Загальна характеристика GNSS-систем: посібник для авіаційних операторів. За ред. Л.В. Ткаченко. Київ: НАУ, 2022. 318 с.
5. Острівний Д.С., Калашник Г.А. Іоносфера як основне джерело похибок супутникових систем навігації та підходи до числового моделювання нестійкостей іоносферної плазми. *Управління високошвидкісними рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем: матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції*, 14 лютого 2024 р., Кропивницький, ЛА НАУ. Кропивницький, 2024. С.65–67.
6. Kalashnyk G., Kalashnyk-Rybalko M.A. Architectural features of a promising intelligent space weather data processing system for increasing the efficiency of radio equipment of civil aviation for the conditions of Ukraine. Conference Proceedings, International Conference “GeoTerrace-2024”, 7–8 October 2024, Lviv, Ukraine (GeoTerrace’2024). By Publisher: European Association of Geoscientists & Engineers, Volume 2024 p.1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510090>

MODELLING THE INFLUENCE OF ATMOSPHERIC CONDITIONS AND PHENOMENA ON RADIO SIGNAL PROPAGATION PROCESSES

Kalashnyk G.A., Tokarsky I.O.
Ukrainian State Flight Academy
(Ukraine)

Introduction. Modern navigation systems, including GPS, are an integral part of the aviation industry, providing accurate positioning, route planning, and flight control [1]. However, the quality of GPS signals is significantly affected by atmospheric phenomena [2], especially ionospheric [3] and tropospheric effects, which can cause delays, attenuation, and distortion of radio signals [4]. These phenomena vary depending on geographical location, time of day, season, and other natural factors. The lack of effective methods for correcting atmospheric effects can lead to deterioration in navigation accuracy, which creates potential risks for flight safety in civil aviation [5]. The use of tropospheric delay models allows to reduce errors in determining coordinates caused by atmospheric conditions. In addition, such models can be used to predict weather conditions along the flight route, which allows to avoid regions with high atmospheric activity [6].

Relevance of research. The development of models of the influence of atmospheric factors on the quality of radio signal propagation is an important aspect of ensuring high accuracy of satellite navigation systems and stability of aviation communications. The troposphere, as the lowest layer of the atmosphere, affects the propagation of radio signals through the phenomena of refraction, absorption, scattering and signal delay. These factors vary depending on atmospheric parameters, such as temperature, pressure, humidity, as well as weather conditions. The creation of detailed and accurate models of tropospheric influences allows to compensate for these effects and increase the accuracy of global navigation satellite systems (GNSS), such as GPS, Galileo, GLONASS and BeiDou [1].

Setting task. Current correction methods, such as the use of empirical models (e.g., the Klobuchar or Saastamoinen models), have limited accuracy because they do not take into account local atmospheric features. This requires the integration of GPS data with ground-based meteorological observations, which allows for more accurate modeling of atmospheric conditions in real time. In this regard, the task of developing methods that will allow comparing GPS measurement data with information obtained from ground-based meteorological stations to better understand the influence of the atmosphere on the propagation of radio signals is posed. In particular, it is necessary to determine the extent to which GPS-derived TEC values correlate with meteorological parameters such as temperature, humidity, and atmospheric pressure that affect tropospheric delay.

Research results. One of the biggest problems is ionospheric delay, which is caused by the interaction of radio signals with charged particles in the upper atmosphere. The delay depends on the total electron content (TEC) in the signal path and can vary significantly depending on solar activity and magnetic storms [3, 5]. Tropospheric delay, in turn, arises from the refraction of signals in the lower atmosphere, caused by changes in temperature, humidity and atmospheric pressure. Unlike ionospheric, this delay is less variable, but its moisture component can be significant, especially in conditions of high humidity. Accurate consideration of the influence of these factors is critical to ensure stable operation of navigation systems.

For the development of models of tropospheric factors, it is important to take into account the vertical structure of the atmosphere. The troposphere has gradient changes in temperature, pressure and humidity depending on height. These changes affect signal propagation and cause additional errors. For example, as the signal passes through the layers of the atmosphere, it may undergo refraction, which alters its trajectory. This effect is particularly pronounced at low elevation angles, where the signal has the longest path through the atmosphere. Models that incorporate vertical atmospheric profile data from radiosondes or satellites are used to account for these factors. Another important aspect is to account for regional and seasonal variations in

tropospheric factors. For example, in tropical regions with high atmospheric humidity, the moisture component of the signal delay can be much larger than in temperate latitudes. Seasonal changes, such as the difference between summer and winter conditions, also affect the distribution of water vapor in the atmosphere and, accordingly, tropospheric delays. In this regard, modern models use climate databases that allow regional and seasonal features to be taken into account.

An important element of the modelling is the integration of data from GNSS systems. For example, observations of phase and code delays of signals caused by the tropospheric environment allow for the estimation of atmospheric parameters in real time. Differential correction systems such as WAAS or EGNOS use data from ground stations to more accurately calculate tropospheric forcing. These systems provide a high level of accuracy, especially in complex atmospheric conditions, where traditional models can have significant errors.

Additional value for the modelling of tropospheric factors is provided by satellite weather observation systems such as Meteosat or GOES. These satellites provide data on temperature, humidity and air mass movement, which can be used to update tropospheric models. For example, the use of water vapour distribution data can significantly improve the accuracy of forecasts of the wet component of the signal delay. Satellite cloud images can also help identify regions with increased tropospheric activities that require additional attention when processing navigation data [5]. Machine learning methods are actively being introduced into the modelling of tropospheric influences. Algorithms such as gradient boosting, deep neural networks, and recurrent neural networks allow you to analyze large amounts of data and find complex relationships between atmospheric parameters and tropospheric delays. For example, neural networks can learn from historical data and predict signal delays for a specific region depending on current weather conditions. This allows you to create models that work in real time and provide highly accurate correction.

Empirical models are used to estimate ionospheric delay, such as the Klobuchar model, which corrects for errors in one-sided GPS receivers. However, the accuracy of such models is limited, since they are based on averaged data and do not take into account local changes in the ionosphere. In this context, the integration of ground-based observations and satellite TEC measurements is a promising approach to improve the correction of ionospheric delay [6].

The troposphere is the lower layer of the atmosphere, where the main weather processes occur. Tropospheric delay occurs due to the refraction of radio signals in layers of the atmosphere with different densities. It has two components: 1) dry delay, which is caused by pressure and is stable; 2) wet delay, which depends on the amount of water vapour in the atmosphere and varies significantly depending on weather conditions.

For the correction of tropospheric delay, models such as Saastamoinen are used, which take into account general atmospheric parameters. However, these models also do not take into account local changes, so their accuracy is insufficient in conditions of rapid weather changes.

Modelling the influence of atmospheric parameters on GPS signals is an important step in understanding the relationships between ionospheric and tropospheric phenomena and their influence on the accuracy of signals. The construction of mathematical models allows not only to identify the main patterns, but also to predict changes in parameters in real time [7].

For a homogeneous cloudless atmosphere at frequencies well below the discrete absorption lines of water vapor and oxygen, a frequency-independent model of the real part of the absorption coefficient is adopted:

$$n = 1 + \frac{77.8}{T} \left(P + \frac{4810e}{T} \right) \cdot 10^{-6},$$

where T is temperature in degrees Kelvin; P is atmospheric pressure; e is partial pressure of water vapor in millibars.

In the troposphere, pressure and humidity on average decrease with height exponentially, and temperature decreases linearly, so the average height profile of the given refractive index can be approximated by an exponential dependence:

$$n = 1 + n_0 \exp(-b_1 h),$$

where n_0 is the near-surface value of the given refractive index.

The values n_0 and b_1 depend on the season. So in the middle latitudes in winter n_0 on average it is equal to 3.06×10^{-4} , and in summer this value is close to 3.3×10^{-4} . The parameter b_1 on average is equal to $0,13 \text{ км}^{-1}$. The parameter b_1 is subject to changes in the range from 0.12 км^{-1} to 0.14 км^{-1} .

The effect of seasonal variations in the refractive index on the phase change of the input signal can be estimated by the formula:

$$\Delta\theta = \omega\Delta t,$$

where Δt is the difference in the time of passage of radio waves over a distance l in different seasonal conditions: $\Delta t = l/(c_1 - c_2)$; c_1 and c_2 are the speeds of radio wave propagation in the summer and winter seasons; l is the length of the radio wave propagation path.

If the length of the radio wave propagation path is l , and the atmosphere has a granular structure with the size of the inhomogeneities l_0 , then the total number of inhomogeneities on the propagation path is equal to l/l_0 . In this case, the resulting root-mean-square error is proportional to the square root of the number of inhomogeneities. The root-mean-square value of the signal phase fluctuations is estimated by the expression:

$$\sigma_\varphi = \frac{2\pi\sigma_n}{\lambda} \sqrt{l/l_0},$$

where σ_n is the root mean square deviation of the refractive index.

The attenuation of radio waves in precipitation is characterized by the attenuation coefficient, which is estimated by the formula:

$$\alpha_d = \gamma_d r_{ed},$$

where α_d is the attenuation coefficient of radio waves; γ_d is linear attenuation in rain; r_{ed} is the effective length of the route, which takes into account the uneven distribution of rain intensity along the earth's surface and vertically.

The linear attenuation coefficient of a radio signal in rain strongly depends on the frequency and intensity of rain. Thus, at a signal frequency of 10 GHz, the attenuation coefficient when the rain intensity changes from 1 mm/h to 100 mm/h changes from 0.01 dB/km to 3 dB/km.

It is possible to take into account the additional phase change by forming an algorithm that determines its value with a change in frequency. The given model dependencies allow for frequency factorization of the input space-time signals, for example, by introducing a phase correction coefficient containing three components:

$$\phi = \varphi(f, \theta) \cdot k(f, p, T, e) \pm \sigma_\varphi(f, \text{meteoconditions}),$$

where $\varphi(f, \theta)$ is phase shift due to change in refractive index with change in elevation angle of the path; $k(f, p, T, e)$ is correction factor, which specifies the influence on the phase of seasonal changes in atmospheric properties; $\sigma_\varphi(f, \text{meteoconditions})$ is component, which specifies the possible interval of phase change due to fluctuations in refractive index.

In a medium with refractive index n , a radio beam travels a distance l_0 in time nl_0/c . If the propagation path of radio waves is L , and the medium has a granular structure with inhomogeneities of size l_0 , the total number of such inhomogeneities along the propagation path is L/l_0 . The resulting root-mean-square error is proportional to the square root of the number of inhomogeneities.

We have performed analysis and modelling of the parameters of signal passage through the atmosphere, estimated the phase distortions of the signal in the tropospheric radio link, the amplitude distortions of the signal in the tropospheric radio link, as well as methods of correcting signal distortions in the radio link due to the influence of the atmosphere. According to the results of modelling the parameters of signal passage through the atmosphere, the root-mean-square error arising from the heterogeneity of the atmosphere leads to phase distortion of the signal, which can be seen from Fig. 1, b.

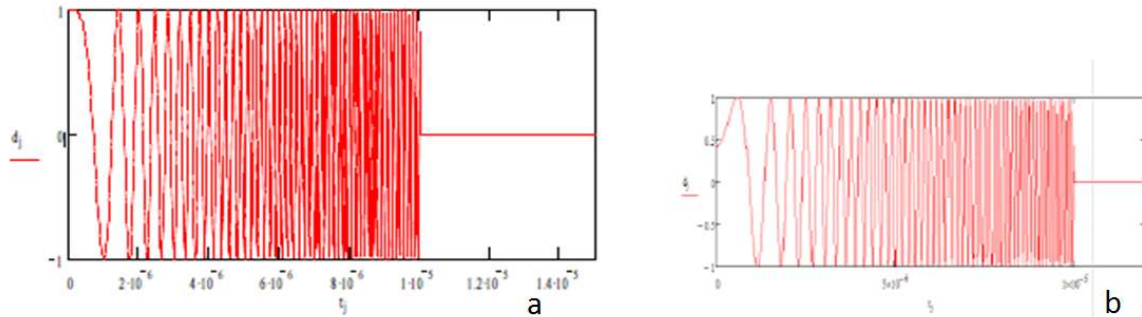


Figure 1 — Signal before the action of atmospheric heterogeneities (a); signal after the action of atmospheric heterogeneities (b)

Next, we analyzed the influence of clouds and air conditions on the delay of the radio signal and the autocorrelation function of the radio signal. All data from this analysis are given in Table 1.

Table 1 — Dependence of the delay $\sigma\tau$ of the radio signal and the autocorrelation function (ACF) $B(t)/B(0)$ of the signal on the size of atmospheric heterogeneities and the mean square error

Atmospheric conditions	$\sigma_n \cdot 10^6$	$l_0, \text{ m}$	$\sigma\tau$	$B(t)/B(0)$
Dense cumulus clouds	30	1200	$6,5 \times 10^{-13}$	$3,3 \times 10^{-5}$
Scattered cumulus clouds	10	800	$2,1 \times 10^{-10}$	$3,4 \times 10^{-5}$
Small scattered clouds	3	330	$4,0 \times 10^{-11}$	$3,5 \times 10^{-5}$
Clear air				
- humid	1	130	$8,5 \times 10^{-12}$	$3,3 \times 10^{-5}$
- normal	0,3	66	$1,8 \times 10^{-12}$	$3,4 \times 10^{-5}$
- dry	0,1	33	$4,3 \times 10^{-13}$	$3,4 \times 10^{-5}$

Table 1 show that atmospheric inhomogeneities have a negligible effect on the quality of signal reception. It is also seen that the largest value of the autocorrelation function ACF is observed with small scattered clouds and normal and dry air.

Thus, as a result of the analysis, the interference affecting the signal phase, the linear-frequency-modulated signal and the signal after passing through the atmosphere were modulated. The influence of interference on the linear-frequency-modulated signal was analyzed. The phase shift during signal propagation in different seasons has a negligible effect on the linear-frequency-modulated (LFM) signal.

When atmospheric inhomogeneities affect the phase of the linear-frequency-modulated signal, a small change in the amplitude of the autocorrelation function (ACF) is observed, which means that atmospheric inhomogeneities do not introduce large distortions into the signal. The largest value of the autocorrelation function (ACF) is observed with small scattered clouds and normal and dry air.

Conclusion. The simulation results confirmed the effectiveness of the proposed approach to analyzing the impact of atmospheric parameters on radio signals. Further development of the model may include taking into account more detailed regional parameters and using machine learning to increase its adaptability. Ukraine has significant potential for implementing modern models of tropospheric influences due to its geographical location and participation in international atmospheric observation programs. Integration of data from national weather stations, satellites and GNSS stations will allow creating high-precision models of the influence of tropospheric factors on the quality of radio signal propagation.

REFERENCES

1. Monitoring Atmospheric Conditions Using GNSS. Ed. by K. Bevis. Elsevier, 2021. 328 p.
2. Li Z., Ho S. Atmospheric Delay Models in GNSS Applications. Springer, 2022. 420 p.
3. Kalashnyk G., Kalashnyk-Rybalko M.A. Research of the optimal geometry of the location of antenna systems of single-frequency receivers of aircraft navigation signals under the influence of space weather. Conference Proceedings, International Conference «GeoTerrace-2022», 3–5 October 2022, Lviv, Ukraine (GeoTerrace'2022). By Publisher: European Association of Geoscientists & Engineers, Volume 2022. p.1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590034>
4. Tsuda T., Fujita M. Effects of Atmospheric Water Vapor on GNSS Observations. *Journal of Geophysical Research*. 2020. Vol. 125, No. 6. P. 10012–10029.
5. Kalashnyk G., Kalashnyk-Rybalko M.A. Architectural features of a promising intelligent space weather data processing system for increasing the efficiency of radio equipment of civil aviation for the conditions of Ukraine. Conference Proceedings, International Conference “GeoTerrace-2024”, 7–8 October 2024, Lviv, Ukraine (GeoTerrace'2024). By Publisher: European Association of Geoscientists & Engineers, Volume 2024 p.1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2024510090>
6. Воробей С.А. GPS-технології в прогнозуванні погоди: досвід України. *Наукові записки НАУ*. 2022. № 3. С. 58–73.
7. Techniques for High Precision GNSS Positioning. Ed. by C. Rizos, K.P. Schwarz. Springer, 2020. 364 p.

ENERGY-EFFICIENT ROUTE PLANNING FOR MARITIME VESSELS THROUGH SCALABLE CLOUD-BASED OPTIMIZATION MODELS

Kalenyk P.I., Vychuzhanin V.V.
Odesa Polytechnic National University
(Ukraine)

Introduction. The increasing global demand for maritime transport is paralleled by the urgency to reduce fuel consumption and carbon emissions. The maritime industry seeks innovative solutions to optimize vessel routes in response to environmental regulations and sustainability goals. This paper explores a scalable, cloud-based optimization framework for energy-efficient maritime navigation, integrating real-time data analytics and advanced routing algorithms.

Relevance of Research. Fuel consumption remains one of the largest operational costs in shipping, accounting for up to 60% of total expenses. With the International Maritime Organization (IMO) enforcing stricter regulations on emissions (EEXI, CII)[1], there is a pressing need to develop systems that reduce environmental impact and adapt to real-world navigation constraints, such as weather, sea currents, traffic density, and restricted areas. Traditional routing methods fail to dynamically incorporate such data. Cloud-based distributed systems offer computational scalability and real-time processing needed to overcome these limitations.

Problem Statement. Despite the availability of weather and sea-state forecasts, most route planning systems still operate with static decision-making models. These models cannot dynamically respond to evolving maritime conditions[2]. Moreover, centralized optimization is computationally expensive and lacks the elasticity to scale with increasing vessel traffic and data influx. There is a clear need for a distributed, cloud-native optimization architecture that prioritizes energy efficiency while responding in real-time.

Research Results. The proposed framework utilizes a hybrid A* and Genetic Algorithm (GA) model[3], optimized for parallel execution on Apache Spark clusters deployed in a Kubernetes-managed cloud environment. Input data includes:

- AIS traffic and historical vessel data
- NOAA weather forecasts
- Ocean current models (Copernicus)
- Bathymetric and obstacle maps

The system processes environmental layers to calculate optimal routes minimizing fuel use, with a dynamic feedback loop updating paths based on new conditions every 15 minutes.

Fuel Consumption Comparison (kg)

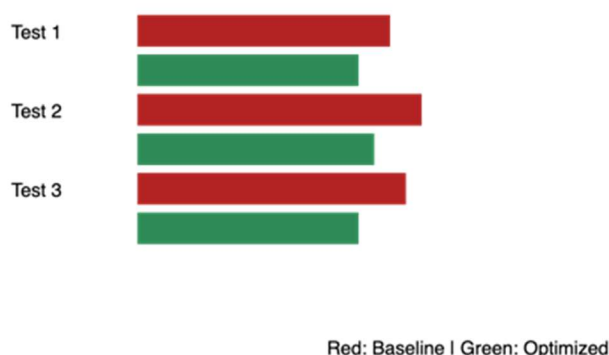


Figure 1 — Fuel consumption comparison

Key experimental findings:

- Fuel savings averaged 11.2% compared to baseline great-circle routes.
- Optimization time per vessel dropped from 90s (centralized) to 14s (16-node distributed cluster).

- Adaptive rerouting reduced average voyage delays by 9.7%.

Optimization Time vs. Cluster Size

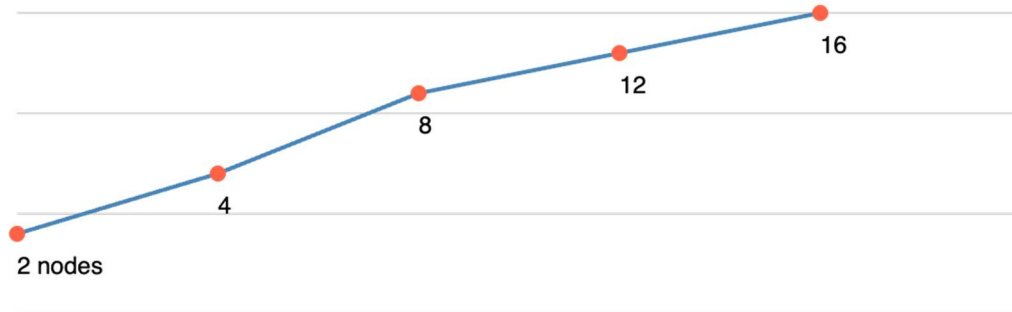


Figure 2 — Dependence of time on the number of clusters

Key Metrics and Outcomes:

- Fuel consumption reduced by 9.5% compared to baseline shortest-path routes
- Delay minimization up to 11.3% under congested port conditions
- Route deviation from weather hazards achieved with >92% accuracy
- Compute time for real-time optimization reduced from ~90s to 12.4s on 16-node cluster

Conclusions. Cloud-native optimization of maritime routes presents a practical solution for reducing operational costs and environmental impact. By leveraging scalable infrastructure and dynamic multi-source data, shipping companies can enhance efficiency and comply with regulatory standards. Future work includes reinforcement learning for predictive routing and integration with port scheduling systems to enable end-to-end optimization.

REFERENCES

1. EEXI and CII — ship carbon intensity and rating system (2025), <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/EEXI-CII-FAQ.aspx?ref=ctvc.co>
2. K. Kalenik, O. Grabar, L. Mohelnyska (2017) The genetic algorithm. The island model of generic algorithm. <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/05/122.pdf>
3. N. Rudnichenko, V.Vychuzhanin, D.Shvedov, T.Otradskeya, I.Petrov (2025) Information system for generating recommendations for risk-oriented trading strategies based on deep learning. CEUR Workshop Proceedings, CEUR Workshop Proceedings, vol. 3917, pp. 110–119, <https://ceur-ws.org/Vol-3917/paper23.pdf>

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ У МОРСЬКІЙ ЛОГІСТИЦІ

Касім А.М.¹, Касім М.М.²

¹Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України
(Україна)

²Національний університет біоресурсів і природокористування України
(Україна)

Вступ. Морська логістика є однією з ключових ланок глобальної транспортної системи. Зі зростанням обсягів міжнародної торгівлі, ефективне планування маршрутів морських суден набуває критичного значення для зменшення витрат, зниження шкідливих викидів та підвищення безпеки перевезень. Класична задача комівояжера (TSP), що полягає у знаходженні найкоротшого маршруту між набором пунктів з поверненням у початкову точку, давно використовується в транспортному моделюванні.

Застосування моделей TSP, адаптованих до задач морської логістики, потребує включення у модельну семантику додаткових факторів: географічної специфіки морських маршрутів, ризиків навігації (динамічних погодних умов), змінної вартості ресурсів тощо. Це зумовлює необхідність формулювання узагальненої моделі з урахуванням множини критеріїв оптимізації. У даному дослідженні пропонується підхід до побудови такої моделі, реалізованої мовою розмітки AMPL, який забезпечує гнучке управління ваговими коефіцієнтами та дозволяє аналізувати вплив різних сценаріїв на вибір маршруту.

Актуальність дослідження. Класичні підходи до оптимізації маршрутів комплексно не враховують специфіку морських перевезень (вплив погодних умов, пов'язані з ними змінні навігаційні ризики, енергоспоживання залежно від напрямку та швидкості вітру, політичну нестабільність у регіонах тощо). Саме тому адаптація задачі комівояжера до багатокритеріального контексту морських перевезень є не лише науково значущою, а й практично важливою задачею.

Розробка моделей, що одночасно враховують набір параметрів (відстань між портами, витрати пального, час і ризик), дає змогу створювати адаптивні системи підтримки прийняття рішень для морських операторів, спрямовані на підвищення ефективності логістичних ланцюгів за рахунок зменшення операційних витрат та потенційних ризиків. Це робить дослідження у цій галузі надзвичайно актуальними для впровадження у сфері інтелектуального транспорту, зеленої логістики та стійкого розвитку морської інфраструктури.

Постановка задачі. TSP є однією з найбільш вивчених задач дискретної оптимізації, яка має широке коло важливих практичних застосувань. Математично ця задача формулюється таким чином. Нехай задана вартісна матриця $C = [c_{ij}]$, де c_{ij} — вартість переходу з міста i у місто j , $i, j = 1, \dots, n$. Необхідно знайти таку перестановку $(p_1, \dots, p_n)$ цілих чисел від 1 до n , при якій досягається мінімум вартості обходу

$$f(p) = c_{p_1 p_2} + c_{p_2 p_3} + \dots + c_{p_n p_1},$$

де $c_{\theta\mu}$ ($\theta = p_1, \dots, p_n$; $\mu = p_2, \dots, p_n, p_1$) — дійсні числа.

Стосовно задач морської логістики термін «вартість» використовується для представлення будь-якого із наступних понять: відстань, час, ризик, витрати пального.

У роботі розглядатиметься задача побудови оптимального маршруту морського судна, яке повинно відвідати заданий набір портів один раз та повернутися до початкової точки. При цьому необхідно врахувати множину заданих критеріїв, які мають вплив на загальні витрати маршруту, зокрема, відстань, витрати пального, час проходження і рівень навігаційного ризику.

Загальна форма цільової функції:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\alpha \cdot d_{ij} + \beta \cdot t_{ij} + \gamma \cdot f_{ij} + \delta \cdot r_{ij}) \cdot x_{ij}$$

означає знайти маршрут, який мінімізує узагальнену вартість морського рейсу, визначену як зважена сума. Тут:

d_{ij} — нормалізована матриця відстаней між портами i та j ;

t_{ij} — нормалізована матриця часу проходження з порту i до порту j ,

f_{ij} — нормалізована матриця витрат пального (енергії) від порту i до порту j ,

r_{ij} — нормалізована матриця ризиків (небезпек маршруту) між портами i та j ,

$x_{ij} \in \{0,1\}$ — булева змінна, яка визначає, чи обирається шлях по дузі $i \rightarrow j$,

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ — цілочислові вагові коефіцієнти, що задають пріоритетність критеріїв.

Основна частина. Вагові коефіцієнти ($\alpha, \beta, \gamma, \delta$) у поставленій багатокритеріальній задачі надають змогу, з одного боку, зрозуміло і просто відобразити пріоритетність критеріїв (наприклад, $\alpha = 3$ означає «втричі важливіше», ніж $\beta = 1$), а з другого – забезпечити інтерпретованість моделі (ваги як ранги чи рейтинги) та порівнювати сценарії у дискретному вигляді через таблицю сценаріїв.

Цілочисельні ваги означають відносну важливість критеріїв. Вони працюють як балансувальні коефіцієнти, не спотворюючи масштаб критеріїв. Щоб ваги мали сенс як пріоритети, потрібно привести всі матриці до одного масштабу. Тобто всі одиниці виміру (км, години, літри, бали ризику) мають бути нормалізовані, інакше ваги не будуть справедливо відображати вплив на загальну вартість маршруту.

Обмеження:

1. Кожен порт повинен бути відвіданий рівно один раз:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j$$

2. Сформований маршрут має бути замкненим (початкова і кінцева точка збігаються).

3. Маршрут не повинен містити підциклів.

Очікуваний результат:

- оптимальний маршрут, що мінімізує зважені витрати;
- аналіз впливу різних вагових коефіцієнтів на вибір маршруту;
- можливість використання моделі для підтримки рішень у реальних умовах морських перевезень.

Ключові положення:

1. Базова модель TSP використовується для знаходження мінімального за довжиною циклічного маршруту між портами з урахуванням евклідових відстаней, розрахованих на основі геодезичних координат морських портів. Прикладом вхідних даних моделі може слугувати список із 12 морських портів Чорного, Середземного та Егейського морів, з їх географічними координатами (широта, довгота), табл. 1.

2. Модифікована цільова функція: додаються компоненти витрат пального, часу доставки та навігаційного ризику, що зводиться до мультикритеріальної функції з ваговими коефіцієнтами ($\alpha, \beta, \gamma, \delta$).

3. Географічні координати: моделі використовують координати портів для побудови матриці відстаней із використанням формули Гаверсину або Вісенті.

Таблиця 1 — Координатні дані портів, які можна використати для побудови моделі оптимального маршруту суден

Код	Назва порту	Країна	Широта	Довгота
ODS	Одеса	Україна	46.4775	30.7326
IST	Стамбул	Туреччина	41.0082	28.9784
VAR	Варна	Болгарія	43.2141	27.9147
CON	Констанца	Румунія	44.1598	28.6348
BAT	Батумі	Грузія	41.6500	41.6333
PIR	Пірей (Афіни)	Греція	37.9400	23.6500
LIM	Лімасол	Кіпр	34.6750	33.0333
ALC	Аліканте	Іспанія	38.3452	-0.4810
MAR	Марсель	Франція	43.2965	5.3698
GEN	Генуя	Італія	44.4056	8.9463
IZM	Ізмір	Туреччина	38.4192	27.1287
HAIFA	Хайфа	Ізраїль	32.7940	34.9896

Відображення зазначених портів на карті можна побачити на рис. 1.

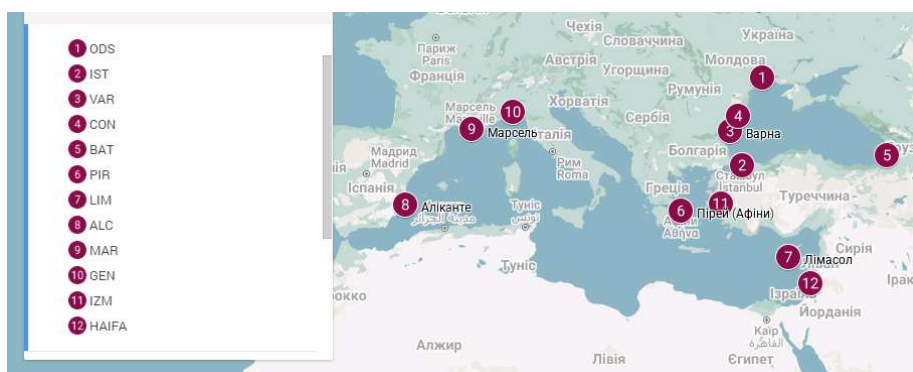


Рисунок 1 — Розташування заданих морських портів на карті

4. Енергетична ефективність: аналізуються витрати пального залежно від довжини маршруту та морських умов (швидкість вітру, течії тощо).

5. Формалізація ризику: використовується оцінка небезпеки у вигляді ймовірності зустрічі з несприятливими погодними умовами, піратською активністю або політичною нестабільністю в регіоні.

6. Алгоритми та інструменти: розв'язання задачі реалізується мовою AMPL (A Mathematical Programming Language) із використанням солверів CPLEX та Gurobi, доступних на платформі NEOS.

AMPL як мова високого рівня для опису задач математичного програмування, що використовує декларативно-алгебраїчний стиль представлення моделей математичного програмування, дає можливість описати складні моделі оптимізації з різними логічними умовами, з використанням складних систем індексації змінних і обмежень.

Результати досліджень. У ході дослідження реалізовано узагальнену модель задачі комівояжера TSP, яка включає обмеження Міллера-Такера-Земліна на зв'язність вершин графу з урахуванням множини критеріїв, релевантних для морської логістики. Модель формалізовано мовою AMPL та протестовано на наборі з множини морських портів Європи, Азії та Африки з географічними координатами.

AMPL задає модель математичного програмування незалежно від даних, що використовуються для конкретного прикладу моделі.

Для кожної пари портів побудовано матриці:

- відстаней (на основі формул Гаверсину, Вісенті),
- орієнтовних витрат пального (як функція відстані з поправкою на погодні умови),
- часу проходження (враховуючи середню швидкість судна та штормову затримку),

- ризиків (на основі геополітичної ситуації та морських загроз у відповідних регіонах).

Кожна із зазначених матриць підлягала нормалізації:

$$\tilde{d}_{ij} = \frac{d_{ij} - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}}, \quad \text{аналогічно для } t_{ij}, f_{ij}, r_{ij}$$

яка зумовлена тим, що критерії не виражаються в однакових одиницях вимірювання, тому їх приведено до безрозмірного вигляду шляхом ділення значення кожного критерію на одиницю відповідного масштабу.

В експериментах евристичне налаштування ваг здійснювалось відповідно до сценаріїв, наведених у табл.2.

Таблиця 2 — Порівняльна таблиця сценаріїв, які конфігурують вагові коефіцієнти

Сценарій	α (відстань)	β (час)	γ (паливо)	δ (ризик)	Стратегія / Ціль
S1 – Баланс	1	1	1	1	Збалансований маршрут
S2 – Економічний	3	1	3	1	Мінімізація витрат (відстань + паливо)
S3 – Оперативний	1	4	1	1	Швидка доставка
S4 – Безпечний	1	1	1	5	Мінімізація ризику
S5 – Енергоощадний	1	1	5	1	Мінімізація споживання пального
S6 – Експрес	0	5	0	0	Ігнорує всі інші фактори, крім часу
S7 – Гібридний	2	2	1	2	Підвищена увага до часу й ризику

Висновки. Розглянуто адаптацію класичної задачі комівояжера (TSP) до задач планування маршрутів морських суден. Запропоновано розширену формальну модель, що враховує просторову специфіку морських шляхів, а також додаткові критерії — споживання пального, час у дорозі та ризик навігації. На відміну від традиційної, цільовою функцією моделі є мінімізація узагальненої вартості маршруту з урахуванням вагових коефіцієнтів, що відображають пріоритети логістичної системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Васюхин М.И., Бень А.П., Касим А.М. Компьютерные системы: устройства связи с объектом: монография. Х.: ХГМА, 2019. 202 с.
2. Васюхин М.И., Касим А.М., Бень А.П. Алгоритмічні методи та програмні засоби синтезу структури зорового образу оточуючої обстановки в інтегрованих геоінформаційних системах реального часу. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019): збірник матеріалів XI Міжнародної науково-практичної конференції, м. Херсон, 28–30 травня 2019 р. Херсон: Херсонська державна морська академія, 2019. С. 232–238.
3. Васюхин М.И., Касим А.М., Бень А.П., Павленко П.М. Програмно-апаратні засоби прецизійного перерахунку координат і візуалізації місцеположення судна. Вісник інженерної академії України. 2019. №3. С. 43–49.
4. Задорожний Б.О., Корчинський О.О., Стецюк П.І., Швець А.В. Як знайти всі розв’язки задачі комівояжера? Тези доповідей XX міжнародної науково-практичної конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2022)», Дніпро, 23–25 листопада 2022 р. Дніпро: ДНУ, 2022. С. 88–89.
5. Касим М.М., Васюхин М.И., Касим А.М. Високоточні методи отримання супутникових навігаційних даних для задач прецизійного водіння. Науковий вісник Херсонської державної морської академії. 2016. №1 (14). С. 299–309.
6. Fourer R., Gay D., Kernighan B. AMPL, A Modeling Language for Mathematical Programming. Belmont: Duxbury Press, 2003. 517 p.

TWO-STAGE PRODUCTION-TRANSPORTATION PROBLEM OF LOCATING COMPLEX EQUIPMENT RECYCLING FACILITIES

Kikot M.S., Maleeva Y.A.

*National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»
(Ukraine)*

Introduction. Transportation logistics is a key component in ensuring the movement of materials and the overall functioning of recycling systems in modern conditions, especially regarding complex equipment (CE) such as civil and military vehicles, consumer electronics, industrial machinery, batteries, and more. While the need to improve waste recycling systems existed before the full-scale war, the ongoing military actions and economic challenges in Ukraine have exacerbated this issue and highlighted the urgent need to revise traditional logistical approaches — particularly in terms of efficient transportation infrastructure for the collection, movement, and recycling of end-of-life or non-functional complex equipment. The practical implementation of regional waste management programs requires the development of logistics systems that optimize the entire chain — from generation to recycling — while simultaneously involving financial, technical, and scientific resources through project-based management [1]. Global environmental trends and EU legislative initiatives on the circular economy further reinforce the need for precise route planning, the selection of logistics hubs, and the management of transportation flows.

Relevance of the Study. Although recycling is not currently among the highest priorities under martial law, a significant increase in the volume of complex equipment, vehicles, and other resources requiring recycling is expected after the end of hostilities. This necessitates the development of scientifically grounded approaches, methods, and models today to ensure the efficient functioning of logistics systems for the collection, sorting, and recycling of such waste in the post-war period. In light of decentralization and increased pressure on infrastructure, the issue of forming an effective transportation logistics system for the movement of complex equipment from collection points to sorting and recycling centers becomes especially relevant. Among the key issues noted in [2] are: a lack of equipment for waste collection and removal, the high cost of waste transportation, and insufficient public information on how to handle certain types of waste. The problem is further complicated by the specific nature of the transported objects: unlike household or food waste, elements of complex equipment may contain hazardous components that require special handling and transportation conditions. This study focuses on the development of a production-transportation model that minimizes transportation costs and optimizes the placement of facilities for sorting and recycling decommissioned complex equipment.

Problem Statement. To build an efficient transportation system for end-of-life complex equipment, it is appropriate to apply approaches to optimizing the location of logistics facilities and delivery routes based on location-allocation (LA) problems. These problems, a specific case of optimal set partitioning (OSP), involve dividing a territory into subsets based on spatial density and waste flows, to minimize costs for transportation, processing, or disposal of resources. The subject of the research includes methods and models for the optimal placement of logistics facilities and route construction that ensure effective waste flow management of complex equipment. The object of the study is the logistics system for the collection, transportation, and recycling of complex equipment.

Research Results. This study formulates a two-stage production-transportation problem as a special case of the LA problem, modeling a sequential process: in the first stage, collection points for complex equipment waste are organized in populated areas, while in the second stage, the collected materials are transported to central sorting and recycling facilities. This approach enables the construction of a mathematical model used to determine the optimal locations for facilities at each stage, as well as the volumes of material flow between them and end-users, to minimize total costs. The objective function includes the total transportation costs of end-of-life complex equipment from dispatch points to local collection and sorting points (LCSP), as well as

the transportation costs of preliminarily sorted waste from LCSPs to processing plants (PP), considering multiple waste types. Additionally, the objective function accounts for the costs of establishing facilities at both the first and second stages. Thus, the objective is to minimize all total costs related to the transportation of raw materials (waste, end-of-life CE) and semi-finished materials (after sorting and preliminary processing) from LCSPs to PPs and the placement of facilities at both stages. The optimization model must also consider constraints such as the processing capacity of recycling facilities at each respective stage.

It is worth noting that the transportation of waste from dispatch points to LCSPs can be carried out by the organizations generating the waste, which means that transportation costs at this stage should be considered on a case-by-case basis. For example, in the European Union, the responsibility for delivering complex equipment to recycling facilities lies with the consumer, and thus, these costs are not included in the model.

However, if major companies regularly supply end-of-life complex equipment, including the cost of transportation to LCSPs can lead to a more optimal solution. This study considers a general case that includes transportation costs from dispatch points to LCSPs.

Moreover, in most cases, if a sufficient number of second-stage facilities (PPs) already exist, the problem can be reduced to determining the locations of LCSPs. PPs include facilities for processing metals, plastics, glass, etc., many of which involve complex technological processes and require expensive equipment. Therefore, it makes sense to consider existing enterprises and solve the location problem for LCSPs based on the current distribution of PPs. The proposed model makes it possible to account for the cost of establishing new facilities or expanding and retrofitting existing ones, if necessary.

To solve the two-stage production-transportation problem, various optimization methods are employed. These include the genetic algorithm, the method of Lagrange multipliers, and the adapted (continuous) p-median method. A more detailed overview and analysis of these approaches is provided in [3].

Conclusions. The study has shown that, to reduce costs, it is advisable to build a network of regional clusters with their own logistics centers for collection and sorting. This approach helps to shorten transportation routes and reduce the load on central infrastructure facilities. Future research will focus on improving the multi-stage transportation problem by expanding the model to account for different types of cargo. This will allow for more accurate modeling of logistics processes, particularly in determining optimal transportation routes for materials with varying characteristics, such as density, toxicity, or potential for reuse. To validate the proposed approaches and refine the mathematical models, further research will involve the use of simulation models, enabling assessment of the efficiency of different resource distribution scenarios, minimization of logistics costs, and identification of the most resilient solutions under varying parameters.

REFERENCES

1. Patseva, I. H., & Nonik, L. Yu. (2024). Strategic analysis of the prerequisites for implementing logistic approaches in the regional waste management system. *Ecological Sciences*, (2)53, 77–83. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.11> (accessed: March 16, 2025).
2. Zaitseva-Chipak, N. (2024, April 29). Management of war destruction waste in Ukraine: Current practices and necessary changes. *Ecology. Law. Human*. Retrieved March 23, 2025, from <https://epl.org.ua/eco-analytics/upravlinnya-vidhodamy-rujnatsiyi-vijny-v-ukrayini-aktualni-praktyky-ta-neobhidni-zminy/>
3. Stanina, O. D. (2019). Models and methods for locating two-stage production with continuously distributed resources [Candidate dissertation, V. N. Karazin Kharkiv National University].

USING UML-FB IN DESIGN AND MODELING OF AUTONOMOUS POWER PLANT ELEMENTS

Mahmoud M.S. Al-suod¹, Ushkarenko O.O.²

*¹Tafila Technical University
(Jordan)*

*²Admiral Makarov National University of Shipbuilding
(Ukraine)*

Introduction. The increasing complexity of autonomous electric power systems, including marine electric power systems, is accompanied by an increasing complexity of the tasks that control and automation systems must solve. At the same time, the volume of information support tools increases significantly, as a result of which both the number of microprocessor modules and the connections between them increase. In recent years, the UML language has been used for the design, specification, visualization, construction and documentation of various systems [1, 2]. However, as practice has shown, the use of UML tools in the development of real-time systems, in particular control systems, has a number of limitations [3]. In order to solve this problem, the UML-FB standard IEC 61499 [4, 5] was developed, in which objects are presented not as classes, but as functional blocks (FB) — idealized "devices" performing a particular function according to an internal algorithm and having input and output events and variables. Based on such FB, it is possible to build real-time systems of any complexity with control of numerical parameters, and, consequently, to analyze an idealized system.

The aim of the research is to develop and model an automated control system for a marine diesel-generator using the UML-FB standard in the FBDK environment to improve the efficiency of designing and analyzing power plant control systems.

The model of the diesel includes an engine model with a speed stabilization system that controls the fuel supply level depending on the shaft load. The main states of the diesel are as follows:

- not running;
- running;
- the shaft load does not exceed the maximum engine power — the nominal shaft speed is maintained by increasing the fuel supply; this value is represented as a percentage of the maximum value:

$$Acceleration = \frac{P_{load}}{P} \cdot 100\% .$$

- the load on the shaft is greater than the maximum engine power. In this case, the fuel supply is maximum (and does not increase), the shaft speed begins to fall and is determined by the equation:

$$\Omega = 0.05(P_{max} - P_{load}) - \Omega_{nom} ,$$

where 0.05 is the weighting factor of the shaft load influence on the engine speed, $\Omega_{nom}=157$ is the nominal revolutions (rad/s);

- the load on the shaft reaches a critical value (at low power $P_{load\_EMER}=2P_{max}$, or the rotor speed drops to 100 rad/sec) – emergency engine shutdown.

Thus, the FB «DIESEL» will have three inputs — maximum engine power (POWER_MAX), shaft load power (POWER_LOAD), start permission (ENABLE_START), and one input event — start (EVENT «START»). The output data will be: the current fuel supply level as a percentage of the maximum value (ACCELERATION), engine shaft (rotor) rotation frequency (ROT_FREQ), overload signal (DROPOUT), emergency stop signal (EMERGENCY_STOP), information about the function execution (EVENT «ON»).

The functional block of the generator includes the generator itself and the control system for stabilizing the output voltage level by changing the excitation current. The main states of the generator:

- off (if the diesel shaft does not rotate);
- on;
- the network load does not exceed the maximum generator power (the nominal value of the output voltage level is maintained by changing the excitation current – the value of which is given as a percentage of the maximum value:

$$Excitation = \frac{P_{load} \cdot 0,05 + 1 \cdot (\Omega_{nom} - \Omega)}{P_{max} \cdot 0,05} \cdot 100\%,$$

where 0.05 and 1 are the weighting factors of the influence of parameter changes on the output voltage level;

- the load in the network exceeds the maximum generator power or/and the rotor speed drops to a critical value – the excitation is maximum and does not increase, the output voltage level is determined by the equation:

$$U = P_{max} \cdot 0,05 - P_{load\_electric} \cdot 0,05 - (\Omega_{nom} - \Omega) \cdot 1 + U_{nom}.$$

where $\Omega_{nom}=157$ – nominal rotation speed (rad/s), $U_{nom}=380V$ – nominal effective voltage at the output;

- the network load and/or the rotor rotation speed reached a critical value, at which

$$\frac{P_{load} \cdot 0,05 + 1 \cdot (\Omega_{nom} - \Omega)}{P_{max} \cdot 0,05} \cdot 100\% > 200\%.$$

or the output voltage is less than 300V – emergency disconnection from the network.

The mechanical power on the generator shaft, taking into account its efficiency 85%, is determined by the equation:

$$P_{load\_mechanic} = \frac{P_{load\_electric}}{85\%}.$$

Thus, the FB «GENERATOR» will have three input variables: the maximum generator power (POWER_MAX), the network load power (POWER_LOAD_EL), the diesel shaft rotation frequency (ROT_FREQ), and one input event — start (EVENT «ROTATE»). The output data will be the excitation current level, as a percentage of the maximum value (STIMULATION), the mechanical load on the generator shaft (POWER_LOAD_MC), information about the output EMF — the effective value (VOLTAGE), frequency (FREQ), an overload signal (DROPOUT), an emergency shutdown signal (EMERGENCY_SHUTDOWN), information about the function execution (EVENT «ON»).

After the diesel and generator models have been created, a composite diesel-generator FB «DIESEL_GENERATOR» can be created (Fig. 1).

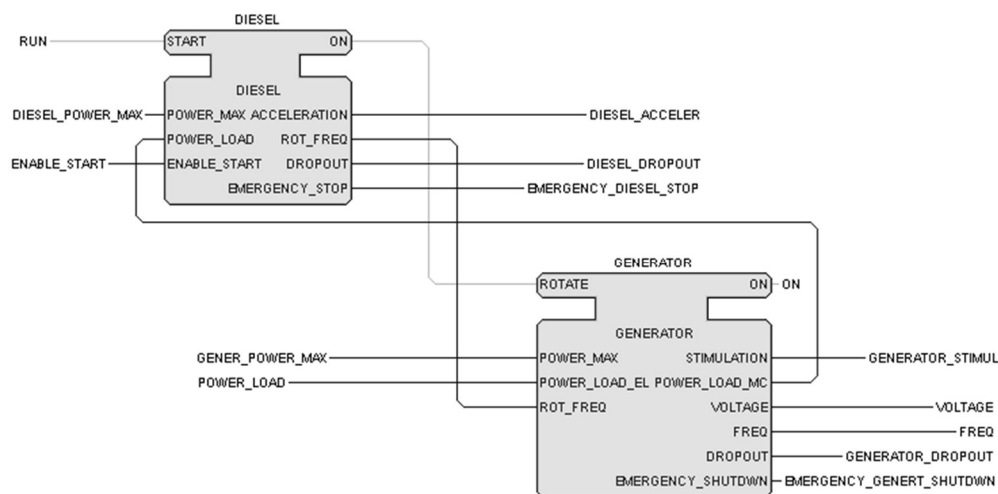


Figure 1 — Internal structure of the DIESEL_GENERATOR block

In Fig. 2 it is shown the test window for the created diesel-generator functional block.

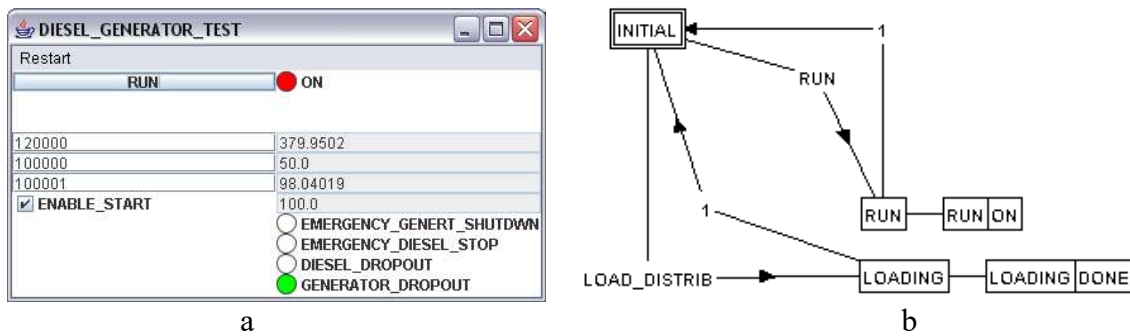


Figure 2 — Simulation of the diesel-generator functional block operation:
a — test window; b — state flow chart

In the example shown, the load power is greater than the generator power, so a generator overload signal is issued. The network voltage, frequency, fuel supply level and excitation current are also displayed. These parameters are determined by the static characteristics of the diesel and generator, which are described at the design stage of the unit (functional block).

There are programs that allow developers to transform the created models on UML-FB into models of «classical» UML (and vice versa). To do this, it is needed to create a class diagram and state diagrams for each class that describe the algorithm of its operation. It's important to note that implementing such transformations typically requires a deep understanding of both source and target metamodels, as well as proficiency in model transformation languages like ATL (Atlas Transformation Language). The main advantages of the new standard in relation to the «classical» are the ability to obtain numerical characteristics of the system and the proximity of the ideology to the features of real-time systems.

Conclusion. The conducted analysis of existing control system modeling methods showed insufficient adaptation of traditional means for designing distributed energy systems in the marine industry. In this regard, the use of the UML-FB approach allowed us to propose a more universal and structured method for constructing control system models. As a result of the research, a model of the automated control system of a marine diesel generator has been developed using the UML-FB standard in the FBDK software environment. Practical implementation of the marine diesel generator model in the FBDK environment demonstrated its operability, flexibility in design and the possibility of further scaling of the system.

REFERENCES

1. Siewe François. On the Execution and Runtime Verification of UML Activity Diagrams / François Siewe, Guy Merlin Ngounou // Software. 2025. Vol. 4, No. 4. P. 1–48.
2. Koç Hatice. UML Diagrams in Software Engineering Research: A Systematic Literature Review / Hatice Koç, Ali Mert Erdoğan, Yousef Barjakly, Serhat Peker // Proceedings. 2021. Vol. 74, № 1. P. 1–8.
3. Birgit Vogel-Heuser. Implementation and Evaluation of UML As Modeling Notation in Object Oriented Software Engineering for Machine and Plant Automation / Vogel-Heuser Birgit, Braun Steven, Kormann Benjamin, Friedrich David // IFAC Proceedings Volumes. 2011. № 44. P. 9151–9157.
4. Lyu G. Towards IEC 61499-Based Distributed Intelligent Automation: A Literature Review / G. Lyu R.W. Brennan // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2021. Vol. 17, No. 4. P. 2295–2306.
5. Mehlhop S. Model-aware Simulation of IEC 61499 Designs / S. Mehlhop, J. Walter // In 2022 IEEE 27-th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Stuttgart, Germany, 2022. P. 1–4.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ЧЕРЕЗ МІНІМІЗАЦІЮ ПРОБІГУ АВТОМОБІЛІВ

Славич В.П., Савченко М.О.

Херсонський національний технічний університет
(Україна)

Вступ. У сучасних умовах глобалізації, урбанізації та стрімкого зростання кількості транспортних засобів на дорогах особливого значення набуває проблема ефективного функціонування транспортних систем. Надмірне навантаження на дорожню інфраструктуру, збільшення часу в дорозі, зростання витрат на паливо та експлуатацію транспорту, погіршення екологічного стану в містах — усе це є наслідками неефективного управління транспортними потоками. Одним із ключових підходів до вирішення цієї проблеми є мінімізація пробігу автомобілів, що передбачає раціоналізацію маршрутів, зменшення порожніх рейсів та оптимізацію логістичних процесів.

Мінімізація пробігу як стратегічна ціль транспортної системи дозволяє суттєво знизити експлуатаційні витрати, підвищити продуктивність перевезень, зменшити знос транспортних засобів, знизити рівень викидів шкідливих речовин в атмосферу, а також покращити якість обслуговування як пасажирських, так і вантажних потоків. Це завдання є актуальним як для комерційного транспорту, так і для державного, муніципального та громадського секторів.

Аналіз досліджень науковців свідчить про застосування різноманітних підходів до покращення функціонування транспортних систем через оптимізацію руху автомобілів [1–5]. Ці роботи підкреслюють важливість удосконалення методів з оптимізації руху транспортних засобів на мережі, що в свою чергу дозволяє покращити використання наявних ресурсів та забезпечити стабільне функціонування транспортної інфраструктури.

Постановка задачі. Метою дослідження є аналіз можливостей підвищення ефективності транспортних систем шляхом зменшення пробігу автомобілів, обґрунтування ключових принципів та методів оптимізації маршрутів, а також окреслення перспектив розвитку транспортної галузі в цьому напрямку.

Основна частина. Мінімізація пробігу автомобілів як інструмент підвищення ефективності транспортної системи охоплює широкий спектр заходів, які можуть бути реалізовані на рівні окремих підприємств, міських систем і державної транспортної політики. Основним завданням є забезпечення максимальної ефективності руху при мінімальних витратах ресурсів.

Одним з головних напрямів є оптимізація маршрутів транспорту, що передбачає ретельне планування переміщення автомобілів з урахуванням географічних, тимчасових, інфраструктурних та економічних факторів. Розробка оптимальних маршрутів сприяє зменшенню витрат часу та палива, зменшенню кількості зупинок, а також скороченню непотрібних відстаней, які долає транспорт.

Для вирішення проблеми мінімізації пробігу автомобілів побудуємо маршрутизовану транспортну мережу та визначимо оптимальні маршрути для автотранспорту.

Для побудови математичної припустимо, що маємо множину пунктів обслуговування $P = \{1, 2, \dots, n\}$, які необхідно відвідати, та транспортні засоби, що рухаються між цими пунктами.

Введемо матрицю відстаней між пунктами $D=(d_{ij})$, де:

- 1) $d_{ij} \geq 0$ — відстань або час переміщення від пункту i до пункту j , причому
 - 2) $d_{ii}=0$, оскільки переміщення в межах одного пункту не має змісту.
- Матриця може бути симетричною (якщо $d_{ij} = d_{ji}$) або асиметричною у випадку дорожніх обмежень, односторонніх вулиць тощо.

Введемо наступну змінну:

$$x_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо транспорт не рухається від пункту } i \text{ до пункту } j, \\ 1, & \text{якщо транспорт рухається від пункту } i \text{ до пункту } j. \end{cases}$$

Метою є мінімізація загального пробігу автомобілів, тому:

$$\min \sum \sum d_{ij} \cdot x_{ij}, i=1 \dots n, j=1 \dots n.$$

За умови, що кожна точка обслуговується лише одним транспортним засобом:

$$\begin{aligned} \sum x_{ij} &= 1, \forall i \in P, j \neq i \\ \sum x_{ij} &= 1, \forall j \in P, i \neq j. \end{aligned}$$

Для уникнення підциклів у маршрутах вводиться змінна u_i та наступні обмеження:

$$u_i - u_j + n \cdot x_{ij} \leq n - 1.$$

Також слід врахувати цілочисельні умови:

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, u_i \in Z, 1 \leq u_i \leq n.$$

Подана модель належить до класу задач комівояжера з розширенням для множинних точок та обмежень. Для невеликої кількості пунктів (до пари десятків) вона може бути розв'язана за допомогою лінійного або цілочисельного програмування. Для більших задач слід застосовувати евристичні методи, які дозволяють отримати рішення високої якості з помірним обчислювальним навантаженням.

Залежно від специфіки задачі в модель доцільно додати наступні доповнення:

- 1) Обмеженнями на вантажопідйомність чи об'єм транспорту.
- 2) Часовими вікнами обслуговування (інтервалами, коли пункт доступний).
- 3) Обмеженнями на кількість доступних транспортних засобів.
- 4) Додаванням коефіцієнтів пріоритетності для окремих маршрутів.

Висновки. Мінімізація пробігу автомобілів є не лише технічним чи логістичним завданням, а й стратегічним напрямом розвитку сучасних транспортних систем. Вона забезпечує досягнення цілей сталого розвитку, дозволяє підвищити продуктивність перевезень, зменшити витрати і негативний вплив транспорту на довкілля. Комплексний підхід до мінімізації пробігу включає в себе впровадження цифрових технологій, аналітики, гнучке планування маршрутів і інтеграцію транспорту в єдину систему управління. Підвищення ефективності транспортних систем таким чином створює основу для формування зручної, швидкої, економічної та екологічно відповідальної транспортної інфраструктури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аулін В. В., Біліченко В. В., Голуб Д. В., Замуренко А. С. Особливості дослідження ефективності транспортних систем на етапах життєвого циклу. *Вісник машинобудування та транспорту*, 2021. Т. 13, № 1, С. 4–12.
2. Онищук В. П., Стельмашук В. В., Мурований І. С. Підвищення ефективності вантажних автомобільних перевезень. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2016. Т. 1, № 5. 177 с.
3. Славич В.П., Савченко М.О. Критеріальна модель управління рухом автомобільного транспорту. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування*. 2024. № 2. С. 65–70.
4. Славич В.П., Стоянович В.А. Модель визначення часу подолання автомобілями зони транспортного затору. *Вісник ХНТУ*. 2021. № 2(77). С. 52 – 56.
5. Хара М. В., Шевченко Є. І. Підвищення ефективності перевезень в системах міського транспорту на основі логістичних технологій. *Проблеми підготовки професійних кадрів з логістики в умовах глобального конкурентного середовища: збірник доп. XXII Міжнародної наук.-практ. конф. / Національний авіаційний університет*. Київ, 2024. С. 449–452.

ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Сохацький А.В.

*Інститут транспортних систем та технологій НАН України
Університет митної справи та фінансів
(Україна)*

Вступ. Створення перспективних транспортних засобів, що працюють на нових фізичних принципах є надзвичайно складною проблемою [1, 2]. Необхідні розробки нових транспортних технологій. Подальший їх розвиток пов'язаний з формуванням нової інтегрованої транспортної системи в контексті концепції сталого розвитку, що передбачає перехід на екологічно чисті та безпечні технології. Необхідні ефективні рішення проблеми кардинального підвищення швидкості та пропускної здатності транспортних систем при малих витратах енергії [1–5]. Крім традиційних вимог до безпеки, доступності та якості перевезень найбільш чітко проявляються вимоги до екологічності, мультимодальні та швидкості транспортних послуг, що надаються. Підвищення швидкості перспективних транспортних засобів вимагає ефективного розв'язування проблем, що пов'язані з динамікою руху та експлуатаційними характеристиками.

На сьогодні гостро стоять питання про надання перспективним транспортним засобам оптимальних аеродинамічних характеристик. Високошвидкісні транспортні засоби рухаються в суцільному повітряному середовищі для якого характерні невизначеності їх параметрів.

Реальний рух транспортного засобу відбувається в турбулентному повітряному середовищі. Моделювання турбулентних рухів повітряних мас є фундаментальною проблемою як теоретичної фізики так і практичної аеродинаміки [3–6]. Відсутність універсальної теорії опису турбулентних течій створює проблеми з визначенням аеродинамічних навантажень [3–6]. Це питання є одним із ключових моментів при проектуванні високошвидкісних наземних транспортних засобів, оскільки при високих швидкостях руху тільки на подолання опору повітря може припадати до 90% загальних енергетичних витрат. Таким чином необхідні фундаментальні дослідження в аеродинаміці високошвидкісного наземного транспорту [1, 2].

Актуальність досліджень. Реальні течії навколо транспортних апаратів є виключно турбулентними. Їх математичне моделювання і на сьогодні залишається складною проблемою обчислювальної аеродинаміки. Тому розробка математичних моделей аеродинамічних процесів є актуальним та важливим завданням. Методи моделювання турбулентних течій, з певною мірою умовності можна розділити на три групи: підходи, що базуються на використанні осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса (Reynolds Averaged Navier — Stokes — RANS); два класичних підходи — пряме числове моделювання турбулентності (Direct Numerical Simulation — DNS) і метод моделювання великих вихорів (Large Eddy Simulation — LES); гібридні підходи, що спираються на спільне використання RANS і LES підходів для різних областей течії [3–5].

На сьогодні найбільш поширеними підходами є методи, що базуються на використанні осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса (Reynolds Averaged Navier — Stokes — RANS). Вони замикаються за допомогою тієї або іншої напівемпіричної моделі турбулентності.

Класичні вихоророзрізняючі підходи є найбільш досконалими. Це пряме числове моделювання турбулентності (Direct Numerical Simulation — DNS) і метод моделювання великих вихорів (Large Eddy Simulation — LES). Метод DNS базується на безпосередньому прямому числовому розв'язуванні тривимірних нестационарних рівнянь Нав'є-Стоксу з розрізненням усіх просторово-часових масштабів турбулентності.

Він ґрунтується на фізичних принципах аеродинаміки і повністю вільний від емпіричних припущень.

У рамках методу LES ті ж рівняння розв'язуються безпосередньо після їх попередньої просторової фільтрації. Це дозволяє виключити з розгляду частину просторово-часових масштабів. Проведена операція дозволяє значно понизити вимоги до просторово-часового розрізнення. Таким чином понижуються вимоги до необхідних обчислювальних ресурсів.

Для урахування впливу відфільтрованих («підсіткових») масштабів турбулентності притягуються ті або інші напівемпіричні моделі.

У науковій літературі для підкреслення кардинальних відмінностей методу LES від підходів, що використовуються для замикання RANS, їх називають «підсітковими».

До третьої групи відносять гібридні підходи, що спираються на спільне використання RANS і LES підходів в різних областях течії. Вони є найбільш розповсюдженими для практичного використання, виходячи з можливостей обчислювальної техніки.

Постановка задачі. Дослідження тепломасообмінних та аеродинамічних процесів у різноманітних технічних пристроях — надзвичайно актуальне завдання. Один з найкращих шляхів розв'язування задачі — комп'ютерне моделювання з використанням рівнянь Нав'є-Стокса. Останнім часом друкується все більше наукових праць про числові методи розв'язування повних та осереднених рівнянь Нав'є-Стокса. Їх аналіз показує, що значного прогресу було досягнуто в результаті застосування скінченно-різницевого методу та емпіричних моделей турбулентності. Проте існує ще цілий ряд проблем розв'язування задач аеродинаміки з використанням рівнянь Нав'є-Стокса. У зв'язку із цим слід шукати нові ефективні методи, алгоритми та способи розв'язування цих рівнянь.

Зазвичай розрахункова область досліджуваного пристрою складна, тому необхідно використовувати криволінійну систему координат. Система рівнянь Нав'є-Стокса у формі Рейнольдса для довільної криволінійної системи координат запишеться:

$$\frac{\partial \hat{Q}}{\partial \alpha} + \frac{\partial (\hat{E} - \hat{E}_v)}{\partial \xi} + \frac{\partial (\hat{F} - \hat{F}_v)}{\partial \eta} + \frac{\partial (\hat{G} - \hat{G}_v)}{\partial \zeta} = \hat{H}, \quad (1)$$

де $\hat{Q}$ — вектор невідомих змінних; $\hat{E}, \hat{F}, \hat{G}$ — вектори нев'язких потоків; $\hat{E}_v = \xi_x E_v + \xi_y F_v + \xi_z G_v$, $\hat{F}_v = \eta_x E_v + \eta_y F_v + \eta_z G_v$, $\hat{G}_v = \zeta_x E_v + \zeta_y F_v + \zeta_z G_v$ — вектори в'язких потоків; $\hat{H} = 1/j H$ — вектор джерельних членів.

Вектори $\hat{Q}, \hat{E}, \hat{F}, \hat{G}, E_v, F_v, G_v$ визначаються наступними співвідношеннями:

$$\hat{Q} = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho w \\ E_t \end{bmatrix}, \quad \hat{E} = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} \rho U \\ \rho U u + \xi_x p \\ \rho U v + \xi_y p \\ \rho U w + \xi_z p \\ (E_t + p)U - \xi_x p \end{bmatrix}, \quad \hat{F} = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} \rho V \\ \rho V u + \eta_x p \\ \rho V v + \eta_y p \\ \rho V w + \eta_z p \\ (E_t + p)V - \eta_y p \end{bmatrix}, \quad \hat{G} = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} \rho W \\ \rho W u + \zeta_x p \\ \rho W v + \zeta_y p \\ \rho W w + \zeta_z p \\ (E_t + p)W - \zeta_z p \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$E_v = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} 0 \\ \tau_{xx} \\ \tau_{xy} \\ \tau_{xz} \\ u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz} - q_x \end{bmatrix}, \quad F_v = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} 0 \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yy} \\ \tau_{yz} \\ u\tau_{xy} + v\tau_{yy} + w\tau_{yz} - q_y \end{bmatrix}, \quad G_v = \frac{1}{J} \begin{bmatrix} 0 \\ \tau_{xz} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zz} \\ u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz} - q_z \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де $\xi_x, \xi_y, \xi_z, \eta_x, \eta_y, \eta_z, \zeta_x, \zeta_y, \zeta_z$ — метричні коефіцієнти, $J = \partial(\xi, \eta, \zeta) / \partial(x, y, z)$ — якобіан перетворення координат, $\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{zz}, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ — компоненти тензора напружень та

q_x, q_y, q_z — компоненти вектора теплових потоків. $E_t = \rho \left[e + \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2) \right]$.

У системі рівнянь (1) n -компонентні вектори $\hat{Q}, \hat{E}_i, \hat{F}_i, \hat{G}_i, \hat{E}_v, \hat{F}_v, \hat{G}_v$ мають відповідний вигляд в залежності від моделі турбулентності.

Для розв'язування вихідних рівнянь (1) застосовано метод скінченного об'єму. Турбулентні ефекти описуються в рамках гіпотези Буссінеска про уявлення дотичних напружень з використанням напівемпіричної моделі для турбулентної в'язкості.

При числовому розв'язуванні системи рівнянь Нав'є-Стокса у формі Рейнольдса, записаних для довільної криволінійної системи координат, використано підхід Ван-Ліра [6].

Замикання системи рівнянь (1) виконано з використанням однопараметричної диференціальної моделі турбулентності Спаларта-Аллмараса в реалізації відокремлених вихорів (DES) [7].

Результати дослідження. Розроблений комплекс програмного забезпечення, що базується на осереднених за Рейнольдсом Нав'є-Стокса, замкнених моделлю турбулентності Спаларта-Аллмараса в реалізації відокремлених вихорів, протестовано на задачі поперечного обтікання колового циліндра. Застосовано багатоблочний підхід — розрахункову область було розбито на три блоки. Результати розрахунків (рис. 1) порівнюються з експериментальними даними [8].

На рис. 2 показано течію за циліндром, одержану розрахунковим шляхом та в експерименті [9, 10]. Після досягнення усталеного режиму за циліндром розвивається вихорова доріжка. На рис. 2 подано результати розрахунку та фотографії поля течії з експерименту [9, 10]. Видно, що на наведеному матеріалі спостерігається подібність полів течії. Це свідчить про відповідність математичної моделі фізичним процесам, що моделюються.

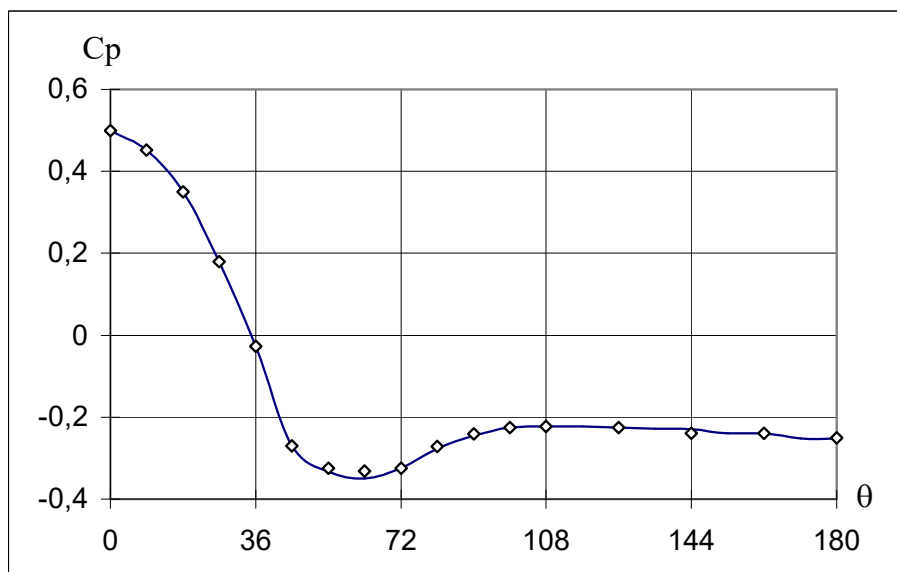
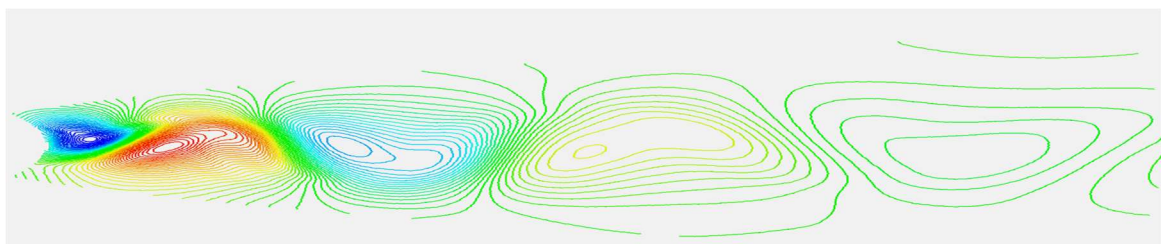
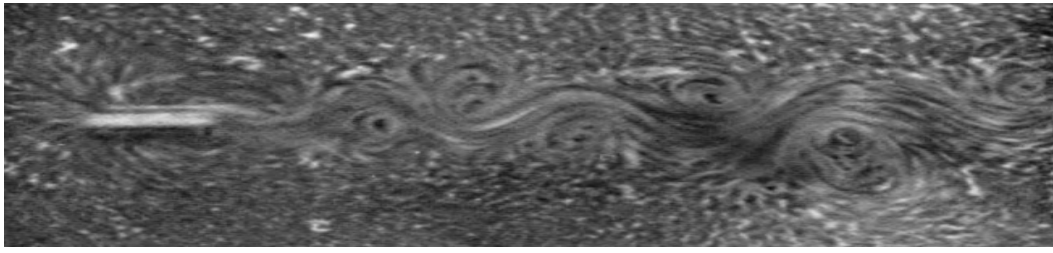


Рисунок 1 — Розподіл коефіцієнта тиску на поверхні циліндра для $Re = 14000$: розрахунок $Re = 14000$; O — експеримент $Re = 14500$ [8]



а)



б)

Рисунок 2 — Вихорова доріжка в сліді колового циліндра:

а — розрахунок (блок 3) $Re = 19\,300$; б — експеримент $Re = 19\,300$ [9,10]

Висновки. Розглянуто проблематику розв'язування задач аеродинаміки з використанням комп'ютерних технологій за рівнем складності. Розроблено методики, алгоритми та програмне забезпечення моделювання аеродинамічних процесів з використання осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є–Стокса. Виконано тестування алгоритмів та програм. У подальших дослідженнях необхідно вдосконалювати методики, алгоритми та програмний комплекс з урахуванням особливостей фізичних процесів та властивостей середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту п'ятого покоління / Геєць В.М., Волошин О.І., Дзензерський В.О., Никифрук О.І. Київ; НАН України, 2020. 254 с.
2. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / Дзензерский В.А., Омеляненко В.И., Васильев С.В., Матин В.И. и др. Киев. Наукова думка, 2001. 480 с.
3. Anderson J. D. Computational fluid dynamics. McGraw-Hill series in mechanical engineering, U.S.A., 1993. 540 p.
4. Приходько А. А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассообмене: монографія. К.: Наукова думка, 2003. 380 с.
5. Приходько А.А., Сохацкий А.В. Математическое и экспериментальное моделирование аэродинамики элементов транспортных систем вблизи экрана: монографія. Днепропетровск: Наука и образование, 1998. 160 с.
6. Van Leer B. Flux-vector splitting for the Euler equations. *Lecture Notes in Phys.* 1982. V. 170. P. 507–512.
7. Spalart P. R., Allmaras S. R. A one-equation turbulence model for aerodynamic flows *La Recherche Aerospaciale*. 1994. № 1. P. 5–21.
8. Roshko A. On the drag and shedding frequency of two-dimensional bluff bodies. *NACA Tech. Note*. 1954. № 3169. 29 p.
9. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости М.: Мир, 1973. 778 с.
10. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа. М.: Мир, 1986. 184 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ ОБЕРТАННЯ РОТОРУ ДАР'Є ІЗ ЗМІННИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ МОДЕЛІ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ КАНАЛІВ

Тарасов С.В., Молотков О.Н.

*Інститут транспортних систем та технологій НАН України
(Україна)*

Вступ. Вітроенергетичні установки (ВЕУ) різноманітної конструкції отримали широке розповсюдження в усіх сферах світової економіки. Попит на енергію різних форм, ймовірно, буде неперервно зростати. Нагальна потреба задовольнити зростаючий попит, принаймні частково, викликає подальшу розробку як великомасштабних вітрових турбін (ВТ) наземного базування, так і морських та річкових турбін значної і невеликої потужності. На сьогоднішній день існує також значна кількість рухомих морських об'єктів, які потребують використання допоміжних автономних джерел енергії. Такими, безумовно, є без екіпажні судна розташовані на відповідних допоміжних позиціях в режимі очікування, коли основна силова установка не задіяна, а керуючі пристрої та системи зв'язку довготривало потребують порівняно незначних енергетичних ресурсів. Використання альтернативних джерел енергії, а саме ВЕУ вертикально-осьового типу, для вирішення задач енергозабезпечення в таких режимах може бути достатньо ефективним. При розробці будь-яких ВЕУ важливо використовувати максимальну доступну потужність вітру для досягнення роботи ВТ на максимальній потужності, для забезпечення чого використовуються системи стабілізації (СС) обертання ротора ВТ навколо точки максимальної потужності. Перспективним напрямом створення конструкції таких систем є використання ротору Дар'є змінної конфігурації, підтримка роботи якого навколо точки максимуму потужності здійснюється керованими сумісними змінами довжини лопатей і траверс турбіни. Такий ротор може бути зроблений висувним із корпусу судна, а розсувні лопаті і траверси роблять його максимально компактним і придатним для того щоб сховати всередині корпусу судна при зміні погодних умов або у разі уникнення потреби.

Актуальність досліджень. Алгоритми стабілізації обертання ротору Дар'є, керованого змінами довжини лопатей було запропоновано в роботі [1], керованого змінами довжини траверс в [2], алгоритми стабілізації ротору, керованого сумісними змінами довжини лопатей і траверс, розвинуті в роботі [3]. У роботі [3] запропоновано підхід та розвинуто методику перерозподілу навантаження на канали стабілізації для зменшення змін довжини траверс і, як слідство, моменту інерції ротора, за рахунок збільшення довжини лопатей. Продовження робіт в цьому напрямку, а саме розробка ефективних алгоритмів стабілізації обертання ротора Дар'є вертикально-осьових ВЕУ є задачею актуальною, такою що має не аби який практичний інтерес. У роботі, що пропонується, аналізується модель динаміки ротора ВЕУ, керованого сумісними змінами довжини лопатей і траверс як об'єкта управління, яка може бути використана при обґрунтуванні конструктивних рішень при проєктуванні вертикально-осьових ВЕУ із ротором Дар'є. На основі чисельного моделювання процесів стабілізації оцінено ефективність алгоритмів перерозподілу навантаження на канали стабілізації із змінними коефіцієнтами лінеаризації.

Постановка задачі. У роботі [3] проведена оцінка ефективності алгоритмів стабілізації обертів ротора із змінною довжиною лопатей та траверс шляхом дослідження рівнянь у відхиленнях із незмінними за часом коефіцієнтами:

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = (k_1\Delta V + k_{2h}\Delta H + k_{2r}\Delta R - \Delta\omega) / T ,$$

$$\begin{aligned}\frac{d\Delta H}{dt} &= (k_{2h}K_2\Delta H + ((K_1T - K_2)\Delta\omega + k_1K_2\Delta V)(1-a))/T, \\ \frac{d\Delta R}{dt} &= (k_{2r}K_2\Delta R + ((K_1T - K_2)\Delta\omega + k_1K_2\Delta V)a)/T,\end{aligned}\quad (1)$$

де k_1, k_{2h}, k_{2r}, T — коефіцієнти лінеаризації, K_1, K_2 — коефіцієнти зворотних зв'язків, $a \in [0,1]$ — параметр перерозподілу навантаження на канали стабілізації; символом Δ — позначені відхилення відповідних параметрів від значень, що встановлюються.

Але зміни довжини лопатей ΔH та траверс ΔR можуть бути достатньо значущі, тому виникає необхідність провести додаткові розрахунки перехідних функцій $\Delta\omega(t)$, $\Delta H(t)$ і $\Delta R(t)$ з урахуванням їх значних змін. Проведемо відповідне моделювання стосовно запропонованих в роботі [3] алгоритмів формування зворотних зв'язків. При цьому будемо вважати такими, що виконуються наступні припущення:

- зміни $\Delta H(t)$ і $\Delta R(t)$ викликають лише відповідні зміни постійної часу T і коефіцієнтів k_{2h}, k_{2r} ;

- момент інерції ротора та всі інші параметри моделі вважаються незмінними і приймають значення, наведені в роботі [3].

Результати досліджень. При прийнятих припущеннях система рівнянь (1) перетворюється на систему із змінними в часі коефіцієнтами:

$$\begin{aligned}\frac{d\Delta\omega}{dt} &= (k_1\Delta V + k_{2h}(t)\Delta H + k_{2r}(t)\Delta R - \Delta\omega)/T(t), \\ \frac{d\Delta H}{dt} &= (k_{2h}(t)K_2\Delta H + ((K_1T - K_2)\Delta\omega + k_1K_2\Delta V)(1-a))/T(t), \\ \frac{d\Delta R}{dt} &= (k_{2r}(t)K_2\Delta R + ((K_1T - K_2)\Delta\omega + k_1K_2\Delta V)a)/T(t),\end{aligned}\quad (2)$$

де постійна часу $T(t)$ і коефіцієнти $k_{2h}(t), k_{2r}(t)$ будуть змінюватись за часом відповідно до співвідношень:

$$\begin{aligned}T(t) &= \frac{2J\omega_o^2}{C_p\rho_o S(t) \cdot V_o^3(1-\eta)}, \quad k_{2h}(t) = \frac{2R(t)\omega_o}{S(t) \cdot (1-\eta)}, \quad k_{2r}(t) = \frac{2H(t)\omega_o}{S(t) \cdot (1-\eta)}, \\ S(t) &= 2R(t) \cdot H(t), \quad H(t) = H_o + \Delta H(t), \quad R(t) = R_o + \Delta R(t).\end{aligned}\quad (3)$$

Вивчимо вплив змін швидкості вітру на динаміку ротора вертикально-осьової ВЕУ, керованого шляхом сумісних змін довжини лопатей і траверс. Для цього будемо вважати, що довготривалі зміни швидкості вітру моделюються одиничною ступеневою функцією $\Delta V(t) = 1(t)$. Проведемо розрахунок перехідних функцій $\Delta\omega(t)$, $\Delta H(t)$ і $\Delta R(t)$ інтегруванням системи рівнянь (2) із змінними в залежності від часу коефіцієнтами (3). Розраховані перехідні функції при значеннях коефіцієнтів $K_1 = -6$, $K_2 = -30$ і значенням параметру перерозподілу навантаження $a = 1/2$ для випадків системи рівнянь у відхиленнях із незмінними коефіцієнтами (1) і для системи рівнянь із змінними коефіцієнтами (2), (3), представлені на рис. 1, 2.

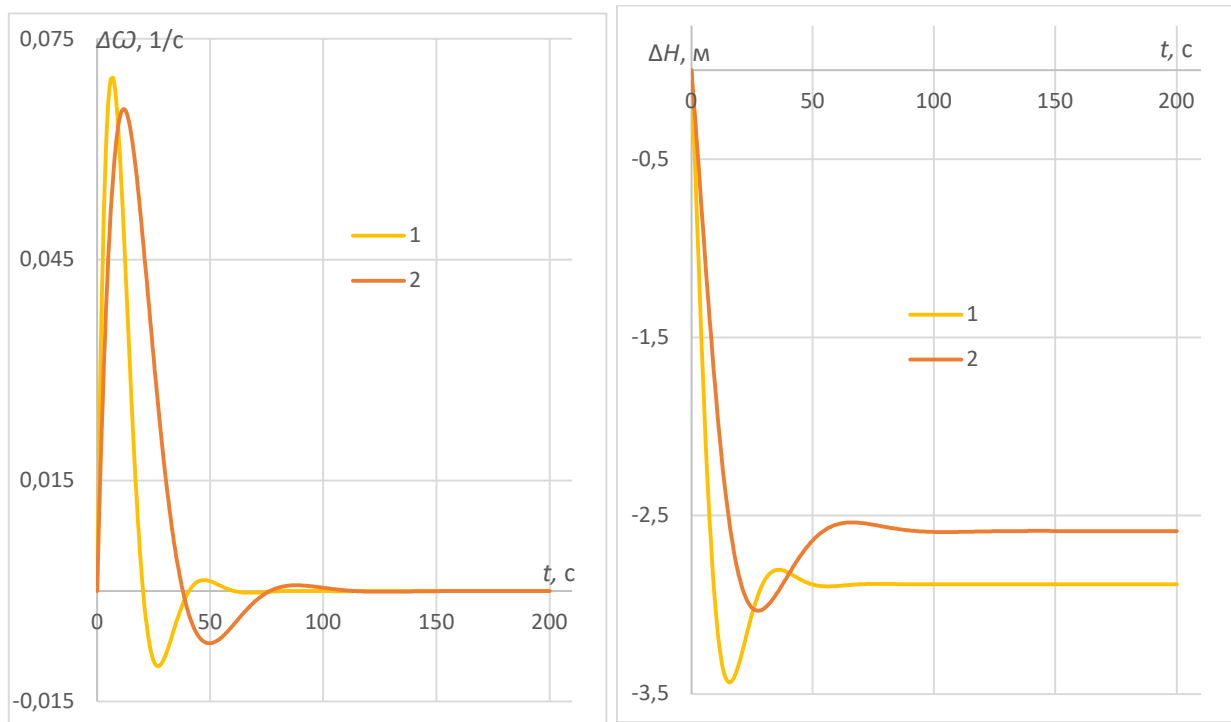


Рисунок 1 — Залежності $\Delta\omega$, 1/с і ΔH , м від часу t , с

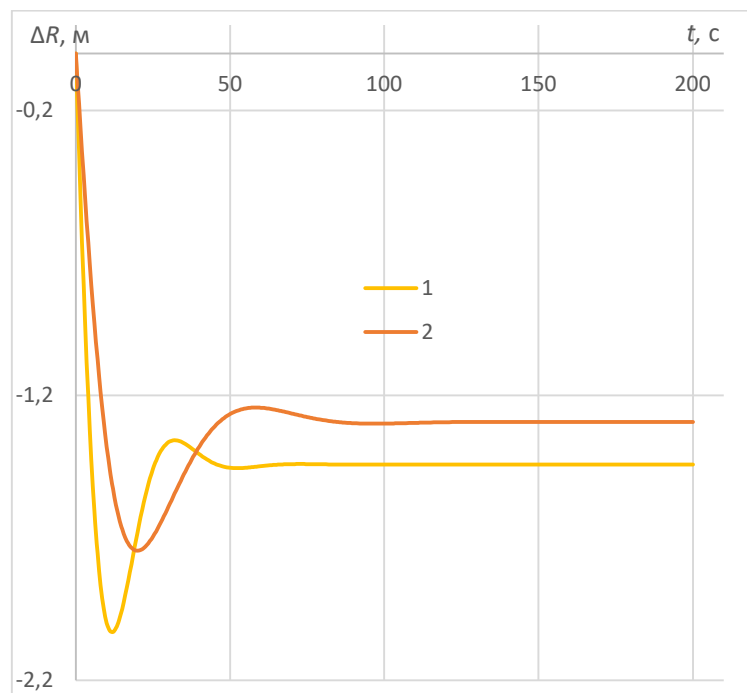


Рисунок 2 — Залежності ΔR , м від часу t , с

Цифри 1 і 2 на рис. 1, 2 позначено: 1 — модель з незмінними коефіцієнтами лінеаризації, 2 — модель із змінними за часом коефіцієнтами, відповідно.

Аналіз наведених перехідних функцій дозволяє зробити наступні висновки:

- перехідні функції, обраховані для випадків системи рівнянь у відхиленнях із незмінними коефіцієнтами (1) і для системи рівнянь із змінними коефіцієнтами (2), (3) якісно подібні;
- властивість стійкості системи при переході від системи рівнянь у відхиленнях із незмінними коефіцієнтами (1) до системи рівнянь із змінними коефіцієнтами (2), (3) не втрачена;
- поведінка системи із змінними коефіцієнтами краща ніж системи із незмінними

коефіцієнтами, а саме пікові та кінцеві значення $\Delta H(t)$ і $\Delta R(t)$, що встановлюються, суттєво зменшуються, що позитивно впливає на динамічні властивості системи в цілому;

- кінцеве значення $\Delta \omega(t)$ залишається незмінним і дорівнює нулю.

Спрямувавши до нулів праві частини системи рівнянь (2) і розв'язуючи отриману систему лінійних алгебраїчних рівнянь, обчислюємо кінцеві значення $\Delta H(t)$ і $\Delta R(t)$, що встановлюються:

$$\Delta R(t) = -\frac{3aR_o\Delta V}{V_o + 3a\Delta V}, \quad \Delta H(t) = -\frac{3(1-a)H_o\Delta V}{V_o + 3(1-a)\Delta V}. \quad (4)$$

Порівняння кінцевих значень, обчислених із співвідношень (4) із значеннями, отриманими по перехідним функціям при чисельному моделюванні, доводить практично повний їх збіг.

Висновки. Проаналізована математична модель динаміки двоканальної системи стабілізації обертання ротора вертикально-осьової вітроенергетичної установки, керованої сумісними змінами довжини лопатей і траверс із перерозподілом навантаження на канали. Проведене чисельне моделювання довело придатність та ефективність запропонованої моделі для опису динаміки ротора ВЕУ із системою стабілізації зі змінними за часом коефіцієнтами лінеаризації. Отримані співвідношення для розрахунку кінцевих значень перехідних функцій, які встановлюються. Проведені дослідження можуть бути використані при обґрунтуванні конструктивних рішень при проектуванні вертикально-осьових ВЕУ із ротором Дар'є.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тарасов С. В., Молотков О.Н. Алгоритми стабілізації швидкості обертів ротора Дар'є вітроенергетичної установки, керованого змінами довжини лопатей / С. В. Тарасов, О.Н. Молотков — Технічна механіка — 2023, № 4, с. 50 — 59. <https://doi.org/10.15407/itm2023.04.050>.
2. Тарасов С. В., Молотков О. Н. Модель динаміки ротора Дар'є, керованого змінами довжини траверс. Матеріали 15-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» (СЕУТТОО-2024) 13–15 березня 2024 р. Зб. наук. праць. Херсон: Херсонська державна морська академія. 2024. С. 224–226.
3. Тарасов С. В., Молотков О. Н. Стабілізація обертання ротора Дар'є сумісними змінами довжини лопатей і траверс. Технічна механіка. 2024. № 2. С. 92–105. <https://doi.org/10.15407/itm2024.02.092>

IMPROVING THE EFFICIENCY OF TRANSPORT LOGISTICS IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY AND RISK

Sharko O.V., Doroshenko O.S., Y. S. Zhyschynskiy

Kherson State Maritime Academy

(Ukraine)

Introduction. The development of sea freight logistics in conditions of uncertainty caused by dynamic changes in the external environment is characterized by the fact that simultaneously with the evolution of its concepts and adaptation to changes in operating conditions, there is a process of developing methodological foundations for management and making informed decisions on optimizing transportation parameters and technologies. The unpredictability of the influence of the external environment and the uncertainty of risk-related situations require the development of new approaches to modeling transportation.

Analysis of trends in the development of international sea freight shows that with an increase in the volume of cargo transportation, the level of accidents increases. When developing transport logistics schemes for cargo delivery, insufficient attention is paid to the issues of assessing risk factors and reducing their impact on the transportation process. The main difficulty in modeling risk situations lies not in performing calculations, but in building the models themselves that are adequate to the real situation.

The purpose of the work is to improve the efficiency of transport logistics by building regulatory procedures for managing transport transportation in conditions of uncertainty.

Statement of the problem. The normative theory of management is the content of normative requirements for planning operational management operations in the conditions of dynamic changes in the external environment. [1] Requirements for the procedures for using logistics to improve the efficiency of transportation apply to all stages of managing non-standard situations under uncertainty and risk [2]. In the presence of several options for possible states of the environment and internal conditions of the transport enterprise, they correspond to their target functions. If none of the alternatives dominates over the others, then we have the task of making decisions under uncertainty. The normative theory of management is based on the principles of completeness and optimality. The principle of completeness is due to the use of systems analysis and the need to take into account many private criteria. The principle of optimality formally means that extreme solutions must be selected from a variety of acceptable solutions. The combination of these principles opens up broad prospects for adequate and effective solutions to transport logistics management issues.

Research results. According to the principles of systems analysis, the process of managing transport logistics under uncertainty can be characterized by three vectors:

- a vector of states of the system inputs, which are objects of transport management

$$X(t) = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$$

- vector of states of the system outputs, which are the resulting variables in the transport system, after the introduction of a control action into it

$$Y(t) = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$$

- vector of internal states of the transport system itself, which represent the organizational characteristics and parameters of the system

$$S(t) = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$$

Then the dependence of the output values on the states of the inputs and internal states of the system can be written as

$$Y(t) = F(X(t), S(t)),$$

if F — vector coordinate transformation operator $X(t)$ and $S(t)$, into the coordinates of the vector $Y(t)$.

The development of transport logistics under conditions of uncertainty of the influence of the environment is not accessible to direct observation and requires diagnostics depending on the

states:

- the trajectory describing the state of the system is known and strictly defined

$$\langle x_0(t), y_0(t) \rangle = \langle x_0(t), \langle u_0(t), v_0(t) \rangle y_0(t) \rangle,$$

if $v_0(t)$ – processes occurring at uncontrolled inputs;

- the trajectory describing the situation needs to be adjusted in the control process,
- the trajectory describing the situation cannot be set until it crosses the target area.

When coordinating the interactions of transport elements, only permissible values that correspond to the restrictions are taken into account

$$a_j \leq x_j \leq b_j, \quad j = \overline{1, n}$$

$$y_i^- \leq y_i(x) \leq y_i^+, \quad i = \overline{1, m}$$

if a_j and b_j — fixed values of parameters characterizing the range of acceptable values, y_i^- and y_i^+ — restrictions imposed on i characteristic.

The area D of possible solutions can be represented as a set

$$D = \{x | g_k(x) \geq 0, \quad k = \overline{1, k}\}.$$

To assess the obvious importance of one feasible solution $x^k \in D$ in accordance with other permissible solutions $x^l \in D$ we introduce a partial optimality criterion $Q_i(x)$, $i = \overline{1, N}$, which allows you to take into account what has been decided x^k no less important, no less important x^l , how does a relationship work out

$$x^k > x^l \Leftrightarrow Q_i(\overline{x^k}) \leq Q_i(x^l),$$

if $Q_i(x)$ — numerical assessment of the solution according to the partial optimality criterion Q_i .

Then the task will be decided to be reduced to the view

$$Q_i^* = Q_i(x^*) = \min_{x \in D} Q_i(x)$$

In the presence of several partial optimality criteria $Q_i(x)$, $i = \overline{1, N}$ the decision maker must choose a valid solution $x \in D$, which provides the smallest value N all partial criteria, i.e. the mathematical model of decision-making is reduced to a multi-criteria vector optimization problem $\min_{x \in D} Q_1(x), \min_{x \in D} Q_2(x), \dots, \min_{x \in D} Q_N(x)$

According to the principle of optimality, the multivariance of control caused by the uncertainty of the behavior of the external environment is solved by determining control alternatives based on the establishment of appropriate preferences and criteria in various information situations, for which the apparatus of multicriterial optimization should be used.

Determination of benchmarks in multi-criteria optimization in the specified scheme is based on the position that there is a certain utility function U , the scope of which is determined by the criteria of preference A and B , what's more A preferable B . This is written as follows

$$U(A) > U(B) \Leftrightarrow A > B$$

if $A = B$, then there is a state of indifference

$$U(A) = U(B) \Leftrightarrow A = B$$

The preference for one or another alternative, determined in accordance with the utility function, is made on the basis of formal rules for making rational decisions. The main principle of decision-making in situations of risk and uncertainty is the maximization of expected utility. For sea transport, the utility functions will be delivery time and transportation cost. The utility function in the presented scheme provides ranking of states. Any multi-attribute utility function can be modeled using single-attribute utilities and constants. For cases with three attributes, it has the form:

$$U = k_1 U_1 + k_2 U_2 + k_3 U_3 + k_1 k_2 U_1 U_2 + k_2 k_3 U_2 U_3 + k_3 k_1 U_3 U_1 + k_1 k_2 k_3 U_1 U_2 U_3$$

It contains three single-attribute utility functions and three constants, i.e. we have a definition of the best priority on an admissible set of optimality criteria.

The scheme for constructing regulatory procedures for transportation under uncertainty is presented in Fig. 1.

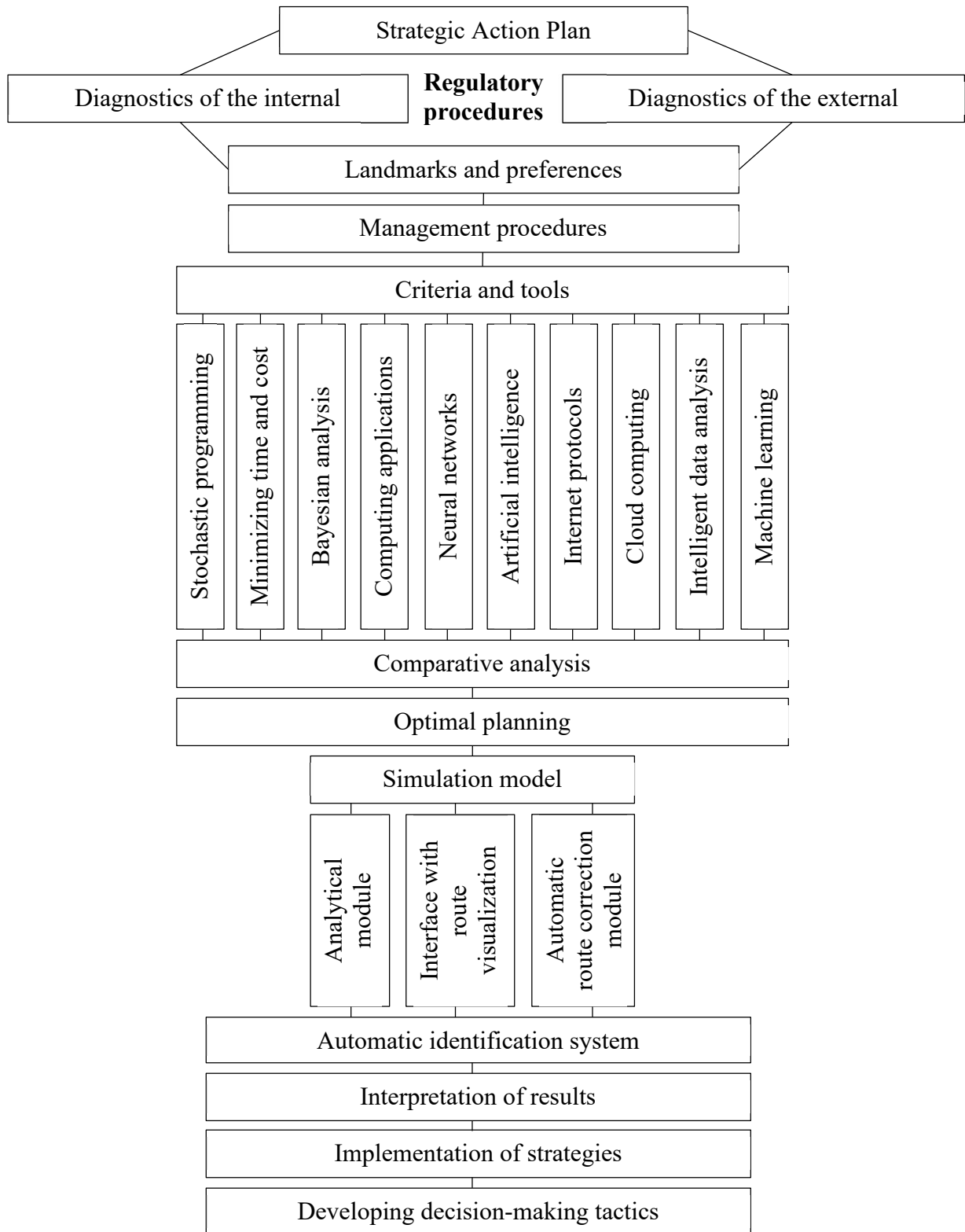


Figure1. — Scheme for constructing regulatory procedures for transportation under conditions of uncertainty

Thus, the main normative rules in risky situations are:

- goal formation;

- definition of a set of ways to achieve it;
- definition of a set of solutions X ;
- justification of a metric expressed through efficiency criteria, in which the relative quality of possible solutions can be compared $x \in X$;
- definition of the best extremum on an admissible set of solutions

$$x^0 = \arg \min_{x \in X} K(x).$$

One of the ways to improve the efficiency of transport management and servicing bottlenecks in logistics is simulation modeling, which allows taking into account the trends of the dynamic series. In the sample of Fig. 1, it is implemented using analytical modules, an interface with route visualization, and an automatic route correction module.

The tools for ensuring regulatory conditions in transport logistics are the means of implementing modern information technologies, which include stochastic programming, Bayesian analysis, computational applications, neural networks, artificial intelligence, cloud computing, and intelligent data analysis.

The reviewed methodology shows the stages of probing and developing a transport logistics system. For this, transport logistics worked as efficiently and naturally as possible, using tools for delivery in the shortest possible time.

Conclusions. The main provisions of the normative theory of management based on system analysis and multicriterial optimization are disclosed. The efficiency of their joint use for managing transport logistics under conditions of uncertainty and risk is shown. The compiled scheme of normative procedures for transportation allows modeling decision-making processes under conditions of unpredictability of the influence of the external environment on the functioning of transport infrastructure facilities. Transportation management, which is based on the principles of complex systems management, can reveal a number of qualitatively new ideas that can significantly increase transportation efficiency.

REFERENCES

1. Sharko O., Buketov A., Klevtsov K., Sapronov O., Akimov O. Modeling of transport and logistics schemes of freight transportation under global risks. Problems of friction and wear. 2023, №3 (100), C.94–105.
2. Petrov E.G., Kryuchkovsky V.V., Petrov K.E. Normative formalization of decision-making in conditions of multicriteriality and interval uncertainty. Problems of information technology 2014, No. 15, pp. 7–13

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОТУЖНОСТІ СУДНОВОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Шик Д.О., Поливода В.В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Сучасні автоматизовані електроенергетичні системи є складними технічними комплексами, що вимагають постійного вдосконалення та оптимізації для забезпечення надійності, ефективності та безпеки їх функціонування [1]. Одним із ключових показників ефективності роботи систем електроживлення є коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$), який характеризує ступінь корисного використання електричної енергії споживачами. Чим ближче $\cos \varphi$ до 1, тим ефективніше використовується потужність джерела, тоді як низький коефіцієнт потужності вказує на наявність значної реактивної складової та неефективне навантаження мережі. Підвищення $\cos \varphi$ дозволяє зменшити втрати та поліпшити економічність роботи електроенергетичних систем. Використання сучасних засобів промислової автоматизації, таких як платформа CODESYS, є перспективним підходом до розробки систем моніторингу та керування подібними електричними параметрами CODESYS зарекомендувала себе як потужний інструмент для створення надійного програмного забезпечення в галузі автоматизації [2]. У цій роботі проведено моделювання вимірювача коефіцієнта потужності (Power Factor Meter) із використанням платформи CODESYS, що охоплює теоретичний опис поняття $\cos \varphi$ та практичну реалізацію пристрою з візуалізацією результатів.

Актуальність досліджень. Моніторинг та підтримання високого коефіцієнта потужності є критично важливими для зменшення втрат енергії, зниження навантаження на електрообладнання та підвищення ефективності енергоспоживання на судах. У цьому контексті платформі автоматизації CODESYS належить ключова роль як одному з найсучасніших інструментів для створення, налагодження та візуалізації програмованих систем керування. CODESYS зарекомендувала себе як потужне та гнучке середовище для розробки програмного забезпечення в промисловій автоматизації, однак її можливості в контексті моніторингу електричних параметрів, зокрема коефіцієнта потужності, у суднових електросистемах залишаються недостатньо дослідженими.

Саме тому розробка Power Factor Meter — системи візуалізації та розрахунку $\cos \varphi$ на базі середовища CODESYS — є актуальною з обох позицій:

- 1) з практичної — така розробка дозволяє підвищити надійність, ефективність та безпеку функціонування суднових електроенергетичних систем;
- 2) з наукової — вона розширює уявлення про потенціал CODESYS у сфері вимірювання, аналізу та візуалізації показників якості електроенергії в умовах суднової експлуатації.

Постановка задачі. Виконати дослідження параметрів потужності суднової автоматизованої електроенергетичної системи на платформі автоматизації CODESYS.

Результати досліджень. Power Factor Meter (вимірювач коефіцієнта потужності) — це прилад, призначений для вимірювання коефіцієнта потужності ($\cos \varphi$) в колах змінного струму. Для розуміння принципу його роботи необхідно розглянути поняття активної, реактивної та повної потужностей. Активна потужність P — це середня потужність, яка перетворюється на корисну роботу або тепло в навантаженні (вимірюється у ватах, Вт). Реактивна потужність Q — це енергія, що передається від джерела на реактивні елементи приймача (індуктивності, конденсатори, обмотки двигунів), а потім повертається цими елементами назад до джерела, протягом одного періоду коливань, віднесена до цього періоду і не виконує корисної роботи (вимірюється у вольт-амперах реактивних, вар). Повна потужність S — це комплексна потужність, що характеризує загальне навантаження кола (вимірюється у вольт-амперах, В·А). Між цими видами потужності існує співвідношення, яке геометрично можна подати у вигляді прямокутного «трикутника потужностей», де

гіпотенуза — це S , горизонтальний катет — P , а вертикальний катет — Q . Відповідні формули зв'язку такі:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1)$$

Повна потужність визначається як квадратний корінь із суми квадратів активної і реактивної потужностей:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2)$$

Коефіцієнт потужності дорівнює відношенню активної потужності до повної. Цей безрозмірний показник чисельно дорівнює косинусу кута φ між вектором напруги і струму в колі.

Кут зсуву фази (кут φ) можна визначити як арктангенс відношення реактивної потужності до активної:

$$\varphi = \arctan \frac{Q}{P} \quad (3)$$

З наведених співвідношень випливає, що $P = S \cos \varphi$ та $Q = S \cdot \sin \varphi$. Таким чином, коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ однозначно визначає співвідношення між активною і повною потужностями. При $\cos \varphi = 1$ навантаження є чисто активним ($\varphi = 0^\circ$, $Q = 0$), а при $\cos \varphi = 0$ — чисто реактивним ($\varphi = 90^\circ$). Більшість промислових електричних приймачів (наприклад, електродвигуни) характеризуються коефіцієнтом потужності меншим за 1 через їх індуктивний характер, тому вимірювання $\cos \varphi$ є важливим для оцінки ефективності роботи електросистеми. Вимірювач коефіцієнта потужності зазвичай визначає зсув фази між струмом і напругою: в аналогових приладах це може виконуватися за допомогою електромагнітної системи зі зміщеними по фазі обмотками, а в цифрових — шляхом обчислення згаданих величин P , Q , S з миттєвих значень напруги та струму. У подальшій практичній реалізації використано саме цифровий підхід: значення P , Q обчислюються програмно і на їх основі визначається $\cos \varphi$ та φ .

Для моделювання Power Factor Meter було використано платформу автоматизації CODESYS V3.5, що дозволяє створювати як програмний модуль розрахунку показників, так і відповідний інтерфейс візуалізації — людино-машинний інтерфейс HMI [3] для програмованих логічних контролерів (ПЛК). У даному дослідженні розроблений проект з використанням можливостей Structured Text (ST), який обчислює основні параметри електричної потужності в режимі реального часу. В рамках моделювання передбачається, що значення активної та реактивної потужностей навантаження (P_Load та Q_Load) можуть змінюватися (задаються користувачем або отримуються від датчиків у реальній системі), а завдання програми — обчислити повну потужність, коефіцієнт потужності та кут φ для поточного стану навантаження. Результати обчислень відображаються на екранній панелі візуалізації в CODESYS.

На рисунку 1 показано середовище розробки CODESYS з відкритим модулем PLC_PRG. У вікні редактора видно текст програми мовою Structured Text: зокрема, реалізацію формул розрахунку S_Power , $Cos\varphi$ та φ . Праворуч у середовищі відображається список змінних та їх поточні значення під час виконання (у режимі онлайн-налагодження). Представлений код відповідає описаному вище алгоритму: спочатку обчислюється повна потужність, потім коефіцієнт потужності і кут. Використання мови ST забезпечує зрозумілий структурований вигляд програми і легкість супроводу з науковим коментарем кожної операції.

Для обчислення згаданих величин створено програмний модуль (Program PLC_PRG), в якому оголошено змінні типу REAL: P_Load , Q_Load , S_Power , $Cos\varphi$ (відповідає $\cos \varphi$), φ (кут φ) та допоміжні. Цей фрагмент демонструє реалізацію алгоритму обчислення основних електричних параметрів: повної потужності (S_Power), кута зсуву фаз (φ) та коефіцієнта потужності ($\cos \varphi$) у середовищі автоматизації CODESYS. У програмі використано математичні функції для обчислення тригонометричних залежностей та умовні оператори для обробки результатів залежно від знаку реактивної потужності.

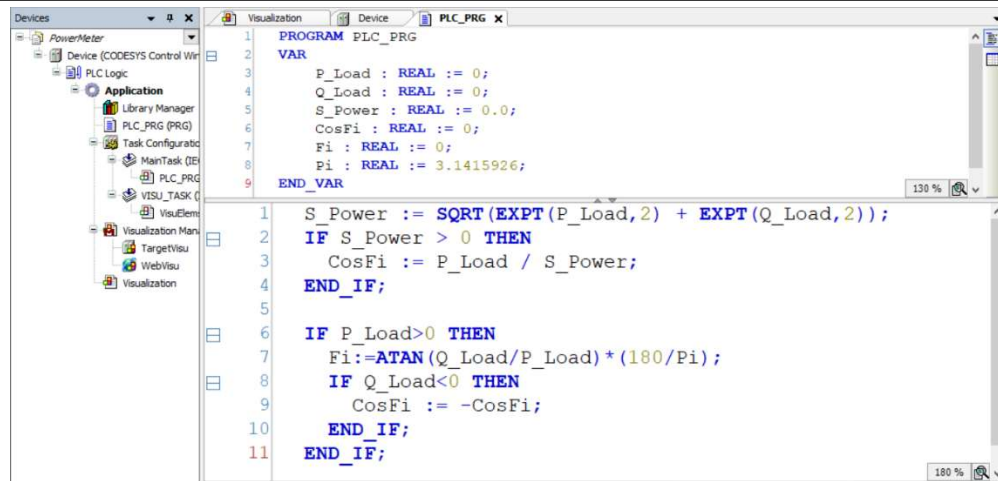


Рисунок 1 — Програмний код в середовищі CODESYS для розрахунку повної потужності та коефіцієнта потужності $\cos \varphi$.

Алгоритм основних операцій програми наведено нижче з детальним поясненням кожного кроку:

1. $S\_Power := \sqrt{P\_Load^2 + Q\_Load^2}$; — обчислення повної потужності S_Power як квадратного кореня з суми квадратів P_Load та Q_Load . Цей рядок реалізує формулу (1) для розрахунку S , використовуючи вбудовану функцію квадратного кореня $\sqrt{x}$ та функцію піднесення до степеня x^2 . Отримане значення S_Power відповідає величині повної потужності в даний момент.
2. $CosFi := P\_Load / S\_Power$; — розрахунок коефіцієнта потужності $CosPhi$ як відношення P_Load до S_Power . Відповідає формулі (2) для $\cos \varphi$. Перед виконанням цієї операції бажано перевірити, що S_Power не дорівнює нулю (в коді реалізовано непрямо через умови або припущення про ненульове навантаження). Результат $CosFi$ — це число від 0 до 1 (в ідеальному випадку =1), що характеризує частку активної потужності в повній потужності системи.
3. $TanFi := Q\_Load / P\_Load$; — обчислення тангенса кута φ як відношення Q_Load до P_Load . Якщо P_Load дуже мале, значення $TanFi$ буде великим, що відповідає куту φ , наближеному до 90° .
4. $Fi := \text{ATAN}(TanFi)$; — обчислення кута Fi (φ) за допомогою арктангенса від $TanFi$. Вбудована функція ATAN повертає значення кута в радіанах. Таким чином, Fi після цього рядка — це розрахований кут зсуву фази між струмом і напругою (φ) в радіанах, що відповідає формулі (3).
5. $Pi := 3.14159$; — задавання константи π (пі) для використання в наступних обчисленнях. Змінна Pi оголошена типу $REAL$ і ініціалізована наближеним значенням 3,14159. Також можливо використати значення $\text{ATAN}(1)*4$.
6. $Fi := Fi * 180 / Pi$; — перетворення кута φ з радіан у градуси.

На рис. 2 показаний розроблений інтерфейс HMI із елементами керування для введення/виведення значень P_Load і Q_Load та індикаторами розрахованих параметрів S , $\cos \varphi$ і φ . Візуалізація виконана засобами CODESYS і дозволяє наочно продемонструвати роботу вимірювача коефіцієнта потужності. На панелі відображаються активна потужність навантаження P_Load , реактивна потужність Q_Load , розрахована повна потужність S_Power , коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$) та кут φ . Користувач має змогу спостерігати за зміною цих величин у реальному часі при зміні режиму навантаження.

Після виконання наведених обчислень програма має значення всіх потрібних величин: S_Power , $CosFi$ та Fi . Ці значення циклічно оновлюються в рамках виконання основної задачі, яка на ПЛК і передаються на візуалізацію. Змінні P_Load та Q_Load можуть бути пов'язані з графічними елементами введення (наприклад, числовими полями) на панелі користувача, щоб оператор міг змінювати режим роботи або ці змінні можуть

надходити від моделювання іншої частини системи. Змінні S_{Power} , $\cos\varphi$ та F_i пов'язані з індикаторами (відображеннями) на екрані для наочного представлення результатів розрахунку.

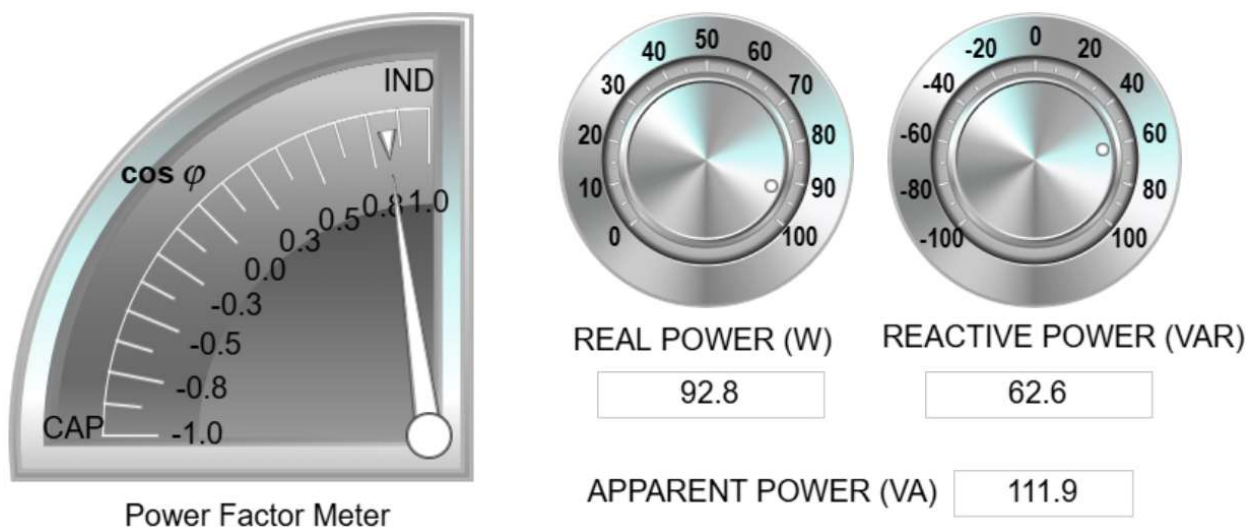


Рисунок 2 — Інтерфейс візуалізації Power Factor Meter.

Таким чином, реалізація Power Factor Meter в CODESYS складається з модуля розрахунку (алгоритмічна частина) та модуля візуалізації (інтерфейс користувача). Обчислення базуються на відомих фізичних співвідношеннях між P , Q , S і $\cos \varphi$, а платформа CODESYS забезпечує необхідні інструменти (математичні функції, змінні, інтерфейс) для реалізації цих обчислень у режимі реального часу.

Висновок. Проведено дослідження коефіцієнта потужності ($\cos \varphi$) за допомогою розробленої моделі вимірювача коефіцієнта потужності ($\cos \varphi$) на основі платформи автоматизації CODESYS. Наведена система дозволяє в реальному часі обчислювати активну, реактивну і повну потужності навантаження та визначати кут зсуву фаз між струмом і напругою. Практична значущість роботи полягає в можливості інтеграції такого вимірювача до складу автоматизованих електроенергетичних систем судна для постійного моніторингу показників якості електроенергії. Отримана інформація про коефіцієнт потужності має важливе прикладне значення: підтримання високого $\cos \varphi$ забезпечує зниження струмових навантажень на обладнання, мінімізацію втрат та штрафних санкцій за реактивну енергію, а також підвищення загальної ефективності енергосистеми. Реалізований у CODESYS програмний модуль може бути легко масштабований для багатофазних систем або розширений додатковими функціями (наприклад, автоматичним введенням компенсуючих ємностей при падінні $\cos \varphi$ нижче заданого рівня). Таким чином, результати роботи мають як навчально-демонстраційну, так і практичну цінність, підтверджуючи доцільність використання сучасних платформ автоматизації для вирішення задач контролю параметрів електричної енергії. Створена система автоматизації може бути масштабована для більшої кількості споживачів електричної енергії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Голіков С.П. Суднові автоматизовані електроенергетичні системи. Частина 1. Суднові електричні станції. Голіков С.П., Чорний С.Г., Жук Д.О., Івановський М.В.: Навч. пос. — К.: Кондор-Видавництво, 2013. — 198 с.
2. Проектування систем автоматизації на платформі CODESYS: навч. посіб. / В.В. Поливода, О.В. Поливода. — Херсон: ХДМА, 2023. — 248 с. ISBN 978-966-2245-78-3.

ІНДЕТЕРМІНОВАНИЙ ЗВ'ЯЗОК ВІТРУ І МОРСЬКИХ ХВИЛЬ (СТОСОВНО ПРОПУЛЬСІЇ СУДЕН)

Шостак В.П., Личко Б.М.

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)*

Вступ. Як відомо, вітрові хвилі утворюються внаслідок переносу енергії від атмосфери до води, що обумовлено нерівномірністю швидкості вітру, тобто його поривчастістю, який виводить водну поверхню з рівноваги.

Параметри океанських вітрових хвиль (висота, довжина, амплітуда, частота тощо) залежать від швидкості та тривалості вітру, від просторів на яких він діє, від змін атмосферного тиску та руху великих водних мас, а також від різкої зміни профілю дна і т.п. Ці обставини обумовлюють неоднозначний, стохастичний (імовірнісний) зв'язок між параметрами хвиль. Наявність кількісних відповідних показників дає можливість виконувати різноманітні розрахунки, наприклад, стосовно опору руху судна, безпеки мореплавання, оперативної оптимізації рейсової лінії тощо.

Актуальність дослідження. Для обґрунтованого прийняття раціональних рішень на ранніх стадіях проектування транспортного судна не обійтися від постановки й розв'язання оптимізаційних задач, наприклад, стосовно складу та потужності пропульсивної установки. Це передбачає визначення розрахунковим шляхом певної цільової функції, зокрема, рейсової або за нормативний строк служби судна витрати палива, собівартості морських перевезень тощо. При цьому одним із найбільш суттєвих параметрів, що підлягають розрахунку, є опір руху судна [3], який залежить від багатьох чинників, у тому числі і від інтенсивності хвилювання водної поверхні та сили вітру.

Викладення основного матеріалу. Фахівцями Світовий океан розподілений на райони, для яких на підставі багаторічних спостережень визначені частотні таблиці стосовно висоти хвиль і швидкості вітру [1]. Отже, маємо закони розподілу значень цих гідрометеорологічних показників. Однак між вітром і хвилюванням, природньо, є зв'язок.

Шляхом узагальнення багаточисельних літературних джерел нами встановлено стохастичний зв'язок інтенсивності морського вітрового хвилювання і сили вітру, що зображено на рисунку. Ця інформація придатна для імітаційного моделювання [2] з метою розрахунку масиву можливих значень відповідних цільових функцій з подальшим визначенням математичного сподівання, граничних значень, закону розподілу у тому чи іншому вигляді тощо. Нижче характеризуємо показники, застосовані в зображенні цього рисунку.

Хвилювання водної поверхні, яке суттєво впливає на опір руху судна, а отже і на його швидкість ходу та витрату палива головним двигуном, описується низкою параметрів. Важливою характеристикою є середня висота хвиль $\bar{h}$.

Поривчастість і турбулентність вітрового потоку обумовлює велику мінливість вітрового хвилювання, що породжує хвилі різної висоти, які спостерігаються у певні проміжки часу. Середнє арифметичне цих висот і є середня висота хвиль $\bar{h}$.

У вітчизняній практиці для визначення опору руху судна використовується висота хвиль 3%-вої забезпеченості $h_{3\%}$. Це найменша висота хвилі із трьох відсотків (3 %) високих хвиль, які більші решти (97 %) хвиль.

У світовій практиці оперують і іншими висотами хвиль, так званими значними (significant) висотами $h_{1/3}$ і $h_{1/10}$. Це середня висота третини (1/3) або десятини (1/10) великих хвиль, які більші решти (2/3 або 9/10).

Важливими показниками хвилі є її довжина λ і період T . Довжина — це відстань від початку її переднього схилу до кінця заднього у генеральному напрямку розповсюдження хвиль, яка, зазвичай, вимірюється у метрах. Відносно просто визначається на практиці період хвилі, який представляє собою інтервал часу (як правило, в секундах) між проходженням через фіксовану вертикаль гребнів або підосів двох послідовних хвиль, а тому основним

аргументом стохастичної залежності на рисунку виступає саме період τ .

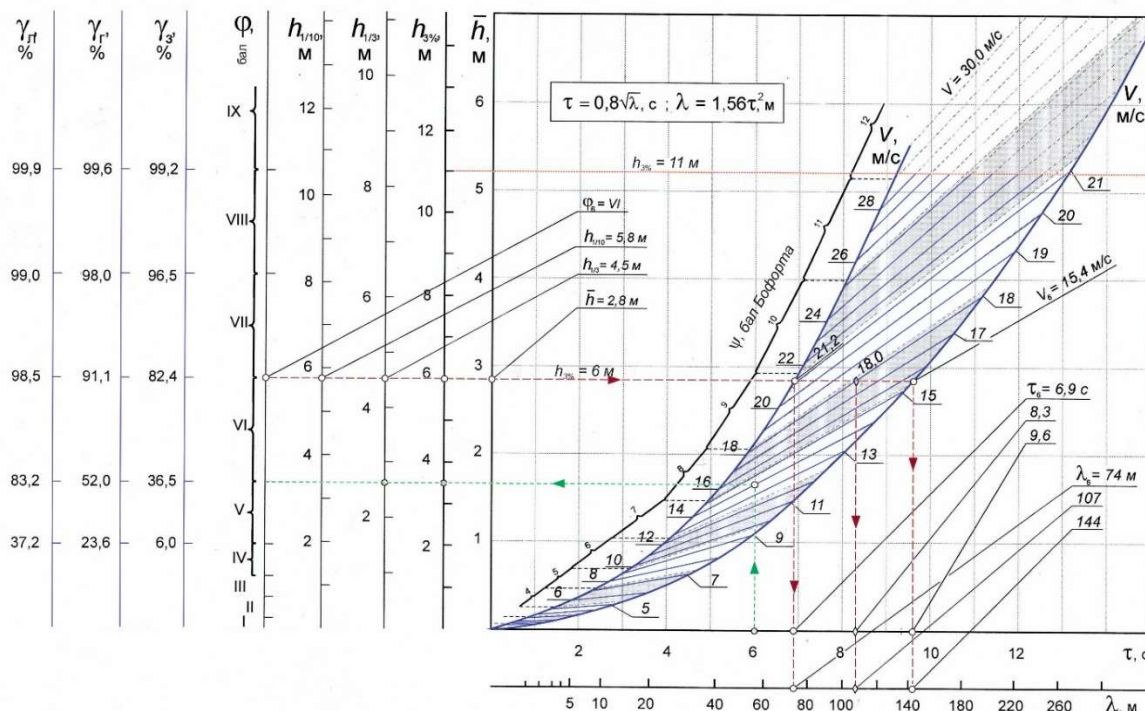


Рисунок 1 — Стохастичний взаємозв'язок середньої швидкості вітру (V , м/с) і параметрів вітрових хвиль при сталому хвилюванні на глибокій воді

Підкреслимо, що дані рисунку стосуються виключно вітрових хвиль, які виникають безпосередньо від дії вітру. Інтенсивність (ступінь) вітрового хвилювання ϕ визначається у балах по характерним зовнішнім признакам згідно з розробленими і прийнятими у морській практиці.

На рисунку ліворуч, як приклад, вказані шкали ймовірності хвилювання для помірної зони Північної Атлантики влітку ($\gamma_{\text{л}}$), протягом року ($\gamma_{\text{р}}$) і взимку ($\gamma_{\text{з}}$) при $h_{3\%} = 6$ м. Величина γ – це ймовірність хвилювання з висотою хвиль від 0 до 3%-вої забезпеченості для окремого сезону та певного району Світового океану, яка може бути розрахована на підставі частотних таблиць розповсюдження хвиль [1].

У середині рисунку наведені характеристики вітру: сила ψ , що вимірюється в балах Бофорта згідно з Наставленням гідрометеорологічним станціям і постам (1971 р. Л: Гідрометео видав), та середня швидкість V , м/с, яку одержують, як правило, шляхом замірювання протягом 5...10 хв звичайними анемометрами на висоті 10 м над рівнем моря.

При розробці даного рисунка (своєрідної номограми) використовувались, зокрема, наступні залежності:

$$h_{3\%} = 1,33h_{1/3} = 1,04h_{1/10} = 2,11\bar{h}; \quad (1)$$

$$h_{1/3} = 0,78h_{1/10} = 0,752h_{3\%} = 1,59\bar{h}; \quad (2)$$

$$h_{1/10} = 0,96h_{3\%} = 1,28h_{1/3} = 2,03\bar{h}, \quad (3)$$

а зв'язок між довжиною хвилі λ (м) і її періодом τ (с) вказаний в середині рисунка.

Висновки.

1. Вперше надана стохастична залежність у графічному вигляді, яка пов'язує характерні параметри вітру та вітрового морського хвилювання.

2. Дані наведеного рисунку достатньо інформативні. Якщо в імітаційній моделі проводиться розрахунок, виходячи, наприклад, з висоти хвиль $h_{3\%} = 4,5$ м, то при цьому, як бачимо на рисунку, середня швидкість вітру складає 18 м/с, а можливий її діапазон становить 15,4 – 21,2 м/с; при цьому частота може приймати значення в межах від 6,9 до 9,6 с. Якщо на борту судна визначена частота становить 6 с, то це відповідає інтенсивності

хвилювання на межі V – VI балів і силі вітру 8 балів Бофорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Давидан, П.М., Лопатухін, Л.І., Рожков, В.А. (редактори. 1974). Вітер і хвилі в океанах і морях. Довідкові дані. Регистр СРСР. Л.: Транспорт, 360.
2. Шостак, В.П., Гершаник, В.І. (1988). Імітаційне моделювання суднових енергетичних установок. Л.: Суднобудування, 256.
3. Шостак, В.П., Манзюк, А.Ю. (2012). Опір довкілля руху транспортного судна. Миколаїв, НУК, 181.

СЕКЦІЯ:

**ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ,
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ**

SECTION:

**RELIABILITY AND ENERGY SAVING, ENVIRONMENTAL
SAFETY AND RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES**

РОЗШИРЕННЯ ЗОН КОНТРОЛЮ ВИКИДІВ ДЛЯ СЕРЕДЗЕМНОГО МОРЯ, КАНАДСЬКОЇ АРКТИКИ ТА НОРВЕЗЬКОГО МОРЯ

Акімов О.В., Нагрибельний Я.А.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

До 1 травня 2025 року існувало чотири створені зони контролю викидів (ECAs), а саме (рис. 1, джерело: <https://www.meoexamz.co.in/>): Балтійське море (включає все Балтійське море та входить до нього), Північне море (охоплює Північне море і частину Ла-Маншу), Північноамериканська зона (включає прибережні зони США і Канади в Атлантичному і Тихому океанах, а також Мексиканську затоку), район Карибського моря Сполучених Штатів (Пуерто-Рико та Віргінські острови США). Ці ECA зони, визначені Міжнародною морською організацією (ІМО) відповідно до правила 13 Додатку VI МАРПОЛ (контроль викидів оксидів азоту), де діють суворі правила, спрямовані на скорочення викидів забруднюючих речовин в атмосферу з суден та включають обмеження щодо викидів з відпрацьованими газами енергетичних установок суден: оксидів сірки (SO_x), оксидів азоту (NO_x) та твердих частинок (PM).



Рисунок 1 — Поточні зони контролю викидів (ECAs)

Починаючи з 1 травня 2025 року, Середземномор'я є п'ятою офіційно визначено зоною контролю викидів (Med SO_x ECA), що зобов'язує судна використовувати в цьому регіоні паливо з вмістом сірки не більше 0,10% (рішення було прийняте ще під час 79-ї сесії Комітету з захисту морського середовища ІМО (MEPC 79) у грудні 2022 року). Рішення про оголошення Середземномор'я зоною обмеження викидів було прийнято під час 21-ї Конференції Сторін Барселонської конвенції в Неаполі в грудні 2019 року. Середземноморські країни погодили дорожню карту щодо створення зони контролю за викидами сірки (SECA) після трьох комплексних оцінок впливу, які продемонстрували значні соціально-економічні та екологічні переваги.

Згідно з новими правилами, судна повинні дотримуватися лімітів вмісту сірки, які становлять одну п'яту від дозволеного за межами контрольованої зони – 0,10% порівняно з 0,50%. Крім того, судна можуть встановлювати затверджені системи очищення вихлопних газів («EGCS» або «скрубери») для відповідності цим стандартам. EGCS видаляють сірку з вихлопних газів двигунів, досягаючи еквівалентного скорочення викидів сірки, як того вимагають правила.

Слід зазначити, що рішення привітали відомі у світі екологічні організації, такі як Transport & Environment та Ecologistas en Acción, але воно викликало критику через затримку графіка впровадження та виключення правил щодо контролю викидів NO_x .

Запропонована дорожня карта відтермінувала подання пропозиції до Комітету із захисту морського середовища ІМО (MEPC) до 2022 року, що призвело до фактичної дати оголошення про впровадження нової SECA у березні 2024 року – через дев'ять років після того, як країни Північної Європи ухвалили аналогічні правила у 2015 році.

За даними NABU (Nature And Biodiversity Conservation Union / Союз охорони природи та біорізноманіття) зазначається, що введення нової ЕСА у Середземному морі з 1 травня 2025 року значно зменшить вплив токсичного забруднення повітря від суден (на 40 % у прибережних регіонах) на близько 250 млн. людей, які проживають у Середземноморському регіоні. Дослідження показують, що зниження концентрації забруднюючих речовин у повітрі не лише покращить здоров'я людей, але й принесе користь водним і наземним екосистемам Середземноморського басейну, запобігаючи підкисленню. Попередні розрахунки показують скорочення викидів оксиду сірки на 78,7 %, що призведе до щорічного зменшення викидів SO_x в атмосферу на 8,5 млн. тон. Крім того, прогнозується зменшення викидів твердих частинок (PM_{2,5}) на 23,7 %. Середземноморський регіон, на який припадає 20 % світової морської торгівлі та 24 % світового флоту суден, отримає значну користь від цих нових правил. Згідно з дослідженнями UNEP/MAP, це дозволить запобігти приблизно 1100 передчасним смертям і 2300 випадкам дитячої астми щороку.

Однак, як підкреслюють експерти NABU, у чинному законодавстві все ще існують прогалини. На відміну від ЕСАс Північного і Балтійського морів та нещодавно узгодженої Північноатлантичної ЕСА, Середземноморська ЕСА не включає обмеження по викидам оксидів азоту (NO_x). Вкрай важливо вирішити цю проблему і рухатися вперед з нормативною базою, що включає викиди NO_x, забезпечуючи більшу гармонізацію по всій Європі. Відомо, що високі концентрації оксидів азоту сприяють виникненню літнього смогу в середземноморських містах, який становить значну загрозу для здоров'я людей. На думку NABU, ця регуляторна прогалина потребує нагальної уваги.

У той час як більш жорсткі правила щодо викидів сірки (SO_x) та твердих частинок (PM) є великим успіхом, викиди оксидів азоту залишаються недостатньо врегульованими. NABU у співпраці зі своїми партнерськими організаціями провело вимірювання діоксиду азоту в портових містах Середземномор'я протягом 2024 року. Ці вимірювання показали, що 24 % портів, у тому числі в Італії, Іспанії та Греції, перевищили встановлений в ЄС річний ліміт викидів діоксиду азоту. Фактично, граничне значення, встановлене Всесвітньою організацією охорони здоров'я, було перевищено в 97 % вимірювань, причому в деяких районах рівень діоксиду азоту більш ніж удвічі перевищував законодавчо дозволені норми.

З огляду на те, що останні вимірювання в грецьких портах показали надмірний рівень забруднення повітря, особливо в порту Пірей, настав час вжити активних заходів і ефективно вирішити цю проблему. Створення зони контролю за викидами оксиду азоту (NECA) в Середземному морі є необхідним наступним кроком.

На жаль, не всі судна перейдуть на екологічно чисте паливо, але деякі з них можуть вирішити дотримуватися вимог шляхом доочищення відпрацьованих газів (застосування скрубєрів на суднах, як спосіб дотримання норм, є загроза у використанні токсичного мазуту та його загрози для морських мешканців).

У 2024 році ІМО визначила ще дві зони контролю викидів: Канадську Арктику та Норвезьке море. У квітні 2025 року MEPC 83 схвалила пропозицію щодо визначення Північно-Східної Атлантики зоною контролю викидів. З березня 2026 року, відповідно до Додатка VI, Правила 13 до MARPOL, Канадська Арктика та Норвезьке море також будуть визначені як ЕСАс, що збільшить загальну кількість ЕСАс у світі до семи. Ці дві ЕСАс набудуть чинності 1 березня 2027 року. Окрім цих ЕСАс, інші держави портів по всьому світу окремо запровадили внутрішні правила контролю викидів у своїх територіальних морях, яскравим прикладом чого є Китай.

Встановлення цих нових зон контролю викидів (ЕСАс) та аналогічних режимів контролю викидів по всьому світу призведе до збільшення кількості суден, що перетинають

межі ECAs — іноді кілька разів за один рейс — і частіше. Використання різних типів палива у все більшій кількості випадків призводить до експлуатаційних проблем та проблем із безпекою, що неминуче призводить до підвищених правових та правозастосовних ризиків. З огляду на це розширення ECAs по всьому світу та зростаючу різноманітність інших пов'язаних вимог держави порту щодо викидів, зараз як ніколи важливо переглянути різні правові та операційні ризики, що виникли з часом, щоб забезпечити дотримання вимог та пом'якшити потенційні ризики.

За деякими оцінками, приблизно 10...15 % існуючих суден, на які поширюється дія MARPOL, оснащені скруберами, хоча цей відсоток зростає, оскільки багато замовлень на нове будівництво включають встановлення цих систем.

Судна, не обладнані скруберами, не можуть перевозити на борту мазут з високим вмістом сірки або інші палива з вмістом сірки, що перевищує глобальний ліміт 0,5 відсотка. Якщо судно проходить через зону контролю за вибором повітря (ECA), воно повинно використовувати мазут з наднизьким вмістом сірки, судновий газойль або інше паливо з вмістом сірки не більше 0,1 %. Судна, оснащені скруберами, можуть використовувати будь-яку комбінацію палива, за умови, що EGCS повністю працездатна та знижує вміст сірки до рівня, що дорівнює або нижче застосовних лімітів.

Незалежно від того, чи оснащене судно скруберами, Додаток VI до MARPOL вимагає процедур заміни мазуту для суден, що входять до зони контролю за викидами (ECA). Процедура заміни мазуту повинна передбачати достатній час для повного очищення паливної системи від усього мазуту, що перевищує встановлений ліміт сірки, перед входом до ECAs. Поза межами ECAs більшість суден, які не мають встановлених скруберів, працюють переважно на мазуті з дуже низьким вмістом сірки, щоб відповідати глобальним вимогам щодо вмісту сірки — 0,50 %. Під час наближення до визначеної ECA такі судна проходять заміну палива, щоб відповідати більш суворим вимогам щодо викидів у межах ECA, що становить 0,1 % вмісту сірки. Після виходу з ECA цей процес відбувається по суті у зворотному напрямку.

Дотримання нових правил ECA в Середземному морі передбачатиме поєднання моніторингу, перевірок і передових технологічних інструментів для забезпечення дотримання більш суворих стандартів щодо викидів. Судна, оснащені скруберами, також повинні дотримуватися місцевих заборон на скидання відходів у порту або інших вимог щодо промивних вод скруберів. Інспектори відбиратимуть зразки палива безпосередньо з суден під час заходу в порт для перевірки вмісту сірки. Ці зразки будуть аналізуватись в сертифікованих лабораторіях для забезпечення дотримання граничного рівня вмісту сірки 0,10 %. Судна будуть зобов'язані вести точний облік використання та закупівлі палива. Інспектори перевірятимуть бункерні накладні (BDN) та судові журнали для перехресної перевірки відповідності нормативним вимогам. Портативні прилади для вимірювання викидів будуть використовуватись для безпосереднього тестування відпрацьованих газів на вміст SO_x. Порти будуть використовувати ці інструменти під час планових перевірок для виявлення суден, що не відповідають вимогам. Проєкт, вже введений за ініціатива EMSA щодо використання безпілотників у Гібралтарській протоці, буде розширений й на інші регіони Середземномор'я (використання «дронів», оснащені датчиками для вимірювання викидів у відпрацьованих газах суден у режимі реального часу, дозволить здійснювати моніторинг навіть під час перебування суден у морі). Безпілотники залітають у шлейф — темний, токсичний слід газів, що утворюються при спалюванні палива, — перетинають його і збирають зразки. Бортові газові датчики в першу чергу аналізують SO_x та NO_x.

Портові адміністрації та морські адміністрації середземноморських країн координуватимуть свої зусилля для забезпечення дотримання вимог за допомогою спільних ініціатив. Буде налагоджено регулярний обмін даними та канали зв'язку для відстеження суден, що не дотримуються вимог, через кордони. На судна, що використовують невідповідне паливо або фальсифікують записи, накладатимуться значні штрафи та можливе затримання. Порушники можуть бути внесені до чорного списку, що обмежить

їхній доступ до середземноморських портів. Для страховиків і перестраховиків ці нові правила підвищують ризики, пов'язані з морським транспортом. Це вимагає ретельної переоцінки практик андеррайтингу і структур полісів, щоб врахувати мінливий регуляторний характер і його потенційний вплив на виплати морських страхових відшкодувань. Власники вантажів зіткнулися з додатковим фінансовим тиском, оскільки витрати, пов'язані з дотриманням вимог, такі як перехід на паливо з низьким вмістом сірки або встановлення скруберів, швидше за все, будуть перекладені на ланцюжок поставок. Це може призвести до підвищення фрахтових ставок і необхідності логістичних коригувань для пристосування до нових вимог, що потенційно вплине на загальну економічну ефективність транспортування товарів. Судноплавні компанії понесуть основний тягар витрат на дотримання вимог, оскільки вони намагатимуться збалансувати дотримання регуляторних норм із збереженням конкурентоспроможності на ринку. Інвестиції в більш чисті технології та операційні коригування збільшать їхній фінансові витрати, що вимагатиме прийняття стратегічних рішень для збереження життєздатності в умовах дедалі жорсткішого регуляторного середовища.

Отже:

1) під дію нових правил підпадають всі судна, які здійснюють транзит або працюють у Середземному морі.

2) Страховики повинні будуть враховувати в договорах морського страхування спеціальні ризики, пов'язані з дотриманням правил у нових ECAs.

3) Використання палива з низьким вмістом сірки або встановлення скруберів є основними технологічними альтернативами вирішення проблем для дотримання вимог роботи суден у нових ECAs.

4) За недотримання вимог до роботи суден у нових ECAs, покарання включатимуть значні штрафи та експлуатаційні обмеження.

Висновки. Впровадження нової ЕСА у Середземному морі та майбутнє визначення Канадської Арктики та Норвезького моря у якості ECAs підкреслюють спрямовану глобальну тенденцію щодо обов'язкового зниження викидів з суден. Однак використання палива з низьким вмістом сірки в ECAs може створювати експлуатаційні проблеми, проблеми безпеки та юридичні ризики. Розвиток декарбонізації судноплавства, використання альтернативних видів палива та зміни в конструкції суден можуть з часом посилити ці ризики. Щоб зменшити юридичні та правоохоронні ризики, власники та оператори суден повинні переглянути свої системи управління безпекою та експлуатаційні процедури, щоб переконатися, що вони належним чином відповідають вимогам щодо звітності та іншим регуляторним вимогам і політикам.

ЛІТЕРАТУРА

1. <https://www.eurosite.org/members/nature-and-biodiversity-conservation-union-nabu/> — Nature and Biodiversity Conservation Union (NABU).
2. <https://www.meoexamz.co.in/> – Marine Engineering.
3. <https://www.dnv.com/news/mediterranean-sox-eca-and-heavy-fuel-oil-ban-in-the-arctic-249948/> – Mediterranean SOx ECA, and heavy fuel oil ban in the Arctic.
4. <https://marine-safety-consultant.ch/marpol-annex-vi-new-fuel-requirements-for-ships-operating-in-the-mediterranean-sea-starting-may-1-2025/> — MARPOL Annex VI: New Fuel Requirements for Ships Operating in the Mediterranean Sea Starting May 1, 2025.
5. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/Pages/WhatsNew-2254.aspx> — New sulphur emission limits enter into effect in the Mediterranean.
6. MARPOL Annex VI Regulations 14.3.5, 14.3.6 and 14.3.7.
7. IMO Resolution MEPC.361(79) and MEPC.392(82).

REAL-TIME DIAGNOSTIC APPROACHES FOR MARINE DIESEL ENGINES IN THE CONTEXT OF IMO DECARBONIZATION GOALS

*Varbanets R.¹, Psaryuk S.^{1,2}, Mazur T.³, Rodionov A.^{1,4}, Bondarenko V.¹,
Malchevskiy V.¹, Zalozh V.³*

¹*Odessa National Maritime University
(Ukraine)*

²*Shipping Company «VC Logistic Operation D.O.O.»*

³*Danube Institute of National University «Odessa Maritime Academy»
(Ukraine)*

⁴*Mariq Service
(Canada)*

Introduction. As of early 2024, the global fleet includes approximately 109,000 vessels with a gross tonnage of over 100 GT, comprising both cargo and non-cargo ships [1]. According to Statista [2], maritime transport handles about 90% of global trade. Projections suggest that, in the absence of further measures, greenhouse gas [3] emissions from shipping could increase by up to 130% of 2008 levels by 2050 [4]. In 2023, international shipping emitted approximately 706 million tonnes of CO₂, accounting for nearly 3% of total global emissions [8].

In response, the International Maritime Organization [3] adopted a revised GHG reduction strategy, targeting the following milestones:

- A 40% reduction in carbon intensity of international shipping by 2030, compared to 2008 levels;
- Achievement of net-zero GHG emissions from ships by 2050;
- A 5–10% adoption rate of zero or near-zero GHG emission fuels and technologies by 2030.

Low-speed two-stroke engines continue to dominate the marine propulsion sector, especially on supertankers, ultra-large cargo ships, and container vessels, due to their high efficiency and output. In 2023, approximately 1,914 new shipbuilding contracts were signed, the highest annual number since 2015 [5,6].

In alignment with IMO regulations and national environmental agency requirements, active efforts are underway to reduce emissions of harmful substances during the operation of marine diesel engines. The most critical pollutants include sulfur oxides (SO_x), nitrogen oxides (NO_x), and particulate matter (PM). Amendments to Annex VI of the MARPOL Convention have established a global sulfur cap of 0.5% m/m in marine fuels since January 1, 2020 [10]. In Emission Control Areas (ECAs) such as the Baltic Sea, the North Sea, and North America, the sulfur content limit is 0.1% m/m [8]. Additionally, from May 1, 2025, the Mediterranean Sea will be designated as a SO_x ECA, requiring fuel with a sulfur content not exceeding 0.1% m/m (European Commission, 2023).

The transition to ultra-low sulfur diesel (ULSD) poses several technical challenges, particularly for engines originally designed to operate on high-viscosity, high-lubricity fuels. The desulfurization process reduces the lubricating properties of the fuel, potentially leading to increased wear on fuel system components, especially under conditions of low viscosity. For reliable operation of fuel injection systems, fuels with a viscosity of at least 2 cSt at 40 °C are recommended [11, 12].

To mitigate the reduced lubricity of ULSD, specialized additives are used, and updated fuel standards such as ISO 8217 now include lubricity specifications. Nevertheless, the adaptation of existing marine engines to ULSD requires further technical solutions and real-time monitoring of fuel combustion quality in engine cylinders [13].

Today, advanced technologies are available to improve fuel efficiency and reduce NO_x and CO₂ emissions from ships. Among them, in-cylinder combustion monitoring and control is a key method for assessing the operational and environmental performance of marine diesel engines [16]. Properly optimized combustion not only reduces NO_x, CO₂, and carbon particulate emissions

but also minimizes wear and damage to engine cylinders and auxiliary systems [17, 18].

The development of new diagnostic methods for assessing the technical condition of main and auxiliary marine engines enhances operational efficiency, reduces fuel consumption, and supports compliance with IMO decarbonization targets. The data analysis approaches presented in this paper underpin the functionality of a novel real-time parametric diagnostic system for marine engines [19].

Method of determining the initial approximation of tdc by analysing dp/dt diagrams

Data synchronization, i.e. the translation of pressure data in the cylinder from a function of time to a function of the crankshaft angle [20] is often necessary when no information is available about the actual degree of compression in the cylinder. This is typical for modern engines with variable valve timing.

The compression ratio in the cylinder $\varepsilon = V_a/V_c$, where ε is the compression ratio in the cylinder, V_a is the working volume of the cylinder, and V_c is the compression chamber volume.

$$P(t, ms) \rightarrow P(deg, ^\circ CA) \quad (1)$$

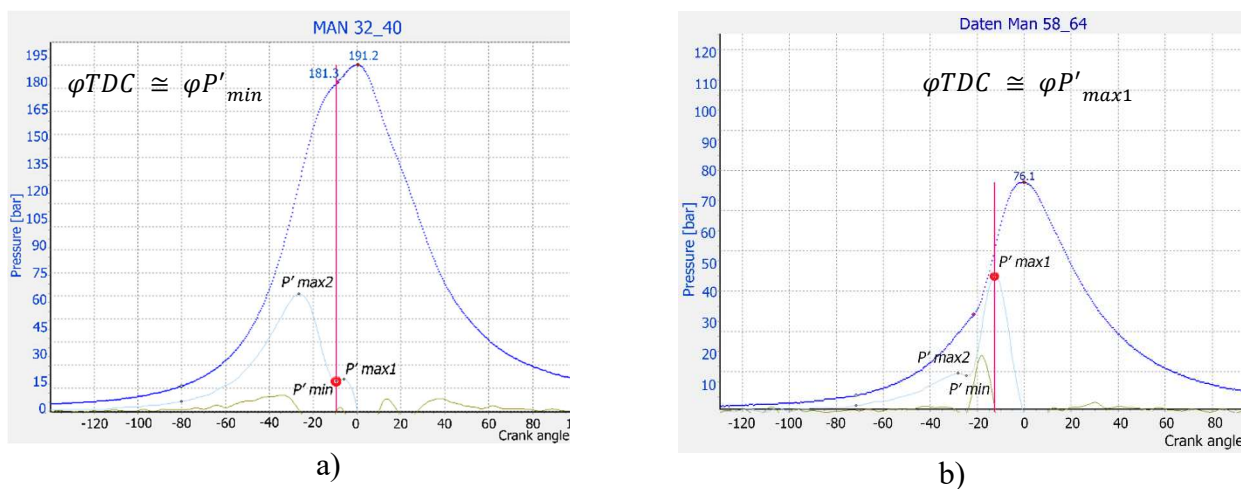


Figure 1 — Initial approximation of TDC for (a) MAN 32/40 and (b) MAN 58/64 engines [27]

The problem of analytically determining TDC has been addressed by many authors [21–25]. We note that for certain types of diesel engines, this problem is relatively straightforward. These are low-speed and medium-speed diesel engines with autoignition after TDC. In this case, the curve of the rate of change in pressure during compression $dP/d\varphi$ crosses zero at the position of TDC (excluding minor thermodynamic shift [20]). In other cases, the curve $dP/d\varphi$ closely approaches zero, and the extrapolated curve intersects zero at the position of TDC, with a very small extrapolation error [25].

An initial value for TDC is necessary to implement the method described above for determining the position of TDC and the boost pressure P_a . However, rapid determination of the initial value of TDC, which is calculated from the temporal diagrams $P(t, ms)$, is required for the operation of marine diesel engine diagnostic systems in real time. We introduce an empirical formula for determining TDC, based on an analysis of dP/dt diagrams obtained by numerical methods and processed by a digital filter [17] as shown in Fig. 1.

The initial phase of TDC is conventionally accepted as the point P_{max} , and the displacement to the initial approximation is calculated; the position of TDC is then refined by the method described above. An analysis of data obtained from marine engines using IMES sensors [17] and from working process models obtained in the Blitz-PRO environment [26] showed that

the relationship between the magnitudes and corresponding phases of the extrema of the pressure change rate diagrams in the working cylinder enabled the initial approximation of TDC to be determined. An analysis of marine engine indication data of different types [20] showed that in most cases, depending on the nature of the working process and the type of indicator diagram, the TDC position lies between the phases $[\varphi P'_{min}, P'_{max1}]$ of the minimum of the first derivative and the maximum of the first derivative of the combustion stroke.

The phase relationships between the maxima of the first derivatives during combustion $\varphi P'_{max1}$ and compression $\varphi P'_{max2}$, and the position of TDC, are experimentally obtained as shown in Figs. 4 and 5. It is found for various types of marine engines that in the case of ‘soft’ combustion, where the rate of pressure change during combustion is lower than during compression, the position of TDC is closer to the phase of the minimum of the first derivative $\varphi P'_{min}$, which occurs between compression and combustion, as illustrated in Fig. 1(a) (red point).

For engines with ‘intense’ combustion, where the maximum of the first derivative during combustion is greater than during compression, the position of TDC is closer to the phase of the maximum derivative during combustion, $\varphi P'_{max1}$, as depicted in Fig. 1(b) (red point). Two extreme cases are identified depending on the ratio of the magnitudes of P'_{max1}/P'_{max2} (these ratios are empirical, and need to be specified for a given type of engine).

$$\frac{P'_{max1}}{P'_{max2}} < 0.5 \rightarrow \varphi TDC \cong \varphi P'_{min1}, \quad (2)$$

$$\frac{P'_{max1}}{P'_{max2}} > 3.0 \rightarrow \varphi TDC \cong \varphi P'_{max1} \quad (3)$$

For modern engines, the ratio of the rates of pressure change during combustion and compression, P'_{max1} / P'_{max2} , may be less than 1.0; in other words, the rate of pressure increase during combustion is less than during compression, which characterizes ‘soft’ combustion (Varbanets et al., 2020) without significant dynamic loads on the crank-connecting rod mechanism and bearings, as shown in Fig. 1(a). In this case, $\varphi TDC \cong \varphi P'_{min}$. In general, the relationship between the position of TDC and the extrema of the first derivative can be represented by the following empirical formula:

$$\Delta \varphi_{TDC} = \varphi P'_{min} + \frac{\varphi P'_{max1} - \varphi P'_{min1}}{\theta_1 - \theta_2} \cdot \left(\frac{P'_{max1}}{P'_{max2}} - \theta_2 \right), \quad (4)$$

where $\theta_1 = [3-5]$, $\theta_2 = [0.3-0.9]$ are empirical coefficients; $\varphi P'_{min}$ is the minimum phase of the rate of pressure change between the maximum phases of compression and combustion; $\varphi P'_{max1}$ is the phase of the minimum rate of pressure change during fuel combustion; and P'_{max1} and P'_{max2} are the maximum rates of change in compression and combustion pressure. The calculated results for the initial approximation of TDC for several engines in which different methods are used to organise the work processes are shown in Figs. 1 and 2.

A further advantage of this algorithm is its low sensitivity to noise in the first derivative of pressure experimental data. Although one disadvantage of this approach is the need for tuning of the coefficients θ_1 , θ_2 , we note that once tuned, these coefficients can be subsequently used for the main operating modes of the engine, therefore allowing for real-time analysis of the pressure diagram in the cylinder.

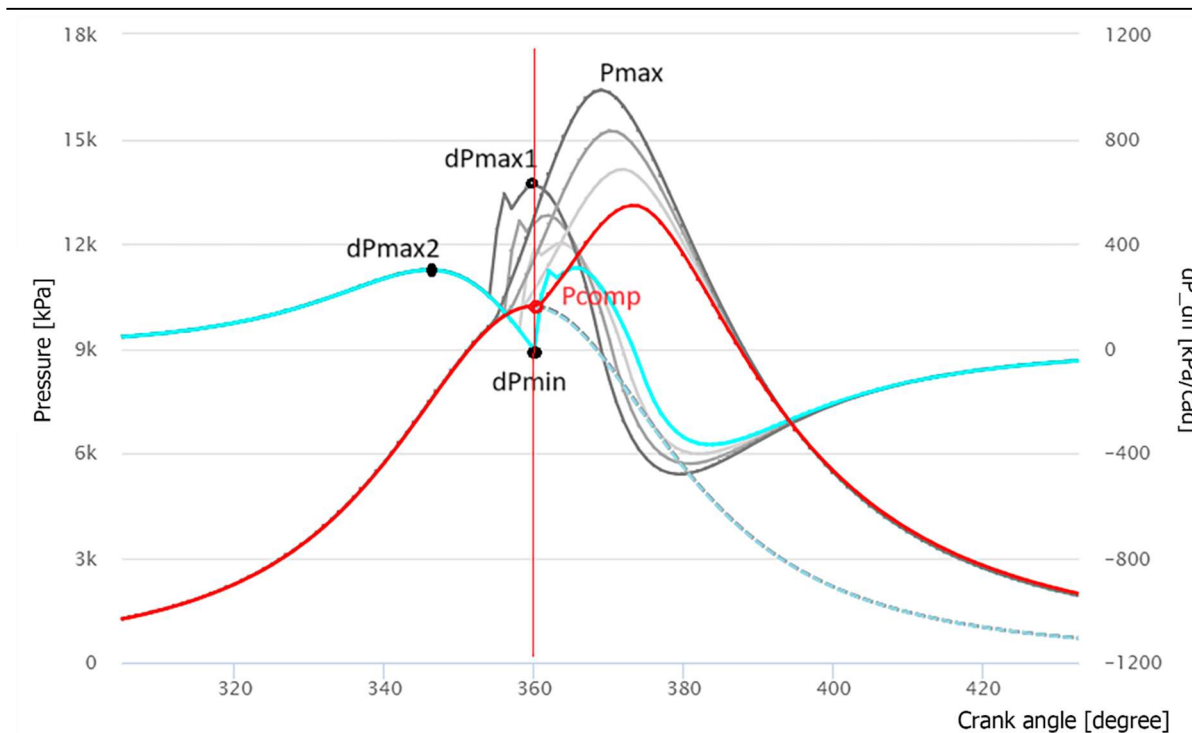


Figure 2 — Working process of the Wartsila 16V32 engine with different fuel injection advance angles [27]

Method of determining cycle-to-cycle irregularity

One of the tasks of a real-time diagnostic system for marine diesel engines is to assess the unevenness in the operating cycles in real time. When analysing a series of indicator diagrams of one cylinder, changes in the peak pressure values (P_{max}) are primarily seen, and with a more detailed analysis, changes in compression end pressures (P_{comp}) and mean effective pressures (IMEP) can be observed. In fact, changes occur from one cycle to the next throughout the indicator diagram curve $P(\varphi, ^\circ CA)$ or $P(t, ms)$. Unevenness in the operating cycles is mainly caused by the operation of the systems that are responsible for the quality of fuel combustion in the cylinder, i.e., the high-pressure fuel system and the valve timing control system.

Unevenness in the working cycles is a highly undesirable feature of marine diesel engines, since it leads to the following negative consequences:

- Increased overall levels of vibration of the engine;
- Uneven distribution of mechanical loads on the cylinders;
- Overloading of individual cylinders.

As a general consequence of these factors, there is a decrease in the effective efficiency and limitations on the power of the engine [20].

The uneven distribution of loads across cylinders leads to increased concentrations of toxic emissions in exhaust gases, which is currently strictly regulated by IMO requirements [3].

To reduce engine vibration and minimise the emission of harmful substances, it is necessary to control the irregularity in the operating cycles during engine operation. In the following, we identify some criteria of irregularity that can be obtained and analysed during engine operation in real time. Unlike other engine parameters (IMEP, IPOWER, etc.), an analysis of irregularity criteria can be performed via a 'quick scan' of the engine in real time, as the temporal diagrams $P(t, ms)$ can be used for this purpose. It can be said that evaluation of the irregularity in engine operating cycles is the main task of a real-time diagnostic system for marine diesel engines.

One of the main reasons for cycle-to-cycle variations is irregularity in fuel delivery, which can be caused by cycle-to-cycle variations in the injected fuel dose, injection timing angle $\Delta\varphi$, and injection duration $\Delta\varphi_{inj}$. In this case, changes occur in the main parameters of the working process, including IMEP and IPOWER for each cycle, thus reducing the operational efficiency of the engine. As it is approximately proportional to the percentage change in cycle fuel delivery, the

indicated power of the cylinder changes, thus increasing the level of vibration and decreasing the effective efficiency of the engine.

By recording and analysing the pressure in the cylinder over several consecutive working cycles, a real-time system can compare the differences in the parameters during the compression and combustion stages, and hence assess these differences numerically. Numerical analysis of vibrograms during fuel injection and valve closing stages can also be performed in real-time mode. A comparative analysis of the vibrograms during the compression stages enables an evaluation of the unevenness in the operation of the valve mechanism, whereas a comparative analysis during the combustion stages enables an assessment of the irregularities in the operation of the high-pressure fuel equipment.

Assessment of the unevenness in the working cycles as a diagnostic parameter should be carried out under a constant engine load. Since the load varies constantly due to external conditions during the operation of marine diesel engines, it is necessary to select stable periods of operation when assessing unevenness and to take into account the engine runtime.

Let us consider a certain number of indicator diagrams m of working processes ($j = 1, \dots, m$), recorded under a constant load of a main S60MC-C engine. The maximum pressure at each j -th cycle $P_{max j}$ and the maximum average pressure over m cycles $\overline{P_{max}}$ can be written as:

$$P_{max i} = \max(P_{ij}); \overline{P_{max}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m P_{max ij} \quad (5)$$

where $i=1, \dots, N$ is the number of points in one cycle when recording an indicator diagram; m is the number of recorded cycles; and j is the cycle index.

In most modern marine diesel diagnostic systems, step recording is used for pressure diagrams, with values of $\Delta P = 0.1^\circ \text{CA}$ for four-stroke engines and $\Delta P = 0.05^\circ \text{CA}$ for low-speed two-stroke engines. Such a small step allows for an analysis of the working process and its irregularity with the maximum degree of detail, and for an evaluation of the detonation coefficient during fuel combustion using spectral analysis methods [25].

To assess the unevenness in the working cycles, we use the popular coefficient of variation (COV) criterion [27], which can be applied to the entire pressure curve, thus obtaining a graph of COV_{Pi} values as an estimate of the unevenness in the engine operation. We can express the coefficient of variation of working cycles as a percentage that is equal to the ratio of the standard deviation to the current mean value of the selected quantity (in this case, pressure), as follows:

$$COV_{Pi} = \frac{\sigma_{pj}}{\overline{P}_j} * 100 \%, \quad (6)$$

where $\overline{P}_j = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m P_{ij}$, and the standard deviation σ_{pj} is calculated as:

$$\sigma_{pj} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \overline{P}_j)^2}. \quad (7)$$

We propose to calculate and analyse the maximum value $COV_{P,max}$ [33]. In our opinion, in addition to $COV_{P,max}$, it is also possible to analyse the current (diagram COV_{Pi}) and average $\overline{COV_P}$. From a chart of the current values of COV_{Pj} , the part of the diagram representing the greatest deviation of the operating cycles can be observed, and depending on the results, a conclusion can be drawn about the irregularity of fuel injection or the irregularity of the gas distribution valves (Fig. 7).

$$COV_{P,max} = \max(COV_{Pi}) \%; \overline{COV_P} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N COV_{Pi} \%; \quad (8)$$

It is possible to formulate a complex criterion for the irregularity of the operating cycles based on the pressure, referred to here as CII. This generally characterises the cyclic irregularity of the engine, and is defined as follows:

$$CII = \sqrt{\overline{COV_P} * COV_{P,max}}, \%. \quad (9)$$

CII is expressed as a percentage. As shown by a numerical analysis of computational and experimental data, Fig. 3, it is a convenient means of analysis, and allows for an overall characterisation of cycle-to-cycle variability.

Results and discussions. This analysis revealed significant cyclic irregularity in the old NVD24 laboratory engine and, as expected, low cyclic irregularity in the new WeiChai engine (Deutz 226). When analysing the operating cycles of the WeiChai, the values of $COV_{P,max}$, $\overline{COV_P}$ and CII_p were found to be significantly lower than the values of the same metrics for the other engines. A joint analysis of these three metrics showed that the generalised criterion CII_p is a good overall qualitative assessment of cycle-to-cycle variability, and can be applied in real time to evaluate the irregularity in the engine operation under load.

An assessment of the fuel injection irregularity in the engine cylinder can be carried out by analysing the phase fronts of the vibration signal of the injector, as shown in Fig. 3. The principle used to obtain and analyse vibration diagrams for the injectors and gas distribution valves has been published in several sources [17, 26, 27]. Since the pressure and vibration signals are measured simultaneously, after aligning the working cycles, it is possible to estimate the dispersion of the phase spread of the front fronts of the injection vibration diagram. ϕ_{adv} and $\Delta\phi_{inj}$, Fig. 3.

Table 1 — Comparison of COV and CII values for five types of engines [27].

	6S60MC-C	Wärtsilä 16V32	WUXI	NVD	WeiChai
$\overline{COV_P}$ %	0.94	0.980	0.852	1.906	0.45
3					1
CII, %	1.82	3.977	3.759	4.778	1.16
2					8
$COV_{P,max}$	3.52	16.14	16.59	11.97	3.02
%	4	2	4	6	5

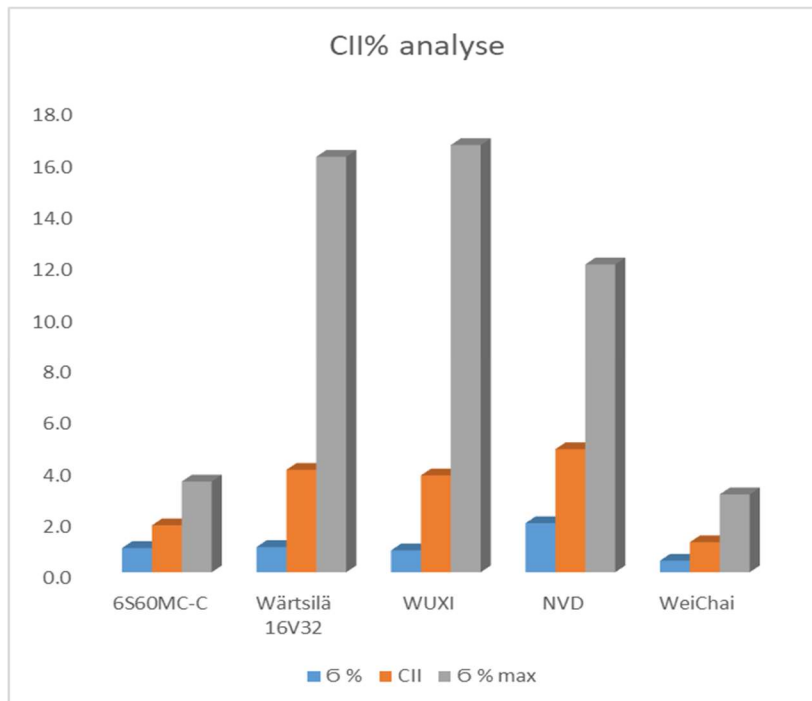


Figure 3 — Comparison of the CII % metric for five types of engines [27]

Visual monitoring of the cycle-to-cycle variability metrics offers convenience, and can be carried out in real time through an analysis of the temporal diagrams prior to solving the data synchronization task.

Conclusions. Real-time diagnostics of marine engines offers significant advantages, as it

allows us to analyse the current condition of the cylinder-piston group, the high-pressure fuel equipment, and the valve train mechanism directly, during operation. A real-time diagnostic system enables better adjustment of the corresponding mechanisms and facilitates monitoring of the results of this adjustment during operation.

Enabling the real-time operation of portable diagnostic systems represents a significant development in terms of expanding their capabilities. This advance required a number of problems to be solved, including the development of an efficient algorithm for piston TDC estimation, based exclusively on the cylinder pressure diagram, and the development of special methods for assessing the cycle irregularity. Two sensors are proposed here as a standard configuration of the portable system: a gas pressure sensor, to enable the creation of the pressure diagram for the engine cylinder, and a vibration sensor, which provides data on the fuel injection and gas distribution timing. Real-time assessment of cycle-to-cycle irregularity is suggested, based on the calculation of the following coefficients and indexes: the maximum and average values of coefficients of variation for in-cylinder gas pressure $COV_{P,max}$, $\overline{COV_P}$, the standard deviation for fuel injection and gas distribution timing σ_ϕ , and the cycle irregularity index CII. These factors are calculated from sensor data before real-time cycle synchronisation.

The proposed *original* method for determining the TDC of the piston is based on an analysis of the compression curve segment in the cylinder. Compared to other methods, it possesses greater accuracy, as it does not rely on derivatives of the pressure curve, which may contain a high level of noise when drawn from experimental data. The proposed method for determining TDC can be applied without information on the actual compression ratio in the cylinder, a typical scenario for modern engines with variable valve timing.

An algorithm is proposed for preliminary synchronisation in which the initial position of TDC is determined with sufficient accuracy for most practical cases; this algorithm is used as the first approximation for the method developed here.

To enable a comprehensive assessment of engine irregularity in real time, we propose a factor called CII, which is expressed as a percentage. Coefficients for assessing the irregularity in the timing of the fuel injection and the gas distribution valves are also proposed, using dispersion analysis of the vibrogram fronts. These coefficients are expressed in degrees of rotation of the crankshaft.

Practical implications. The data processing methods presented in this article form the basis for the operation of a new system for real-time parametric diagnostics of marine engines. The system is developed on the basis of a modern dual-core controller with high performance and low power consumption, including a high-speed ADC with sufficient capability to monitor the operating process with a resolution of up to 0.1 degrees of crankshaft rotation for all types of main and auxiliary marine engines. The system also uses wireless data transmission technology. A modern smartphone or tablet based on Android/iOS serves as a computing and graphic component of the system. The developed real-time diagnostic system allows using all the advantages of parallel analysis of pressure in the working cylinders and vibroacoustics. The system determines in real time the main parameters of the working process, fuel injection phases and valve timing.

REFERENCES

1. United Nations Conference on Trade and Development. (2024). Review of Maritime Transport 2024: Chapter 2 — Maritime fleet [PDF]. https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2024ch2_en.pdf
2. Statista. (2024). International shipping emissions worldwide from 2012 to 2023. <https://www.statista.com/statistics/1291468/international-shipping-emissions-worldwide/>
3. International Maritime Organization. (2023). 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx>
4. Reuters. (2025, April 17). Policy watch: Unambitious global shipping deal a lost opportunity for climate. <https://www.reuters.com/sustainability/boards-policy-regulation/policy->

watch-unambitious-global-shipping-deal-lost-opportunity-climate-2025-04-17/

5. Fortunebusinessinsights.com. (2024). Marine Engine Market Size, Share | Growth Report [2025-2032]. Retrieved from <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/marine-engine-market-100771>
6. Riviera Maritime Media. (2023). The top five trends in marine propulsion in 2024. Retrieved from <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/marine-propulsions-five-trends-to-watch-in-2024-78999>
7. Sustainable Ships. (2022). Specific Fuel Consumption [g/kWh] for Marine Engines. Retrieved from <https://www.sustainable-ships.org/stories/2022/sfc>
8. Lloyd's Register. (2025, February). 05/2025: New Emissions Control Areas for Mediterranean Sea, Canadian Arctic and Norwegian Sea. <https://www.lr.org/en/knowledge/class-news/05-25/>
9. European Commission. (2023, May 16). Reducing emissions from the shipping sector. Climate Action. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-shipping-sector_en
10. United Nations Conference on Trade and Development. (2023). World fleet statistics: Merchant fleet by flag of registration and by type of ship, annual (1980–2023). UNCTADstat. https://unctad.org/system/files/official-document/tdstat48_FS014_en.pdf
11. American Bureau of Shipping. (2010). *ABS Nautical Systems: Fuel switching advisory notice* (36 p.).
12. CIMAC. (2007). Guidelines for Diesel Engine Lubrication Impact of Fuel Quality (CIMAC Recommendation No. 26). https://www.cimac.com/cms/upload/Publication_Press/Recommendations/Recommendation_26.pdf
13. Peninsula. (2022). Low Viscosity vs Lubricity in Fuel Quality Analysis. Ship & Bunker. <https://shipandbunker.com/news/world/177237-peninsula-low-viscosity-vs-lubricity-in-fuel-quality-analysis>
14. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Shcherbina, O., & Vasalatii, N. (2023). Simulation-based method for predicting changes in the ship's seaworthy condition under impact of various factors. In *Studies in Systems, Decision and Control* (Vol. 481, pp. 653–664). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_37
15. Melnyk, O., Sagaydak, O., Shumylo, O., & Lohinov, O. (2023). Modern aspects of ship ballast water management and measures to enhance the ecological safety of shipping. *Studies in Systems, Decision and Control*, 481, 681–694. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_39
16. Koskina, Y., Onyshenko, S., Drozhzhyn, O., & Melnyk, O. (2023). Efficiency of tramp fleet operating under the contracts of affreightment. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 120, 137–149. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.120.9>
17. Neumann, S., Varbanets, R., Minchev, D., Malchevsky, V., & Zalozh, V. (2022). Vibrodiagnostics of marine diesel engines in IMES GmbH systems. *Ships and Offshore Structures*. <https://doi.org/10.1080/17445302.2022.2128558>
18. Minchev, D., Varbanets, R., Aleksandrovska, N., & Pisintsaly, L. (2021). Marine diesel engines operating cycle simulation for diagnostics issues. *Acta Polytechnica*, 61(3), pp. 428–440. <https://doi.org/10.14311/AP.2021.61.0435>
19. Varbanets, R., Shumylo, O., Marchenko, A., Minchev, D., Kyrnats, V., Zalozh, V., Aleksandrovska, N., Brusnyk, R., & Volovyk, K. (2022). Concept of vibroacoustic diagnostics of the fuel injection and electronic cylinder lubrication systems of marine diesel engines. *Polish Maritime Research*, 29(4), 88–96. <https://doi.org/10.2478/pomr-2022-0046>
20. Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill Education.
21. Tunestal P. Model based TDC offset estimation from motored cylinder pressure data. *Proceedings of the 2009 IFAC Workshop on Engine and Powertrain Control, Simulation and Modeling IFP, RueilMalmaison, France, Nov. 30–Dec. 2, 2009.*

- <https://doi.org/10.3182/20091130-3-FR-4008.00032>
22. Pipitone E, Beccari A. Determination of TDC in internal combustion engines by a newly developed thermodynamic approach. *Applied Thermal Engineering*, 2009.
 23. Staś M. An universally applicable thermodynamic method for TDC determination. SAE Technical Paper 2000-01-0561. 2000. Retrieved from <http://papers.sae.org/2000-01-0561/>. doi, 10.4271/2000-01-0561
 24. Tazerout M, Le Corre O, Rousseau S. TDC determination in IC engines based on the thermodynamic analysis of the temperature-entropy diagram. SAE Technical Paper 1999-01-1489. 1999. Retrieved from <http://papers.sae.org/1999-01-1489/>. doi, 10.4271/1999-01-1489.
 25. Varbanets R A, Zalozh V I, Shakhov A V, Savelieva I V, Piterska V M. Determination of top dead centre location based on the marine diesel engine indicator diagram analysis. *Diagnostyka* 2020, 21(1), 51–60. <https://doi.org/10.29354/diag/116585>
 26. Minchev, D. (n.d.). Blitz-PRO user's manual [Computer software manual]. <http://blitzpro.zeddmalam.com/application/index/signin>
 27. Varbanets, R., Minchev, D., Kucherenko, Y., Zalozh, V., Kyrylash, O., & Tarasenko, T. (2024). Methods of real-time parametric diagnostics for marine diesel engines. *Polish Maritime Research*, 31(3), 71–84. <https://doi.org/10.2478/pomr-2024-0037>

КОМПЛЕКСНА МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ: ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО КІЛЬКІСНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТА СТРАТЕГІЇ ЕФЕКТИВНОЇ МІНІМІЗАЦІЇ

Бажак О. В.

*Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»
(Україна)*

Вступ. У контексті сучасної глобалізації економічних процесів спостерігається суттєва інтенсифікація морських транспортних операцій, що забезпечують переміщення понад 80% світового товарообігу. Втім, паралельно з економічними перевагами, відбувається прогресуюче антропогенне навантаження на морські екосистеми та атмосферний басейн. Аналіз екологічних наслідків функціонування морського транспортного комплексу свідчить про комплексний характер негативного впливу, що проявляється через множинні механізми [2].

Встановлено, що домінуючими факторами впливу є: емісія парникових газів (зокрема CO₂, CH₄, N₂O), що безпосередньо корелює з процесами кліматичних змін; викиди сполук сірки та азоту (SO_x та NO_x), які виступають прекурсорами утворення кислотних опадів; надходження нафтопродуктів та різноманітних токсичних сполук у водне середовище; генерація підводного акустичного випромінювання, що призводить до порушення міграційних шляхів та репродуктивних циклів морської біоти [3].

Актуальність досліджень. Проведений систематичний огляд сучасного наукового дискурсу (МО, 2023; Smith et al., 2022) виявив низку суттєвих методологічних прогалин у системі екологічного оцінювання впливу морських транспортних операцій. Зокрема, ідентифіковано наступні проблемні аспекти:

1. Методична фрагментарність існуючих підходів до кількісної оцінки емісійних характеристик, що унеможливлює комплексне порівняння різних джерел забруднення [2];
2. Відсутність валідованих уніфікованих методологічних підходів до інтегральної оцінки екологічного впливу, що враховували б синергетичні та кумулятивні ефекти [1];
3. Недостатній рівень розробленості адаптаційних механізмів, що дозволяли б оперативно реагувати на кліматичні зміни та відповідні трансформації транспортних операцій [3].

Особливої актуальності набуває питання модернізації системи екологічного моніторингу через інтеграцію технологій дистанційного зондування Землі та алгоритмів штучного інтелекту, що дозволить забезпечити вищу точність та оперативність отримання параметричних даних.

Постановка задачі. Методологічний інструментарій дослідження сформовано на основі системного підходу з використанням комплементарних наукових методів:

1. статистичний аналіз часових рядів даних автоматичної ідентифікаційної системи (AIS) за період 2018–2023 рр. із застосуванням програмного середовища R та статистичних пакетів для обробки великих масивів даних;
2. чисельне моделювання процесів розповсюдження забруднюючих речовин у морському середовищі з використанням обчислювального програмного комплексу Open FOAM на основі методу скінченних об'ємів;
3. експериментальні вимірювання емісійних характеристик репрезентативної вибірки суднових енергетичних установок у процесі їх стендових випробувань з використанням аналітичного обладнання згідно з ISO 8178;
4. метод багатокритеріальної оптимізації для розрахунку інтегральних показників еколого-економічної ефективності запропонованих заходів за критеріями Парето.

Результати дослідження. На підставі аналізу експериментальних даних

встановлено, що питомі викиди діоксиду вуглецю сучасних суднових енергетичних установок знаходяться в діапазоні 10–15 г/кВт·год., що демонструє позитивну динаміку зниження на 25% порівняно з аналогічними показниками десятирічної давності. Однак, слід зауважити, що абсолютні обсяги викидів CO₂ демонструють висхідний тренд, зумовлений інтенсифікацією морських перевезень та збільшенням сумарного тоннажу світового флоту. Результати чисельного моделювання продемонстрували, що максимального інтегрального еколого-економічного ефекту можна досягти шляхом імплементації комплексу взаємодоповнюючих заходів:

1. Трансформація паливної бази суднових енергетичних установок з переходом на зріджений природний газ (LNG), що забезпечує редукцію емісії CO₂ на 20–25%;
2. Інтеграція системи очищення вихлопних газів (скрубєрів) нового покоління, що дозволяє знизити викиди оксидів сірки на 90–95%;
3. Оптимізація логістичних маршрутів на основі предиктивних метеорологічних моделей, що забезпечує економію палива до 18%.

Таблиця 1 — Порівняльна ефективність заходів зі зниження екологічного впливу

Захід	Ефективність редукції	Термін окупності	Експлуатаційні обмеження
Використання LNG	25%	5–7 років	Високі капітальні витрати
Скрубєри нового покоління	95%	3–5 років	Складність експлуатаційного обслуговування
Оптимізація маршрутів на основі предиктивних моделей	18%	1–2 роки	Обмежена точність довгострокових прогнозів

Висновки. Проведене дослідження довело високу ефективність запропонованої методології оцінки екологічного впливу морського транспорту. Отримані результати демонструють, що розроблений підхід дозволяє з достатньою точністю ($\pm 15\%$) визначати рівень забруднення від судноплавства.

Важливим результатом дослідження стало визначення найперспективніших шляхів зменшення шкідливого впливу. Серед них особливої уваги заслуговує перехід на альтернативні види палива, такі як зріджений природний газ та водень, які можуть істотно знизити викиди парникових газів. Не менш важливим напрямком є вдосконалення систем очищення викидів, що особливо актуально для великих суден.

Окремо варто відзначити потенціал сучасних технологій у плануванні маршрутів. Використання передових алгоритмів і штучного інтелекту відкриває нові можливості для зменшення паливних витрат і, відповідно, екологічного навантаження.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою інтелектуальних систем моніторингу на основі IoT-технологій. Такі системи могли б забезпечити оперативний контроль екологічних параметрів і швидке реагування на потенційні загрози. Це особливо важливо в умовах зростаючого вантажообігу і посилення вимог до екологічної безпеки морських перевезень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Technical Requirements for 2023 IMO GHG Strategy / C. Zhang et al. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, no. 7. P. 2766. URL: <https://doi.org/10.3390/su16072766>
2. Decarbonization Pathways for International Maritime Transport: A Model-Based Policy Impact Assessment / R. Halim et al. *Sustainability*. 2018. Vol. 10, no. 7. P. 2243. URL: <https://doi.org/10.3390/su10072243>
3. Decarbonization of maritime transport: Sustainability assessment of alternative power systems / F. Zanobetti et al. *Journal of Cleaner Production*. 2023. P. 137989. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137989>

РОЛЬ ОПЕРАЦІЙНОГО ПОКАЗНИКУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ У ВПРОВАДЖЕННІ SEEMP В УМОВАХ СУЧАСНОГО СУДНОПЛАВСТВА, ЯКІ ЗМІНЮЮТЬСЯ ДИНАМІЧНИМ ЧИНОМ

Безбах О. М., Безуглова І. В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Зростання глобальних екологічних викликів та посилення вимог до зменшення викидів парникових газів у морській індустрії спонукають судноплавні компанії до впровадження ефективних заходів з управління енергоефективністю в умовах сучасного судноплавства, які змінюються динамічним чином. Одним із ключових інструментів для досягнення цієї мети є План управління енергоефективністю судна (SEEMP), який спрямований на оптимізацію використання палива та зниження викидів CO₂. Для моніторингу ефективності впровадженого SEEMP Міжнародна морська організація (ІМО) пропонує використовувати операційний показник енергоефективності суден (ЕЕОІ), описаний у Керівництві МЕРС.1/Circ.684 від 17 серпня 2009 року. Цей показник дозволяє оцінити викиди CO₂ на одиницю транспортної роботи, надаючи судовим операторам чіткий інструмент для аналізу та покращення екологічних показників [1–2]. Автори даних тез пропонують огляд базового принципу розрахунку ЕЕОІ, його ролі у моніторингу SEEMP та практичних аспектів застосування для моніторингу та підвищення енергоефективності суден.

Актуальність дослідження. Актуальність даних тез обумовлена тим, що дослідження питань, пов'язаних із впровадженням та моніторингом Плану управління енергоефективністю судна (SEEMP) та використанням операційного показника енергоефективності суден (ЕЕОІ), є своєчасними та важливими в умовах глобальних екологічних викликів та посилення вимог до зменшення викидів парникових газів у морській індустрії. Глобальні виклики, такі як зміна клімату та посилення міжнародних екологічних стандартів, зокрема вимог Міжнародної морської організації (ІМО), змушують судноплавну галузь активно шукати шляхи зменшення викидів парникових газів, зокрема CO₂. Згідно зі Стратегією ІМО щодо скорочення викидів парникових газів, прийнятою у 2018 році, судноплавство має досягти скорочення викидів CO₂ щонайменше на 40 % до 2030 року та на 70 % до 2050 року порівняно з рівнями 2008 року [3].

ЕЕОІ, як добровільний інструмент моніторингу, відіграє ключову роль у оцінці енергоефективності суден, дозволяючи операторам аналізувати вплив експлуатаційних заходів на викиди та паливну ефективність. У контексті посилення регуляторних вимог, таких як система збору даних про споживання палива (DCS) та індекс вуглецевої інтенсивності, використання ЕЕОІ набуває додаткової ваги, оскільки воно сприяє не лише дотриманню нормативів, але й підвищенню конкурентоспроможності судноплавних компаній за рахунок зниження експлуатаційних витрат.

Крім того, актуальність дослідження підкріплюється необхідністю гармонізації методів моніторингу енергоефективності в глобальному масштабі. Незважаючи на добровільний характер ЕЕОІ, його використання може стати основою для розробки універсальних стандартів оцінки екологічної ефективності суден. Таким чином, дослідження ефективності впровадження SEEMP та ЕЕОІ, як показника зазначеної ефективності, має практичне значення для судових операторів, регуляторних органів та наукової спільноти, сприяючи розробці інноваційних рішень в умовах сучасного судноплавства, які змінюються динамічним чином.

Результати дослідження. Після того, як SEEMP впроваджено на судні, починається моніторинг плану, який дозволяє спостерігати за ефективністю впровадженого SEEMP. Існують заздалегідь визначені затверджені методи міжнародних стандартів, доступні для моніторингу ефективності SEEMP, такі як ЕЕОІ, відповідно до Керівництва, розробленого ІМО та схваленого 17 серпня 2009 року МЕРС.1/Circ.684 «Керівництво з добровільного

використання операційного показника енергоефективності суден (ЕЕОІ)». Отже, ЕЕОІ — це операційний показник енергоефективності, який може бути визначений за споживанням палива судном у конкретному рейсі, що перевозить певну кількість вантажу [4–5].

Простіше кажучи, ЕЕОІ — це кількість CO₂, що викидається судном на тонно-милю роботи. Тобто, це відношення викидів CO₂ до тонно-милі, цей показник являє собою кількість вантажу помножену на пройдено відстань. Але операторам суден зазвичай відома лише точна кількість палива, спожитого конкретним судном. Щоб дізнатися кількість CO₂, що виділяється з певної кількості палива певного сорту, необхідно застосовувати коефіцієнт перерахунку маси палива в масу CO₂ (C_F).

Таблиця 1 – Коефіцієнти перерахунку маси палива в масу CO₂, де кожному виду палива відповідає свій коефіцієнт перерахунку (C_F)

Тип палива	Примітка	Коефіцієнт перерахунку маси палива в масу CO ₂ (C _F)
Diesel / Gas Oil	ISO 8217	3.206000
Light Fuel Oil (LFO)	ISO 8217	3.151040
Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217	3.114400
Liquified Petroleum Gas (LPG)	BUTANE	3.030000
	PROPANE	3.000000
Liquified Natural Gas (LNG)	—	2.750000

Кількість спожитого судном палива, помножена на цей коефіцієнт перерахунку, дасть кількість CO₂, викинутого при використанні цього палива. Таким чином, формула для розрахунку ЕЕОІ набуває зручного вигляду

$$EEOI = (\text{Fuel Consumed} \times C_F) / (\text{Cargo Carried} \times \text{Distance Sailed}), \quad (1)$$

де C_F — коефіцієнт перерахунку маси палива в масу CO₂, де кожному виду палива відповідає свій [5].

На етапі планування важливо визначити метод моніторингу, а також спосіб застосовування методу, щоб користувачам (судноводіям та операторам) було легше впроваджувати систему і усвідомлювати свою відповідальність в рамках системи. ЕЕОІ є одним з таких інструментів моніторингу, запропонованих ІМО. Використання ЕЕОІ як інструменту моніторингу є добровільним, і оператори суден можуть використовувати будь-який інший інструмент моніторингу за бажанням. Однак кінцевою метою будь-якого суднового оператора має бути зниження ЕЕОІ з часом, що свідчить про кращу паливну ефективність і менші викиди CO₂.

Висновки. План управління енергоефективністю судна (SEEMP) є ключовим інструментом для судноплавної галузі, спрямованим на підвищення енергоефективності, зниження викидів парникових газів та оптимізацію експлуатаційних витрат. У поєднанні з операційним показником енергоефективності суден (ЕЕОІ), запропонованим Міжнародною морською організацією (ІМО) у Керівництві МЕРС.1/Circ.684 від 17 серпня 2009 року, SEEMP створює цілісну систему для моніторингу та вдосконалення екологічних і економічних показників суден. ЕЕОІ, як кількісний показник, дозволяє оцінити викиди CO₂ на тонно-милю транспортної роботи, що робить його ефективним інструментом для аналізу паливної ефективності та впливу судна на довкілля.

Розрахунок ЕЕОІ, заснований на формулі, яка враховує споживання палива, коефіцієнт перерахунку маси палива в масу CO₂ та обсяг транспортної роботи, тобто обсягу вантажу, транспортованого на відповідну відстань, забезпечує прозорий і стандартизований підхід до оцінки енергоефективності. Використання заздалегідь визначених коефіцієнтів для різних типів палива, таких як дизель, важке паливо чи зріджений природний газ, дозволяє операторам суден точно визначати обсяг викидів CO₂, що є критично важливим

для відповідності сучасним екологічним стандартам. Добровільний характер ЕЕОІ не применшує його значення, оскільки цей інструмент дає змогу судновим операторам гнучким чином адаптувати методи моніторингу до специфіки їхньої діяльності, водночас сприяючи досягненню глобальних кліматичних цілей.

Автори даних тез наголошують, що систематичне впровадження SEEMP та використання ЕЕОІ для моніторингу сприяють не лише зниженню викидів CO₂, але й підвищенню економічної ефективності за рахунок скорочення витрат на паливо. У контексті посилення міжнародних регуляторних вимог, таких як система збору даних про споживання палива (DCS) та індекс вуглецевої інтенсивності, ЕЕОІ набуває додаткової актуальності, оскільки допомагає операторам суден не лише відповідати нормативним вимогам, але й демонструвати свою відповідальність у боротьбі зі зміною клімату. Більше того, зниження ЕЕОІ з часом є індикатором успішної реалізації заходів з енергоефективності, що підвищує конкурентоспроможність судноплавних компаній на глобальному ринку.

Як висновок автори даних тез зазначають, що SEEMP та ЕЕОІ є невід’ємними елементами стратегії сталого розвитку морського транспорту. Ці методи та показники забезпечують суднових операторів практичними інструментами для управління екологічними ризиками та оптимізації операційної діяльності. Подальші дослідження в цій сфері, а також активне впровадження цих інструментів у практику, сприятимуть гармонізації стандартів енергоефективності, підвищенню прозорості в оцінці викидів та створенню більш екологічно орієнтованої судноплавної індустрії. У довгостроковій перспективі це сприятиме досягненню цілей Стратегії ІМО щодо скорочення викидів парникових газів, зокрема зниження вуглецевої інтенсивності судноплавства на 40 % до 2030 року та на 70 % до 2050 року порівняно з рівнями 2008 року.

ЛІТЕРАТУРА

1. Безбах О. М., Безуглова І. В., Кириченко К. В. Аналіз впливу сучасних автоматизованих систем управління рухом на проектний індекс енергоефективності суден. Збірник матеріалів XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2024)», Одеса, 29–31 травня 2024. Херсон : Херсонська державна морська академія, 2024. С. 106 – 109.
2. Consolidated Text of the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS). London : International Maritime Organization Publishing, 2020. 574 P.
3. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW): Including Manila Amendments. London : International Maritime Organization Publishing, 2017. 378 P.
4. International Chamber of Shipping Bridge Procedures Guide : Sixth Edition. London : Marisec Publications, 2022. 196 P.
5. MEPC.1/Circular.684. Adopted on 17 August 2009. Guidelines for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI). URL : <https://www.imo.org/en>.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЗУЧОСТІ ІЗОТРОПНИХ ЕПОКСИПЛАСТІВ ДЛЯ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Букетов А.В., Стрельченко В.Ю., Юренін К.Ю., Соценко В.В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Фізико-механічні властивості композитних матеріалів (КМ), у тому числі повзучість і їх релаксаційні характеристики, суттєво залежать від міжмолекулярної взаємодії на межі поділу фаз при формуванні композитів. У цьому плані перспективним є використання КМ з дисперсним наповнювачем. Останні забезпечують синергетичний ефект у поліпшенні властивостей КМ. Використання дисперсних і активних до міжфазової взаємодії часток, на наш погляд, забезпечить ізотропні властивості композитів, що зумовить підвищення показників повзучості КМ і відповідно їх зносостійкості.

Мета роботи — дослідити повзучість дисперсонаповнених епоксипластів для транспортної галузі.

Результати досліджень. Як основний компонент для зв'язувача при формуванні матеріалів вибрано епоксидний діановий олігомер. Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін. Як наповнювач вибрано титано-алюмінієву шихту.

У роботі досліджено характеристики повзучості таких епоксидних композитів:

– КМ 1 — немодифікована епоксидна матриця на основі діанової смоли ЕД-20 (100 %) і твердника поліетиленполіаміну (10 %);

– КМ 2 — композит, що формували за наступного співвідношення компонентів — епоксидний зв'язувач: модифікатор (у вигляді 2,4-діаміноазобензол-4'-карбонової кислоти): мікродисперсний наповнювач (у вигляді синтезованої титано-алюмінієвої шихти (ПТАШ: Ti (75 %) + Al_3Ti (15 %) + Ti_3AlC_2 (10 %)) ($d = 10 \dots 12$ мкм) — 100 : 1,0 : 0,5.

Експериментально встановлено, що для немодифікованої епоксидної матриці (КМ 1) максимальний прогин при дії зовнішнього навантаження на початковому етапі дослідження становить $\Delta l = 0,60 \times 10^{-3}$ м при відносній деформації — $\varepsilon = 45,9$ %. Використання композиту КМ 2, який містить модифікатор і дисперсний наповнювач ПТАШ за оптимального вмісту, забезпечує зменшення максимального прогину зразка стосовно епоксидної матриці у 2 рази (від $\Delta l = 0,60 \times 10^{-3}$ м до $\Delta l = 0,27 \times 10^{-3}$ м), при цьому відносна деформація у процесі дослідження за вибраних температурно-часових параметрів також зменшується у 1,4 разів (від $\varepsilon = 45,9$ % до $\varepsilon = 33,3$ %). Можна стверджувати про підвищені показники когезійних властивостей матеріалу КМ 2 порівняно з вихідною матрицею, які виявлено уже на початкових етапах дослідження повзучості композиту. Обґрунтовано, що введення інгредієнтів у вигляді модифікатора чи дисперсних часток ПТАШ сприяє інтенсифікації процесів структуроутворення композитів.

Висновки. Обґрунтовано, що введення інгредієнтів у вигляді модифікатора 2,4-діаміноазобензол-4'-карбонової кислоти та дисперсних часток синтезованої титано-алюмінієвої шихти сприяє інтенсифікації процесів структуроутворення композитів. Це зумовлено наявністю активних центрів у вигляді Al_3Ti і Ti_3AlC_2 на поверхні дисперсної фази і карбонільних $\text{C}=\text{O}$, карбоксильних COOH - та гідроксильних $-\text{OH}$ -груп, а також бокових груп первинних амінів $-\text{NH}_2$, у хімічній структурі модифікатора. Взаємодія таких активних центрів і груп із сегментами та боковими групами епоксидного олігомеру забезпечує поліпшення когезійної міцності епоксикомпозитів, що передбачає зменшення показників повзучості вже на початкових етапах статичних навантажень.

ПРО ДЕЯКІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Воїнов О. П., Кобалава Г. О., Самохвалов В. С.

*Херсонський навчально-науковий інститут
національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)*

Вступ. Світове виробництво і навколишнє природне середовище (ПС) тісно взаємодіють. При цьому виробництво, особливо в індустріальний період свого розвитку, надає на ПС інтенсивний прискорений багатофакторний шкідливий вплив, наслідки якого погіршують його стан, оскільки нині процес самовідновлення ПС свого стану є вже слабкішим, ніж процес шкідливого впливу на нього виробництва.

Перед людством постала проблема захисту ПС від шкідливого впливу виробництва.

Актуальність. Нині, в період критично складної екологічної ситуації в світі, головна проблема людства полягає у вишукуванні шляхів і засобів для всебічного рішучого підвищення рівня екологічної ефективності функціонування (екологічності) технологічних об'єктів світового виробництва, всіх його галузей. Повною мірою ця проблема постала перед виробничими об'єктами вітчизняної системи водного транспорту та його інфраструктури, що мають ряд істотних особливостей, зумовлених специфікою сфери діяльності і порівняно невеликим обсягом виробництва.

Постановка задачі. Забруднення довкілля водним транспортом відбувається за декількома напрямками. По-перше, морські та річкові судна забруднюють біосферу відходами, одержуваними внаслідок їхньої експлуатаційної діяльності (нафтовмісні та стічні води, сміття, викиди в атмосферу вихлопних газів судових двигунів: CO₂, окис вуглецю, оксиди сірки, оксиди азоту, тверді частки тощо), по-друге, забруднення відбувається внаслідок аварій суден з токсичними вантажами, в основному нафтою та нафтопродуктами, по-третє, об'єкти водного транспорту знижують якість життя людей, що живуть поблизу портів підвищеним рівнем шуму під водою та над водою.

Питання впливу морських та річкових транспортних засобів на екологію чи загроз, пов'язаних з активізацією водного руху, все частіше порушується світовими лідерами. У 2021 році було створено перший Європейський екологічний звіт з морського транспорту (ENTER'21). Цей рапорт тісно пов'язаний із концепцією «Зеленого курсу» (комплексу рішень, спрямованих на досягнення нульового рівня викидів CO₂ до 2050 року) [1].

Дуже важливим інструментом прискореного вирішення актуальних екологічних проблем є дослідження, розробка і використання інноваційних рішень у всіх сферах діяльності людства.

Поглиблений аналіз екологічної проблеми переконує в тому, що вона є комплексною і складається з двох всебічно і тісно взаємопов'язаних проблем. Перша проблема - технічна, друга - соціально-психологічна. Сформована в світі вкрай складна екологічна ситуація змушує людство напружено займатися вирішенням обох проблем.

Соціально-психологічна проблема вимагає необхідність перебудуватися в своєму соціально-психологічному відношенні до ПС, до процесу його взаємодії з виробництвом і з людством, замінити споживче, байдуже ставлення людей до їх ролі в процесі взаємодії з навколишнім ПС на дбайливе та відповідальне.

Технічна проблема полягає в необхідності скоротити шкідливий вплив виробництва до такого рівня, при якому процес погіршення стану ПС припиниться, внаслідок того, що шкідливий вплив виробництва на ПС скоротився до рівня процесу самовідновлення ПС. Якщо ці два процеси – погіршення стану ПС та відновлення ПС — далі будуть перебувати в динамічній рівновазі, то стан ПС не змінюватиметься.

Ключовими для вирішення проблем екології водного транспорту є питання, пов'язані з енергозберігаючими рішеннями, можливістю використання альтернативних видів палива, зниженням рівня шуму, створюваного транспортними засобами, суднами, методами

переробки відходів, що утворюються під час транспортування тощо.

На особливу увагу заслуговує та обставина, що використовуване вітчизняним водним транспортом обладнання відрізняється високим ступенем фізичного зносу, отже, низьким рівнем його технологічної ефективності, її екологічної, економічної та загальнотехнічної складових.

Як відомо, засобом підвищення рівня технологічної ефективності функціонування зношеного обладнання є здійснення його оновлення.

На водному транспорті здійснення в найближчі роки повного оновлення діючого обладнання недоступно, через відсутність необхідних в цьому випадку великих ресурсовкладень. Реально доступним в цих умовах є здійснення часткового оновлення діючого обладнання, як першого кроку на шляху вирішення екологічної проблеми.

Результати досліджень. Часткове оновлення зношеного технічного об'єкта може бути різного змісту і різного об'єму. У кожному разі ці параметри визначають його зміст і очікуваний ефект підвищення рівня технологічної ефективності об'єкта, в тому числі підвищення його екологічності.

До програми часткового оновлення входять:

- обстеження зношеного технічного об'єкта, оцінка його поточного стану, рівня його технологічної ефективності;
- прогнозна оцінка умов майбутнього періоду експлуатації оновленого об'єкта;
- вибір головного показника рівня технологічної ефективності об'єкта, за яким належить оцінювати його поточний стан і залишковий ресурс;
- аналіз та вибір шляху майбутнього оновлення технічного об'єкта: стратегічного (оновлення елементів технологічного процесу), тактичного (оновлення елементів конструкції), оперативного (оновлення елементів режиму функціонування об'єкта);
- складання програми часткового оновлення технічного об'єкта;
- організація та здійснення комплексу заходів за програмою часткового оновлення;
- пуск, налагодження, випробування оновленого технічного об'єкта [2].

Часткове оновлення зношеного технічного об'єкта, за характером та особливостями комплексу робіт, може мати характер його модернізації, реконструкції чи технічного переозброєння.

Часткове оновлення технічного об'єкта є поєднанням контролю стану його елементів і безпосереднього доступного ремонтно-відновлювального впливу на них. Це повною мірою стосується технічних об'єктів водного транспорту і перш за все зношеного суднового силового устаткування, часткове оновлення якого здійснюється за умови, що суднові двигуни залишають у експлуатації [3, 4].

Програма часткового оновлення зношеного суднового устаткування являє собою розширену програму його технічного, експлуатаційного та ремонтного обслуговування, що здійснюється в напрямку підвищення насамперед рівня його екологічної ефективності.

При оновленні суднового двигуна слід враховувати низку рекомендацій. Високі теплові та механічні навантаження в сучасних високооборотних суднових двигунах зумовлюють необхідність забезпечувати шляхом конструктивних і технологічних заходів допустиму теплову напруженість деталей циліндропоршневої групи та надійну роботу паливної апаратури [5].

Для суднових високооборотних двигунів доцільним є використання керамічних теплостійких покриттів деталей циліндропоршневої групи, пошук рішень, спрямованих на підвищення середнього ефективного тиску та зниження питомої маси двигунів, розширенням використання електронних систем керування паливоподачею, газорозподілом, повітропостачанням.

Для середньооборотних дизелів в якості головних двигунів у складі суднових енергетичних установок необхідно забезпечити ефективне використання важких сортів палива, збільшення циліндрових та агрегатних потужностей, підвищення паливної економічності. Зниження витрати палива можна забезпечити за рахунок підвищення

максимального тиску циклу, вдосконалення газотурбінного наддуву, скорочення втрат енергії відпрацьованих газів та збільшення ККД агрегатів наддуву, підвищення тиску впорскування палива, збільшення механічного ККД дизеля.

Подібні шляхи підвищення паливної економічності забезпечать прогрес при частковому оновленні суднових середньооборотних дизелів, технічний рівень яких характеризується питомою ефективною витратою палива, середнім ефективним тиском, циліндровою та агрегатною потужністю.

Висновки. Таким чином, галузь водного транспорту є важливим елементом економіки країни і в той же час її функціонування супроводжується істотним негативним впливом на природне середовище. Викладене висвітлює суть, важливість і складність вирішення поставлених перед людством технічної та соціально-психологічної складових екологічної проблеми, успіхи у вирішенні яких дозволять наблизитися до нормалізації екологічної ситуації на водному транспорті. У рішенні розглянутих задач проблеми важливе місце займають результати досліджень інноваційного характеру.

ЛІТЕРАТУРА

1. The European Green Deal [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640>. — Назва з екрана.
2. Воїнов О. П., Елькін Ю. Г. Щодо проблеми удосконалення теплоенергетичного устаткування в сучасних умовах: матеріали XVIII міжнародної науково-технічної конференції «Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування», Харків, 13–14 грудня 2022 р. — Харків: НТУ «ХПІ», 2022. — С. 27–28.
3. Воїнов О. П., Самохвалов В. С., Кобалава Г. О. Особливості часткового оновлення при експлуатації суднових котельних установок: матеріали XX міжнародної наукової конференції «Удосконалення процесів та обладнання харчових та хімічних виробництв», Одеса, 9–13 вересня 2024 р. — Одеса : ОНТУ, 2024. — С. 37–39.
4. Воїнов О. П., Личко Б. М., Самохвалов В. С., Шостак В. П. Про можливість скорочення рейсових витрат палива транспортними суднами шляхом часткового оновлення їх енергоустановок: збірник наукових праць НУК імені адмірала Макарова. Рубрика: Енергетичне машинобудування, 2024, №1 (494). — С. 35–41.
5. Воїнов О. П., Самохвалов В. С., Кобалава Г. О. Про підвищення технологічної ефективності суднових двигунів: матеріали VIII міжнародної науково-технічної конференції «Сучасний стан та проблеми двигунобудування», Миколаїв, 5-6 грудня 2024 р. — Миколаїв: Іліон, 2024. — С. 13–14.

ПОГОДНІ УМОВИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ВМІСТ АЛЮМОСИЛІКАТІВ В СУДНОВОМУ ПАЛИВІ

*Врублевський Р. Є., Діденко В. О.
Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. У сучасних умовах судноплавства наявність алюмосилікатів у судновому паливі становить значну проблему, що впливає на надійність та ефективність роботи суднових двигунів. Збільшення концентрації цих частинок, особливо в епоху використання низькосірчаного пального, створює значні експлуатаційні та економічні виклики для судновласників та операторів. Використання ефективних систем підготовки пального, зокрема сепараторів, сучасних фільтраційних технологій та інтеграції систем автоматичного моніторингу, є необхідним для забезпечення стабільної роботи двигунів і зменшення ризиків пошкоджень. Системи очищення та контролю за вмістом алюмосилікатів в судновому паливі не завжди справляються з цією задачею а особливо в умовах несприятливих погодних умов.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останнім часом у відповідь на проблему забрудненого пального та більш жорсткі вимоги до якості пального галузь пропонує різні рекомендації. Серед них — використання дрібнокомірних фільтрів із розміром комірки 10 мкм, які допомагають значно знизити вміст забруднень у паливі [10]. Суднове нафтове паливо представлено кількома марками, які можуть відрізнятися за своїми характеристиками. Деякі з цих характеристик можуть змінюватися під час підготовки пального на борту судна, що потребує надійно спроектованої системи очищення [7]. Підготовка пального зазвичай здійснюється через використання комбінації сепараторів, фільтрів і відстійників. Під час бункерування паливо закачується в резервуари, звідки воно перекачується у відстійники, що забезпечують 24–48 годин роботи судна. За цей час частки осідають на дно резервуарів. Однак під час роботи судна або при використанні тарілчастого сепаратора каталітичні частинки можуть не встигати осідати через недостатній час перебування в потоці [2, 10]. Тому для мінімізації ризиків рекомендується регулярно зливати осад із відстійних та видаткових танків [8]. Сепаратори, також відомі як очисники, забезпечують основну фазу очищення пального. Вони видаляють воду, великі частки та інші забруднення. Сучасні сепаратори здатні видаляти майже 100% каталітичних частинок розміром понад 15 мкм за умови правильної експлуатації. Проте дрібніші частинки, розміром менше 3 мкм, часто залишаються в паливі навіть при оптимальних налаштуваннях [1–6]. Щільність, в'язкість, температура пального та швидкість потоку є критично важливими факторами, що визначають ефективність сепараторів. Використання низькосірчаного пального, яке стало основним із 2020 року, внесло додаткові виклики, оскільки різні марки пального потребують адаптації параметрів сепараторів для збереження їх ефективності [10]. Додатковою складністю є те, що низькосірчане паливо часто має гірші змащувальні властивості, що підвищує ризик абразивного зносу двигунів [4–6]. Це вимагає від екіпажу глибшого розуміння процесів підготовки пального, щоб знизити ризики для двигунів та забезпечити їхню стабільну роботу [7–9].

Формулювання цілей статті. Дослідити в реальних умовах судна зміну концентрації алюмосилікатів при несприятливих погодних умовах та проаналізувати вплив алюмосилікатів на паливну апаратуру та апаратуру системи очищення палива.

Основні результати дослідження. У даному дослідженні ми використовували прилад MobilServ CCM Kit, спеціально розроблений для швидкої та ефективної оцінки вмісту частинок у залишкових паливних сумішах. Mobil Serv CCM Kit — це сучасна система аналізу мастильних та паливних матеріалів, що дозволить нам оперативнo отримувати дані про стан палива та мастила безпосередньо на борту судна.

Ця система допомагає виявляти проблеми, такі як недостатнє або надмірне змащення, знос компонентів і наявність каталітичних залишків, що сприяє оптимізації

подачі циліндрового мастила та зменшенню експлуатаційних витрат. Аналізи проводяться у кілька етапів. Зразок збирається у чисту пластикову пляшку з комплекту, щоб гарантувати точність результатів. Далі, зразки реєструються за допомогою технології «scan-and-go», яка прискорює процес та підвищує точність введення даних. Після реєстрації зразки піддаються аналізу з використанням рентгенофлуоресцентної технології (XRF), яка дозволяє виявити вміст металів і визначити концентрацію алюмосилікатів, що є особливо важливо для уникнення абразивного зносу двигуна. Результати аналізу стають доступними протягом кількох хвилин після обробки. Отримані дані включають детальний звіт з рекомендаціями щодо подальшої оптимізації подачі мастила та інших параметрів для підвищення ефективності роботи двигуна. Однією з головних переваг Mobil Serv CCM є можливість проведення аналізу на вміст алюмосилікатів, які є критично небезпечними для двигунів через абразивні властивості. Визначення та моніторинг рівня алюмосилікатів допомагають запобігати серйозним ушкодженням і підтримувати належну роботу судових систем.

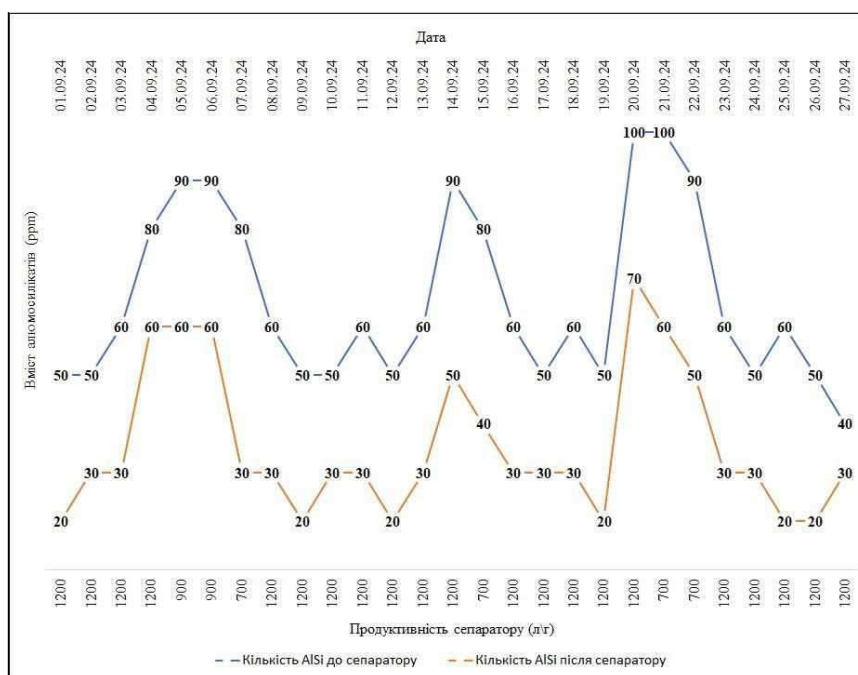


Рисунок 1 — Графік отриманий з результатів дослідження кількості алюмосилікатів до та після сепаратору та його продуктивність впродовж експерименту

Маючи таку систему на борту було вирішено провести експеримент та отримати розуміння щодо впливу погодних умов на ефективність очищення пального. Експеримент проводився протягом 27 днів на суховантажному судні «ST-CERGUE» з дедвейтом 60 696 тон, обладнаному двотактним малообертовим двигуном Wartsila 6RT-flex50-D. Пальне типу VLSFO було забункеровано в порту Слукіскіл, Нідерланди.

Згідно з оглядом результатів експерименту рис. 1, можна зробити висновок, що в умовах хитавиці та частих різких поворотів судна спостерігається підвищення рівня алюмосилікатів та важких домішок у паливі. Важливо відзначити, що хоча зменшення продуктивності роботи сепаратора позитивно впливає на кількість важких домішок і алюмосилікатів в очищеному паливі, їх рівень все ще залишається значно вищим за рекомендовані заводом-виробником норми, які складають 15 ppm. Також варто зазначити, що під час аномально високих показників наявності алюмосилікатів та інших твердих домішок фільтруючі елементи автоматичного паливного фільтра зазнавали значного забруднення.

Висновок. Підсумовуючи результати експерименту, можна зробити висновок, що аномально високі рівні алюмосилікатів та інших твердих домішок у паливі можуть бути спричинені потраплянням домішок із дна танків через коливання та перемішування під час хитавиці або різких маневрів у несприятливих погодних умовах. Системи обробки

пального, такі як сепаратори та штатні автоматичні фільтри, не завжди здатні забезпечити ефективну очистку через надмірну кількість забруднень, що призводить до перевитрат пального та підвищеного зносу ключових компонентів двигуна, зокрема втулок, компресійних кілець та прецизійних пар паливних насосів. Результати нашого дослідження можуть стати основою для вдосконалення систем очищення пального та впровадження систем візуального контролю за вмістом алюмосилікатів у паливі в режимі реального часу, що дозволить оперативно відстежувати рівень забруднень та мінімізувати їхній негативний вплив.

ЛІТЕРАТУРА

1. Alfa Laval, 2019. Centrifugal Separators: S Flex Modules. Available from: Alfa Laval.
2. Barczak, M., & Pawlowski, L., 2019. Reduction of Catalytic Fine Particles in Marine Fuels. *Energy Procedia*, 142, pp. 1137–1144.
3. Fink, R., & Schmidt, H., 2020. Innovative Filtration Methods for Marine Fuels. *Fuel Processing Technology*, 198, pp. 105–117.
4. Garcia, L., 2019. Contaminant Control for Enhanced Marine Engine Life. *Maritime Technology Journal*, 8(2), pp. 54–68.
5. International Union of Marine Insurance, 2024. Cat Fines Pack. JHC Report - Marine Engine Damage due to Catalytic Fines in Fuel. Available from: IUMI.
6. Jansen, S., et al., 2021. Effect of Heavy Fuel Oil Aluminosilicates on Engine Wear. *Journal of Petroleum Engineering*, 144(3), pp. 203–216.
7. Johnson, R., 2020. *Marine Engine Reliability: Issues and Solutions*. Elsevier, Amsterdam.
8. Kawamura, T., & Tanaka, H., 2021. Optimizing Engine Performance by Reducing Catalyst Particles in Fuel. *Journal of Marine Fuel Research*, 33(3), pp. 176–185.
9. Lewis, P. D., & Crowley, B., 2019. Wear of Engine Components Due to Aluminosilicate Contamination. *Marine Science and Engineering Review*, 21(4), pp. 392–412.
10. MacDonald, R., & Keegan, P., 2020. *Marine Engines: A Practical Guide*. Routledge, New York.

DEVELOPMENT OF A TRACKING HYDRAULIC STABILIZER USING A MATHEMATICAL MODEL

Gorbatyuk Ie. V.

*Kyiv National University of Construction and Architecture
(Ukraine)*

Introduction. The hydraulic drive has received wide application on lifting-transport, building, road and reclamation machines. This is facilitated by the advantages of drives of this type, the main of which is the smoothness and uniformity of movement of the working bodies, the ability to provide large transfer ratios, the ability to continuously adjust speeds in a wide range, the ease of standardization and unification of the main elements, the light weight and small dimensions of the equipment, the simplicity of the safety devices and their high reliability, ease of control and adjustment, self-loading of the equipment [1].

In the process of designing and operating complex hydraulic drives, issues of reliability and control of flow distribution systems are relevant in order to ensure a rational process of work. In modern technology, flow distribution is carried out using automatic control systems. When managing, the so-called «human factor» comes into force, that is, the operator, on whose experience and knowledge the reliability of managing hydraulic networks depends. During this period, it is possible to falsely increase or decrease the supply and, accordingly, the pressure of the liquid, which can significantly disrupt the process of the machine. Thus, it is possible to cause excessive pressures and increase the consumption of working fluid, which leads to an increase in energy costs and wear of equipment, as well as to incorrect operation of working bodies controlled by a hydraulic drive [2].

Relevance of the research. The development of a mathematical model of a tracking hydraulic stabilizer that provides a rational process for the operation of a rotary earthmoving machine with several working bodies is an active task to ensure a rational process of the machine.

Formulation of the problem. Modern hydraulic drives of construction machines are complex and branched systems, as a result of which the working bodies that must work simultaneously (in parallel) are powered by various sources (hydraulic pumps). This leads to a failure in their operation and therefore there is a need for stabilization by installing a tracking hydraulic stabilizer in the hydraulic system. One of these machines are rotary earthmoving machines with several working bodies [3]. To stabilize the operation of these machines, the best option is to install a hydraulic stabilizer with a tracking device [4].

Research of the results.

In tracking hydraulic drives, especially in automatic control and control systems, tracking devices are used, with the help of which the executive body (output) reproduces the movement of a given or sensitive element of the system (input).

By their structure, hydraulic tracking drives belong to automatic control systems, in which the necessary characteristics can be provided by an open or closed control circuit.

The functional diagram of the tracking hydraulic stabilizer is a diagram of the automatic control system. Like the automatic control system, the hydraulic tracking stabilizer consists of three main units: an information input unit, a hydraulic booster and an actuator.

In the hydraulic tracking stabilizer, the control signal is supplied to the actuator not directly, but through an amplifier having a power source.

If the system responds to changes, then the error is constantly directed to zero, after changing the parameters, the system is considered accurate.

The sensitivity of the corresponding action is characterized by the time during which the output link reacts to the movement of the sensing element and is characterized by the delay time of the throttles relative to the change of the sensing element.

The total delay time of the throttle operation can be determined in the first approximation by the formula:

$$t_3 = \frac{\Delta V + V_1}{Q_H + 0,5Q_B}, \quad (1)$$

where ΔV — reduction of liquid volume in the system with pressure increase by Δp ; V_1 — volume of liquid required to fill additional volumes in the system; Q_B — leakage in the system by operating pressure; Q_H — nominal fluid flow in the system.

Considering that

$$Q_B = K_B P \Delta V \text{ and } \Delta V = \delta S_1 L, \quad (2)$$

where K_B — liquid leakage factor; P — operating pressure in the system; δ — liquid volume reduction factor; S_1 — cross section of pipeline inner diameter; L — total length of hydraulic system pipelines.

Then, according to [4], we obtain a simplified equation:

$$t_3 = \frac{\delta S_1 L + V_1}{Q_H - 0,5K_B P}. \quad (3)$$

It is obvious from the dependence that in order to reduce the latency of actuation, it is necessary that:

- 1) working channels and pipelines were as short and rigid as possible;
- 2) volume losses were reduced to a minimum;
- 3) pump supply should be significant.

The sensitivity of the stabilizer is determined for each particular system, provided that the signal can be transmitted with a predetermined delay. But the sensitivity of the stabilizer should be such as not to violate the stability of the entire circuit [5].

Conclusions. The developed mathematical model of a tracking hydraulic stabilizer provides a rational process of operation of a rotary earth-moving machine with several working bodies by determining the control action. Thanks to feedback, the tracking system with a certain accuracy ensures the correspondence of input and output.

REFERENCES

1. Gorbatyuk Ie.V., Komotska S.Ju. Application of mathematical models in the development of hydraulic stabilizers for construction machines. Сучасний стан та перспективи розвитку науки, освіти і технологій: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (Кременчук, 4 січня 2025 р.): у 2 ч. Кременчук: ЦФЕНД, 2025. Ч. 2. С. 50–51.
2. Гідравліка, гідромашини та гідропневмоавтоматика: підручник / Пелевін Л.Є., Міщук Д.О., Рашківський В.П., Горбатюк Є.В., Аржаєв Г.О., Красніков В.Ф. Київ: КНУБА, МОНУ. 2015. 340с.
3. Горбатюк Є.В., Комоцька С.Ю. Особливості роботи електрогідравлічних слідкуючих приводів. Science of XXI century: development, main theories and achievements: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference, January 26, 2024. Helsinki, Republic of Finland: International Center of Scientific Research. 2024. P. 195–196. <https://doi.org/10.36074/scientia-26.01.2024>.
4. Gorbatyuk Ie., Terentyev O., Didkivskyj O. Development of hydrautomatic system of construction machine with hydraulic energy accumulator. Actual priorities of modern science, education and practice. Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference. Paris, France. 2022. P. 791–794.
5. Gorbatyuk Ie.V. (2024). Hydraulic system of earth-moving machine is equipped with hydraulic energy accumulator. Modern information and innovation technologies in transport (MINTT – 2024). Materials of the 16th international scientific and practical conference. Odessa: Kherson State Maritime Academy. P. 283–285.

КОНЦЕПЦІЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ В СПЕКТРІ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

Гриценко Н.В., Козодой Д.С.

*Український державний університет залізничного транспорту
(Україна)*

Вступ. Інтелектуальні транспортні системи зазвичай розглядаються як базова технологія для постійного зниження дорожньо-транспортних пригод та підвищення ефективності трафіку. Згідно з дослідженням, існуючі інтелектуальні транспортні системи не лише забезпечують значне скорочення викидів парникових газів, економію палива, час проїзду, а також не маргіналізують мобільність громадян.

Актуальність дослідження полягає у тому, що розвиток інтелектуальних транспортних систем сьогодні стає життєво важливим для економічного зростання і соціального розвитку суспільства. Пояснюється це тим, що вони спрямовані на підготовку управлінських рішень у транспортних системах, забезпечення моніторингу пересування транспортних засобів, оцінку стану доріг, що призводить до покращення їх роботи з оптимальними витратами як індивідуально, так і колективно.

Постановка задачі полягає у ефективності та визначенні напрямку розвитку інтелектуальних транспортних систем в спектрі ресурсозбереження. Справа в тому, що тенденції урбанізації диктують певні правила, які безпосередньо впливають на збільшення обсягів перевезень, як пасажирів так і вантажів, що в свою чергу негативно впливає на навколишнє середовище. Виходячи з цього необхідно вирішувати основне питання розвитку та впровадження інтелектуальних транспортних систем, які змінять існуючу, і так зношену інфраструктуру на нову ресурсозберігаючу, яка буде зменшувати вплив на природне середовище.

Результати дослідження. Інтелектуальні транспортні системи застосовують сучасні технології поліпшення транспортних мереж, тобто являють собою інтеграцію інформаційно-комунікаційних технологій між основними складовими транспортних процесів: людино-транспортна інфраструктура [1].

Програми для онлайн планування поїздок, автомобільні навігатори, цифрові карти-путівники, автоматичні дорожні дані — це приклади інтелектуальних транспортних систем.

Фактично будь-яка комбінація транспортних технологій може бути названа «інтелектуальною», а можливості використання практично необмежені.

Головними цілями інтелектуальних транспортних систем є інформативність та безпека, а також якісно новий рівень інформаційної взаємодії учасників дорожньої руху. Широко відомі три категорії безпечні, розумні та екологічно безпечні [2].

Безпечні інтелектуальні транспортні системи орієнтовані на безпеку та скорочує кількість нещасних випадків та травм, пов'язаних із трафіком. Більшість ранніх систем та проектів можна назвати безпечними.

Екологічно інтелектуальні транспортні системи безпечні іноді називають «екологічними» або «зеленими», застосовують технології зниження впливу перевезень на навколишню середу. Поряд з інтелектуальними транспортними системами розглядають екологічно безпечні, які сприяють скороченню викидів та споживанню палива та допомагають розробляти нові екологічно стійкі рішення, пов'язані з транспортом. Екологічно безпечні інтелектуальні транспортні системи мають великі шанси допомогти скороченню викидів та мінімізувати вплив транспорту на довкілля, особливо у час, коли індивідуальна мобільність постійно зростає.

Одним із чудових ярих прикладів розвитку екологічно безпечних інтелектуальних транспортних систем в Україні є проект «Тесла Україна». Проект допомагає популяризації електромобілів, а також щодо їх конкретних функцій та правильного використання. В даний час основною метою клубу є створення інфраструктури для зарядки електромобілів. Прикладом є мобільний додаток To-U, націлений на зручне використання безкоштовних

зарядних пристроїв KeBa P20 навколо України, відображення найкращого маршруту до найближчої станції перезаряджання, резервування зарядного пристрою протягом найбільш відповідного часу. Мобільний додаток дозволяє витратити менше часу та зусиль на зарядку електромобіля [4].

В Україні існує безліч аналогічних прикладів реалізації ІТС, але вони не мають системного характеру, оскільки вони впроваджуються на місцевому рівні та зрідка [1].

Напрямок інтелектуалізації транспортних систем і процесів є широка інформатизація цих типів користувачів і організація широкої інформаційної взаємодії між ними. Вирішення проблеми інформатизації досягається за рахунок сучасних можливостей ІТ-технологій, а для організації інформаційної взаємодії можна використовувати інформаційно-комунікаційні технології.

Сучасні інтелектуальні транспортні системи охоплюють широкий спектр діяльності, пов'язаної зі створенням, передачею, управлінням і обробкою даних, зазвичай із використанням комп'ютерних технологій. Останнім часом під інформаційними технологіями найчастіше розуміють комп'ютерні технології, в тому числі передачу інформації через Інтернет. Однак, також слід приділяти увагу невід'ємним компонентам системи оцінки ефективності транспортного процесу перевезення, так як економічний фактор є впливовим важелем, що безпосередньо регулює даний процес. Зазвичай для більш точної оцінки транспортного процесу перевезень використовують декілька показників ефективності, комбінуючи залежно від поставлених завдань ті або інші локальні чи комплексні показники.

Висновки. Ресурсозберігаючі інтелектуальні транспортні системи, які будуть засновані на перевірених, прийнятих для суспільства та певних потреб споживачів, обґрунтованих щодо стратегій та ініціатив у сфері економічної ефективності та стійкості, зможуть забезпечити у майбутньому сталий розвиток транспортних систем у містах, підприємств, регіонів, держав на мікро та макрорівнях. У цьому випадку необхідно провести подальші дослідження з розробки та обґрунтування інноваційних проєктів з використанням ресурсозберігаючих систем, забезпечення надійності апаратних засобів та зберігання інформаційних ресурсів, впровадження стандартизації та забезпечення дотримання прав громадян щодо обмеження доступу до особистої інформації та втручанням у особисті справи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Інтелектуальні транспортні системи. URL: https://city2030.org.ua/sites/default/files/documents/GIZ_SUTP_SB4e_Intelligent-Transport-Systems_UA.pdf (Дата звернення 14.04.2025р.).
2. Аналіз проєктів розвитку інтелектуальної транспортної системи при організації вантажних перевезень. С. О. Ключев та ін. Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених., 1–2 грудня 2020 р., м. Рубіжне (Луганська обл.) / Міністерство освіти та науки України; СХУ ім. В. Даля. Сєвєродонецьк, 2020. С. 67–70.
3. Vovk, Yu. (2016) Resource-efficient intelligent transportation systems as a basis for sustainable development. Overview of initiatives and strategies. Yuriy Vovk: Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics. No. 1(1), P. 6–10.
4. Tesla Club Ukraine. URL: <http://www.tesla-club.com.ua> (Дата звернення 14.04.2025р.).

ІННОВАЦІЙНІ ПРОПУЛЬСИВНІ УСТАНОВКИ: ШЛЯХ ДО ЕКОНОМІЇ ПАЛИВА ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДЕН

Дощенко Г.Г., Голощанов С.С.
Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. Сучасна морська індустрія базується на регулярному морському транспортному сполученні, яке забезпечується відповідними суднами різними можливостями вантажопідйомності та дальності слідування. Тим не менш, більшість морського транспорту, що використовується в даний час оснащені судовими комбінованими пропульсивними установками (КПУ), які забезпечують їх безперерйне слідування як морськими, так і океанічними маршрутами.

Забезпечення повноцінної працездатності судового пропульсивного комплексу та контроль безпеки судноплавства є найбільш актуальною проблемою, яка виникає під час експлуатації суден морського транспорту [1, 2].

Актуальність досліджень. Комбіновані пропульсивні комплекси (КПК) поєднують в собі переваги класичної дизельної енергетичної установки з особливостями гребної електричної установки (ГЕУ). Гребні електричні установки знаходять все більше застосування, враховуючи відомі переваги перед прямою механічною передачею енергії від теплового двигуна до гвинта. Електрична технологія передачі енергії від теплового двигуна до рушія зазвичай відбувається за схемою: тепловий двигун – електричний генератор — електричний перетворювач — гребний електродвигун — (редуктор) — гвинт.

Постановка задачі. Задачею даної роботи було показати дослідження розвитку судових комбінованих пропульсивних установок в напрямку покращення електроенергетичних показників, які знаходять все ширше застосування на сучасних судах.

Результати досліджень. Пропульсивною установкою (ПУ) називають комплекс механізмів та пристроїв, призначений для забезпечення руху судна. Суднова ПУ складається з рушія, валопроводу, головних судових передач, головних теплових чи гребних електричних двигунів. На судах застосовуються ПУ різних типів. Найбільшого поширення нині знаходять пропульсивні установки з головними тепловими двигунами. Широкого поширення набули судові системи електроруху (ССЕ). Цим пропульсивним установкам притаманні переваги та недоліки, які визначають їх сферу застосування. Прагнення поєднувати переваги пропульсивних установок різних типів стимулювало створення комбінованих (гібридних) пропульсивних установок.

Гібридна топологія складається з поєднання механічного та електричного приводу в кінематичному приводі. Отже, ефективність приведення в дію оптимізована, і в той же час швидко та гнучко реагувати на змінну потребу в електроенергії.

Для більшості подібних судових електричних установок (СЕУ) КПК зазначена особливість функціонування єдиної судової електроенергетичної системи (СЕЕС) обумовлена вимогами безпеки, оскільки при експлуатації судна обов'язково необхідний динамічний резерв електроенергії, чого вимагають Морські реєстри.

На цей час розроблено досить багато різних конструкцій пропульсивних установок. Однак завдяки своїй надійності найбільш поширеною є пропульсивна установка COGES, що розшифровується як «Combined Gas and Steam», яка, як відомо з повної її назви, являє собою комбінацію газової та парової турбіни. Газова турбіна, яка знаходиться у складі даної пропульсивної установки забезпечує отримання початкової потужності, яка, тим не менше, потім доповнюється потужністю, одержуваної парової турбіною, що забирає енергію вихлопних газів [1].

Завдяки цьому підвищується потужність усієї рухової установки, яка встановлюється на судні. Відповідно, також підвищується паливна ефективність судна

Завдяки застосуванню пропульсивних установок типу COGES знижуються суднові експлуатаційні витрати, а також знижуються викиди у повітря парникових газів.

Інший тип використовуваних комбінованих пропульсивних установок називається CODLAG, назва якої англійською розшифровується як «Combined Diesel Electric and Gas», які є комбінацією дизель-електричних двигунів та газових турбін. Двигуни живляться від дизельних генераторів. Для більших швидкостей, до валів додатково через трансмісію підключається газова турбіна.

Дизельні двигуни-генератори одночасно використовуються для живлення рушія та виробництва електроенергії для суднової мережі, що значно зменшує вартість загального обслуговування такої системи. Крім того, електродвигуни ефективно працюють в широкому діапазоні обертів і можуть бути підключені безпосередньо до карданного валу, завдяки чому спрощуються редуктори для підключення потужності газових турбін.

Ще однією перевагою дизель-електричної трансмісії є те, що дизель-генератори акустично від'єднані від вала та корпусу корабля, роблячи останній менш шумним. Це широко використовується на військових підводних човнах.

Дане поєднання дозволяє забезпечити їх найбільш ефективне комбіноване використання під час руху судна на різних швидкостях у процесі його експлуатації. Застосування на транспортних судах комбінованих пропульсивних установок типу CODLAG розширює можливості конструкторів під час проектування суден.

Також сучасні комбіновані пропульсивні системи передбачають впровадження в суднові рухові установки електричних систем управління, що дозволяє ефективно координувати роботу окремих складових рухових установок на різних режимах експлуатації.

У сучасному суднобудуванні постійно здійснюється пошук найбільш ефективних та оптимальних рішень у галузі вдосконалення існуючих типів комбінованих пропульсивних установок з метою забезпечення максимально вигідної експлуатації морського транспорту. Встановлення на судах тих чи інших комбінованих пропульсивних установок здійснюється на базі вимог, які стоять перед тими, хто експлуатує дані судна [3].

Поточним напрямом досліджень є гібридизація джерел генерування та пристроїв накопичення енергії (ПНЕ) з метою забезпечення конкурентоспроможної експлуатації транспортних засобів, з системами акумуляції енергії в батареї (Battery storage). Аналіз джерел показує, що нині значний прогрес у розвитку пропульсивних установок (ПУ) пов'язаний з використанням літій-іонних АБ. Але, незважаючи на всю привабливість з екологічної точки зору, такі системи мають обмежений характер через значні масово-габаритних та цінових показників та можуть застосовуватися тільки для конкретних маршрутів.

Наприклад, включення в комбіновану установку дизель електричних двигунів забезпечує оптимізацію витрати палива та, відповідно, зниження викиду парникових газів в атмосферу при експлуатації в умовах пасажирських лайнерів, окремих типів торгових суден та в деяких інших випадках [4].

У розвитку конструкторської думки в суднобудуванні одним із найважливіших напрямів стає вдосконалення та розвиток судових комбінованих пропульсивних установок, експлуатація яких на різних типах суден забезпечує підвищення економічної ефективності використання суден, а також збільшує їх екологічність, що також є важливим фактором в умовах сучасних тенденцій до посилення міжнародних екологічних стандартів.

Висновки. У представленій роботі проведено аналіз основних тенденцій розвитку сучасних судових комбінованих пропульсивних комплексів. Досліджується розвиток судових комбінованих пропульсивних комплексів для покращення електроенергетичних показників.

Судновласники віддають перевагу комбінованим пропульсивним комплексам з валогенераторами, а також гібридним комплексам з системами акумуляції енергії в батареї (Battery storage). Застосування комбінованих систем дозволяє заощадити до 10% споживаної енергії на судні, оскільки вся енергія на судах виробляється від спалювання

вуглеводневого палива і тим самим забезпечити дотримання вимог конвенції щодо скорочення викидів з морських суден.

Ці переваги роблять комбіновані пропульсивні комплекси привабливими для застосування в морській галузі та допомагають покращити ефективність та надійність роботи суден, але потребують подальшого дослідження в сфері якості електроенергії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Zhilenkov A. Investigation performance of marine equipment with specialized information technology [Text] / A. Zhilenkov, S. Chernyi // Energy Procedia. – 2015. – Vol. 100. – P. 1247–1252.

2. Elizabeth Lindstada, Torstein Ingebrigtsen (2020), «Potential power setups, fuels and hull designs capable of satisfying future EEDI requirements», available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920918302578>.

3. Budashko, V. Obniavko, T. Onishchenko, O. Dovidenko, Y. and Ungarov D. (2020), «Main problems of creating energy-efficient positioning systems for multipurpose sea vessels», 2020 IEEE 6th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), Kyiv, Ukraine. pp. 106-109. Doi: 10.1109/MSNMC50359.2020.9255514.

4. LEROY SOMER (2022), «Marine Solutions/Proven solutions for Marine applications Propulsion & Power Grid», available at: https://www.leroy-somer.com/documentation_pdf/6097_en.pdf.

ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРОДІАГНОСТИКИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ПРИ ВХІДНОМУ КОНТРОЛІ В УМОВАХ РЕМОНТНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Зінченко Д.О.¹, Савчук В.П.², Курносенко Д.В.²

¹ Класифікаційне товариство «Регістр судноплавства України»
(Україна)

² Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. Сучасний розвиток морського транспорту вимагає постійного удосконалення методів діагностики та контролю технічного стану енергетичного обладнання суден, адже від цього залежить не лише безпека судноплавства, але й ефективність експлуатації та довговічність технічних систем. Одним із перспективних напрямків виявлення прихованих дефектів у роботі енергетичного обладнання є вібродіагностика, яка дозволяє здійснювати раннє виявлення несправностей і прогнозувати можливі поломки на основі аналізу коливань [1, 2].

Головною перевагою даного методу є можливість проведення діагностування без застосування змін в конструкції обладнання, що діагностується, та виконання зокрема функціонального діагностування, що є важливим для елементів головної енергетичної установки, якими є головні редуктори пропульсивних установок.

Актуальність досліджень: Сьогодні вібродіагностика стає важливим інструментом у процесі вхідного контролю обладнання, що надходить на ремонтні підприємства, а також для здійснення моніторингу технічного стану енергетичних систем морського транспорту. Актуальність цього дослідження зумовлена необхідністю підвищення точності діагностики технічних несправностей, зниження витрат на ремонтні роботи та покращення надійності судноплавства. Виявлення можливих дефектів на ранніх етапах дозволяє суттєво зменшити ризик аварій та поломок, що сприяє економії ресурсів і забезпечує стабільність роботи морських суден [1–4].

Результати досліджень. Сучасним методом діагностування дефектів механічних передач, що є джерелами рівня шуму та вібрації, є частотний аналіз спектрів вібрації. Основними джерелами вібрації редукторів та мультиплікаторів є обертання зубчастих коліс, підшипників та їх сепараторів. Кожна деталь редуктору сприймає навантаження та генерує вібрації, на які безпосередньо впливає їх частота обертання. Підвищення рівня вібрації, або аномальний її рівень може вказувати на розвиток дефекту.

В умовах експлуатації, механічна частина редукторів та мультиплікаторів має наступні характерні пошкодження та зноси:

а) підшипники кочення:

- ✓ піттинг робочих поверхонь тіл кочення та доріжок зовнішнього та внутрішнього кілець;
- ✓ фретинг-корозія зовнішнього та внутрішнього кілець підшипника в місці монтажу в корпус та вал;
- ✓ атмосферна корозія елементів підшипника;
- ✓ адгезійний знос робочих поверхонь доріжок зовнішнього та внутрішнього кілець та тіл кочення (рис. 1а);
- ✓ абразивний знос робочих поверхонь доріжок та тіл кочення;
- ✓ знос та руйнування сепаратору

б) зубчасті передачі:

- ✓ втомні пошкодження робочих поверхонь зубчастих коліс;
- ✓ поломка зубів внаслідок дії втомних пошкоджень, перевантажень (рис. 1б);
- ✓ механічний знос внаслідок тривалої експлуатації при забруднених водою та продуктами зносу оливах;

✓ взаємозалежні пошкодження зубів внаслідок порушення геометрії при зносі підшипників чи потрапляння в між зубами сторонніх часток пошкоджених елементів редуктору.



Рисунок 1 — Характерні пошкодження та зноси: а — адгезійний знос тіл кочення підшипника внаслідок порушення умов змащення; б — поломка зубів зубчастого колеса внаслідок роботи редуктору з перевантаженням

Частота обертання валів зубчастих передач є одним із ключових факторів проведення діагностування. Наведені несправності можуть проявляти себе в певних смугах частот, які ідентифікують за допомогою аналізу спектру вібрації. Основні гармонічні компоненти відповідають частотам збудження деталей редукторів та відповідає наступній залежності:

$$f_i = \frac{n_i}{60}, \quad (1)$$

де n_i — частота обертання i -го валу (Inner Race Speed), хв^{-1} .

Частота зубчастого зачеплення означає частоту, з якою зуби двох шестерень контактують один з одним під час обертання. Спектр порядку вібрації містить складову, яку позначають GMF (Gear mesh frequency), яка розраховується як добуток кількості зубів на частоту обертання шестерні.

$$f_{zi} = z_i \cdot f_i \quad (2)$$

де z_i — кількість зубів зубчастого колеса/шестерні.

Вібраційний сигнал, що пов'язаний з дефектом підшипників кочення, демонструє збільшення коливання амплітуди в часовій області та помітну амплітуду в частотній області вздовж ліній спектру характеристики несправності. Різні частоти фіксуються для дефектів зовнішнього кільця, внутрішнього кільця, тіл кочення і сепаратору.

Щоб обчислити частоту внутрішнього кільця, сепаратора підшипника, зовнішнього кільця та тіл кочення, застосовують залежності (3)–(6). Щоб розрахувати ці частоти, необхідно знати частоту обертання та внутрішні розміри підшипника.

Частота внутрішнього кільця або Inner Race Frequency (IRF):

$$f_{L_i} = \frac{z}{2} f_i \left(1 + \frac{d_0}{d_s} \cos \alpha \right). \quad (3)$$

Частота зовнішнього кільця або Outer Race Frequency (ORF):

$$f_{L_o} = \frac{z}{2} f_i \left(1 - \frac{d_0}{d_s} \cos \alpha \right). \quad (4)$$

Частота сепаратора підшипників або Cage Rotational Frequency (CRF):

$$f_{L_k} = \frac{1}{2} f_i \left(1 - \frac{d_0}{d_s} \cos \alpha \right). \quad (5)$$

Частота тіл кочення або Rolling Element Frequency (REF):

$$f_{L_v} = f_i \frac{d_s}{2d_o} \left[1 - \left(\frac{d_o}{d_s} \cos \alpha \right)^2 \right], \quad (6)$$

де z — кількість тіл кочення;

d_s — середній діаметр підшипника: $d_s = (D + d) / 2$,

D і d — зовнішній та внутрішній діаметри підшипника відповідно; α — контактний кут.

Складність аналізу складових вібрації підшипників кочення визначається тим, що їх рівень залежить як від величини дефектів, так і від навантаження на дефектну ділянку робочої поверхні. Навантаження на елементи підшипників можуть змінюватись в залежності від їх частоти обертання, так і від зміни обертового моменту на вихідному валу. У результаті складові вібрації підшипників можуть бути модульовані як за амплітудою, так і за фазою (частотою).

Одним із передових розробників спеціалізованого обладнання для діагностування промислового обладнання за показниками вібрації є фірма PRUFTECHNIK (Німеччина). Для проведення реєстрації та первинної обробки вібраційних сигналів нами використовувалась портативна система для вібромоніторингу Vibxpert (рис. 2) виробництва PRUFTECHNIK [4].



Рисунок 2 — Портативна система для вібромоніторингу Vibxpert виробництва PRUFTECHNIK

Нами проведено вхідний контроль вібраційних характеристик 4-х ступеневого циліндричного редуктору МЗPSF90Е, що використовується в портовій інфраструктурі, а саме в системах підйому контейнерів козових кранів (рис. 3).

Характеристики редуктору наведено в табл. 1.

Проведений аналіз вібраційних показників під час вхідного контролю технічного стану редуктора виконувався без застосування прикладання крутного моменту до вхідного валу при частоті обертання вхідного валу 428 хв^{-1} (7,13 Гц). Показники реєструвались в двох площинах: вертикальній та горизонтальній.

Таблиця 1 — Загальна характеристика редуктору МЗPSF90Е

Параметр	Значення
Вихідна потужність, кВт	200
Номінальна частота обертання вихідного валу, хв^{-1}	22,29
Номінальна частота обертання вхідного валу, хв^{-1}	1488
Передаточне число редуктора	66,756



Рисунок 3 — 4-х ступеневий циліндричний редуктор M3PSF90E

Обмежимося аналізом частотних характеристик вібрації елементів першого ступеня, що складається із вал-шестерні, що має 22 зуби та опирається на два роликових підшипника: 22316E та 22219E (сторона приводу) виробництва фірми FAG (Німеччина).

Отримані результати аналізу власних частот підшипників наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Частотні характеристики підшипників вхідного валу

Параметр	Значення	
	22316E	22219E
Частота внутрішнього кільця IRF, Гц	59,675	74,041
Частота зовнішнього кільця ORF, Гц	40,192	54,359
Частота сепаратора підшипників CRF, Гц	2,871	3,020
Частота тіл кочення REF, Гц	34,307	44,894

Фрагменти спектру акустичного сигналу наведено на рис. 4а (горизонтальна площина) та рис. 4б (вертикальна площина).

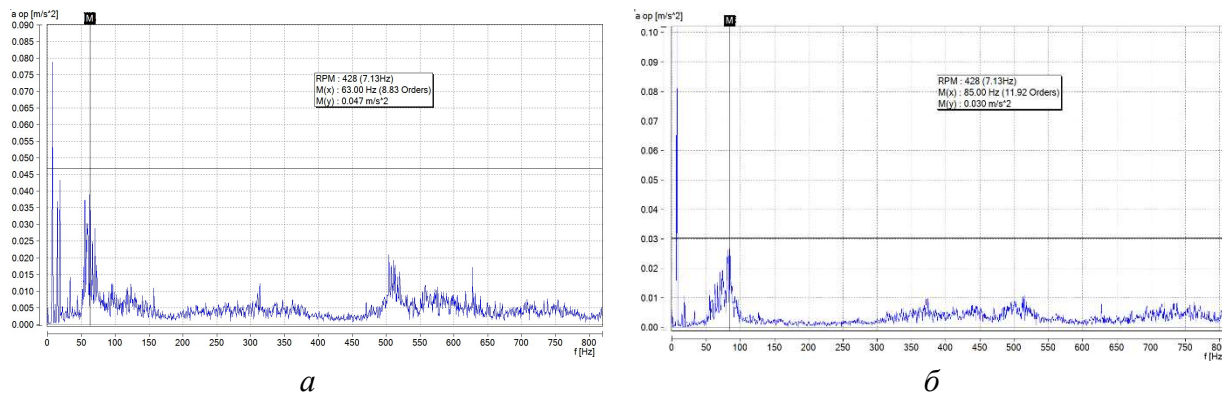


Рисунок 4 — Фрагмент спектру віброприскорення зі сторони вхідного валу:
а — вертикальна площина; б — горизонтальна площина

Опираючись на розраховані власні частоти підшипника 22219E та вал-шестерні GMF (157 Гц), що має 22 зуби, можна виконати попередній аналіз технічного стану першої ступені редуктору шляхом аналізу спектру частот віброприскорення. Наведені залежності демонструють появу піків віброприскорення в діапазоні власних частот підшипника в діапазоні 53...73 Гц, максимальне значення яких становить $47 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2$. В вертикальному напрямку пікове значення віброприскорення має дещо зменшену інтенсивність, що становить $37 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2$. Аналіз спектру на частоті роботи зубчастого зачеплення вказує на відсутність будь-яких аномалій, оскільки значення віброприскорення $11 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2$ є значно меншим від створюваних підшипником. Реєстрація піків віброприскорення на частоті

обертання вхідного валу (7,13 Гц) вказує на присутність дисбалансу привідного шківів та не є підставою для подальшого аналізу.

За основу для оцінювання граничних значень показників вібрації зубчастих передач використовують міжнародний стандарт ISO 20816-9:2020 [6], що застосовується до редукторів номінальної потужності від 10 кВт до 100 МВт та номінальної частоти обертання від 30 хв⁻¹ до 12 000 хв⁻¹ (від 0,5 Гц до 200 Гц). Необхідно зауважити, що наведені в стандарті допустимі межі віброприскорення стосуються обладнання, яке сприймає робочі навантаження та відповідно нормовані граничні показники значно перевищують значення отриманих нами показників.

Висновки. Поряд із суттєвими перевагами діагностування елементів силових передач, основним недоліком проведених вимірювань є відсутність передачі обертового моменту, що створює умови для неможливості якісного проведення діагностування та постановки діагнозу. Для проведення вхідного контролю технічного стану в умовах ремонтних підприємств, необхідно вдосконалити методику пошуку несправностей за вдосконаленими критеріями вібраційних показників.

ЛІТЕРАТУРА

1. Samnang, Sann, Elias Tomeh & Tomas Petr (2024). Methods of Detection and Localization of the Sources of Noise and Vibration on Car Gearboxes: A Review. *Journal of Vibroengineering*, 26(4), 2024. 808-842. <https://doi.org/10.21595/jve.2024.23888>.
2. Liu, M.K. & Weng, P.Y. (2019). Fault Diagnosis of Ball Bearing Elements: A Generic Procedure based on Time-Frequency Analysis. *Measurement Science Review*, 19(4), 2019. 185-194. <https://doi.org/10.2478/msr-2019-0024>.
3. T. Wang, M. Liang, J. Li, & W. Cheng (2014). Rolling element bearing fault diagnosis via fault characteristic order (FCO) analysis. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 45(1), 2014. 139-153. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2013.11.011>.
4. McInerney, S.A., & Dai, Y. (2003). Basic vibration signal processing for bearing fault detection. *IEEE Transactions on Education*, 46(1), 2003. 149-156. <https://doi.org/10.1109/te.2002.808234>.
5. <https://www.pruftechnik.com/products-and-services/condition-monitoring-systems/vibration-analysis-and-balancing/>
6. [ISO 20816-9:2020 Mechanical vibration](#) – Measurement and evaluation of machine vibration. Part 9: Gear units

МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ Тi6Al4V ПРИ АДИТИВНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Кирилах С. В.

*Національний університет «Запорізька політехніка»
(Україна)*

Вступ. Титановий сплав Ti6Al4V (Ti64) належить до групи $\alpha+\beta$ -сплавів, що характеризуються оптимальним поєднанням високої питомої міцності, низької щільності, корозійної стійкості та втомної витривалості, що визначає його значний потенціал для застосування у конструкціях авіаційної та морської техніки. Завдяки цим експлуатаційним властивостям Ti6Al4V широко використовується у виробництві деталей літальних апаратів, газотурбінних двигунів, морських систем та енергетичних установок, де матеріал повинен забезпечувати надійність під дією складних механічних та корозійних навантажень [1, 2].

Серед сучасних матеріалознавчих рішень для підвищення ефективності виробництва деталей з титанових сплавів Ti6Al4V в транспортній галузі все більшої уваги набувають адитивні технології (АТ), які сприяють реалізації ресурсозберігаючого підходу та підвищенню енергетичної ефективності виробництва. В оглядовій статті Liu та Shin [3] узагальнено результати досліджень щодо властивостей Ti6Al4V, виготовленого за допомогою методів Directed Energy Deposition (DED), Selective Laser Melting (SLM) та Electron Beam Melting (EBM). Особливу увагу приділено механічним властивостям матеріалу, зокрема втомній витривалості та міцності, як ключовим параметрам для оцінки якості продукції, отриманої цими технологіями.

Основна частина. Адитивні технології характеризуються складними фізичними процесами, що протікають у нестационарних умовах і залежать від параметрів процесу, таких як потужність випромінювання, швидкість сканування, стратегія сканування, висота шару, відстань між траєкторіями тощо. Особливості взаємодії енергетичного потоку з порошковим матеріалом значною мірою зумовлені абсорбційною здатністю, фізико-хімічними властивостями, розмірами та формою частинок. Для базового порівняння умов різних процесів адитивного виробництва використовується показник щільності поглинутої енергії E (J/m^3), який розраховується за виразом:

$$E = \frac{\alpha P}{\vartheta \cdot h \cdot t} \quad (1)$$

P — потужність джерела енергії (W),

ϑ — швидкість сканування (m/s),

h — відстань між траєкторіями сканування (m),

t — товщина шару (m),

α — абсорбційна здатність матеріалу.

Для детального аналізу теплових процесів під час адитивного виготовлення групою авторів розроблено модель лазерного прямого осадження для оцінки температурних полів у зоні формування трьохсмугового шару Ti6Al4V (рис. 1). Модель враховує взаємодію лазера з порошком, підведення маси, теплоперенос і гідродинаміку розплавленої ванни. Вхідними параметрами були реальні режими осадження та температурно-залежні фізико-механічні властивості сплаву. На рисунку 1 представлено межі розплавленої зони, зони термічного впливу та вільної поверхні, накладені на експериментальну мікроструктуру, що демонструє високу відповідність моделі результатам спостережень. Також наведено розподіли температурного поля у просторі та часі для одинадцяти характерних точок уздовж контрольної лінії.

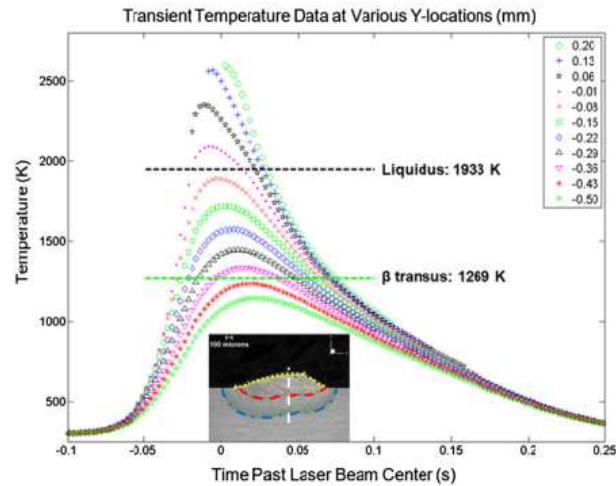


Рисунок 1 — Часові та просторові розподіли температурного поля в розплавленій ванні, отримані для одинадцяти характерних точок уздовж пунктирної лінії на мікрофотографії зони триразового лазерного прямого осадження сплаву Ti6Al4V, на яку накладено межі вільної поверхні (жовта лінія), розплавленої ванни (червона лінія) та зони термічного впливу (зелена лінія) [3]

Одним із ключових критеріїв ефективності адитивних технологій є забезпечення механічних властивостей, що відповідають або перевищують рівень матеріалів, виготовлених традиційними методами. Для титанових сплавів, зокрема Ti6Al4V, оцінювання експлуатаційної надійності здійснюється переважно за показниками міцності на розтяг та втомної міцності.

Механічні властивості адитивно виготовлених зразків залежать від фазового складу, розміру та морфології зерен, текстури β -фази та наявності дефектів. Зокрема, для зразків, отриманих методами DED та SLM, характерним є формування голчастої мартенситної α' -фази, що забезпечує високу межу міцності (UTS, Y S), однак обмежує пластичність до 4–11%. Водночас вироби, виготовлені методом EBM, мають рівноважну $\alpha + \beta$ ламелярну мікроструктуру, яка характеризується вищою пластичністю (10–17%) при дещо нижчій міцності.

Теплова обробка суттєво модифікує мікроструктуру:— термообробка при температурах нижче 800°C обмежено підвищує пластичність (~1–2%) без помітного зниження міцності;— високотемпературний відпал (>800°C) сприяє укрупненню α -ламел, що знижує міцність, проте значно підвищує відносне подовження;— гаряче ізостатичне пресування (HIP) зменшує пористість, що сприяє підвищенню пластичності без втрати міцності. Збільшення товщини α -ламел призводить до зниження межі текучості внаслідок зростання довжини вільного пробігу дислокацій, при цьому межа міцності на розрив (UTS) залишається майже незмінною [4].

Встановлено, що Ti6Al4V, виготовлений методами DED і SLM, характеризується підвищеною межею міцності на розтяг (UTS) та межею текучості (YS) завдяки формуванню дрібнодисперсної мартенситної α' -фази. Разом із тим відзначено зниження пластичності порівняно зі зразками EBM та обробленими традиційними методами. Термічна обробка знижує напруження та сприяє розпаду α' -мартенситу, що забезпечує збільшення пластичності при зниженні міцності [5].

Втомні властивості визначені межами витривалості ($\Delta\sigma_w$) та порогом розповсюдження тріщин (ΔK_{th}). Зразки DED та SLM демонструють вищу ($\Delta\sigma_w$) і нижчу ΔK_{th} порівняно з EBM, що пов'язано з α' -структурою та високою густиною дислокацій. ГІП-обробка (Hot Isostatic Pressing, HIP) значно покращує втомну тріщиностійкість і міцність завдяки зменшенню пористості. Зменшення товщини α -ламел з 10 до 1 мкм підвищує межу витривалості до 20% [3, 5, 6].

Висновки. Втомна міцність адитивно виготовленого Ti6Al4V зумовлена фазовим складом, мікроструктурною дисперсністю, анізотропією та наявністю дефектів. Формування α' -мартенситу підвищує межу міцності на розрив, однак знижує опір розвитку втомних тріщин через високу дислокаційну щільність та зменшену пластичність.

Розмір α -фаз та α -ламел суттєво впливає на втомні властивості: зменшення товщини α -ламел підвищує опір зародженню втомних тріщин внаслідок ускладнення локалізації пластичних деформацій. Термомеханічна обробка, зокрема ГПП-обробка, забезпечує зменшення пористості, модифікацію мікроструктури та залишкових напружень, що сприяє підвищенню як міцності, так і довговічності виробів з Ti6Al4V, виготовлених адитивними технологіями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Donachie M.J. Titanium: A Technical Guide. 2nd ed. Materials Park, OH: ASM International, 2000. 343 p.
2. Cui C., Hu B., Zhao L., Liu S. Titanium alloy production technology, market prospects and industry development. *Materials & Design*. 2011. Vol. 32, No. 3. P. 1684–1691.
3. Liu S., Shin Y.C. Additive manufacturing of Ti6Al4V alloy: A review. *Materials & Design*. 2019. Vol. 164. Article ID: 107552. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.107552>.
4. Zhai Y., Galarraga H., Lados D.A. Microstructure, static properties, and fatigue crack growth mechanisms in Ti-6Al-4V fabricated by additive manufacturing: LENS and EBM. *Engineering Failure Analysis*. 2016. Vol. 69. P. 3–14.
5. Beretta S., Romano S. A comparison of fatigue strength sensitivity to defects for materials manufactured by AM or traditional processes. *International Journal of Fatigue*. 2017. Vol. 94. P. 178–191.
6. Li X., Xie J., Zhou Y. Effects of oxygen contamination in the argon shielding gas in laser welding of commercially pure titanium thin sheet. *Journal of Materials Science*. 2005. Vol. 40, No. 13. P. 3437–3443.

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ СУЧАСНИХ ТЕРМОПРЕСОРНИХ АПАРАТІВ

Кобалава Г.О.

*Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)*

Вступ. У сучасному технологічному світі струминні пристрої займають важливе місце серед інженерних рішень і відіграють ключову роль у різноманітних технічних системах. Ці пристрої знайшли широке застосування як окремі одиниці обладнання, так і як інтегровані компоненти складних енергетичних установок, де вони сприяють оптимізації робочих процесів та підвищенню загальної енергоефективності систем [1].

Актуальність досліджень. Особливої уваги заслуговує термопресор як інноваційний двофазний струминний пристрій, що реалізує принцип контактного охолодження. Унікальність його роботи полягає в тому, що під час відведення теплової енергії з повітряного потоку одночасно досягаються два важливі ефекти: підвищення тиску повітря та зниження температури. Цей процес, відомий як термогазодинамічне стиснення, є складним термофізичним явищем із великим потенціалом для практичного використання.

Проте ефективність роботи термопресора значною мірою залежить від комплексу чинників, що спричиняють втрати повного тиску в системі. Основними серед них є поверхневе та внутрішнє тертя газового потоку, аеродинамічний опір системи впорскування рідини, опір від розсіювання крапель рідини, а також особливості процесів тепло- і масообміну, які відбуваються за наявності температурних градієнтів і парціальних тисків [2, 3]. Сукупна дія цих факторів може призводити до суттєвих енергетичних втрат, які, залежно від конструкції протічної частини пристрою, можуть досягати 10–40% загальної енергії потоку.

Для визначення оптимальних конструктивних параметрів термопресора (рис. 1) було проведено гідродинамічний аналіз кількох типових моделей з використанням програмного комплексу CFD-моделювання ANSYS Fluent.

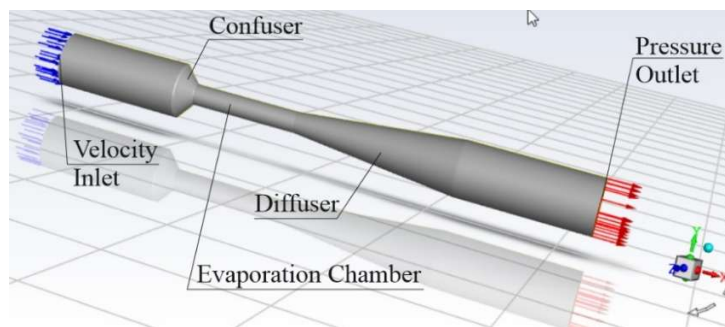


Рисунок 1 — Тривимірний модель термопресора

Результати досліджень. На основі результатів комп'ютерного CFD-моделювання для серії моделей термопресора були отримані коефіцієнти місцевого опору для конфузора (з кутами розходження $\alpha = 30^\circ; 35^\circ; 40^\circ; 45^\circ; 50^\circ$). Слід зазначити, що профілі швидкості змінюються майже пропорційно, а зміна швидкості повітря w_{air} вздовж довжини протічної частини є досить рівномірною. Водночас для конфузора коефіцієнт місцевого опору коливається в межах від 0,02 до 0,04, при цьому нижчі значення відповідають куту розходження $\alpha = 30^\circ$. Вплив опору дифузора є більш суттєвим – у діапазоні від 0,08 до 0,32, при цьому нижнє значення відповідає дифузору з кутом розширення $\beta = 5^\circ$ (рис. 2).

Відсутність впливу числа Рейнольдса (Re) та числа Маха (M) на коефіцієнти місцевого опору свідчить про режим самоподібної течії, тобто значення коефіцієнта місцевого опору залежить виключно від геометричних параметрів (кутів розширення α та

β) відповідного каналу.

Аналіз розрахункових даних показує, що втрати повного тиску в «сухому» термопресорі (без упорскування рідини для випаровування) при фіксованому куті розширення дифузора $\beta = 5^\circ$ та змінних кутах звуження конфузора $\alpha = 30\text{--}50^\circ$ становлять $\Delta P_{\text{loss}} = 0,05\text{--}0,40 \cdot 10^5$ Па (3–4%). При фіксованому куті конфузора $\alpha = 30^\circ$ і змінних кутах розширення дифузора $\beta = 5\text{--}12^\circ$ втрати складають $\Delta P_{\text{loss}} = 0,05\text{--}1,00 \cdot 10^5$ Па (3–31%).

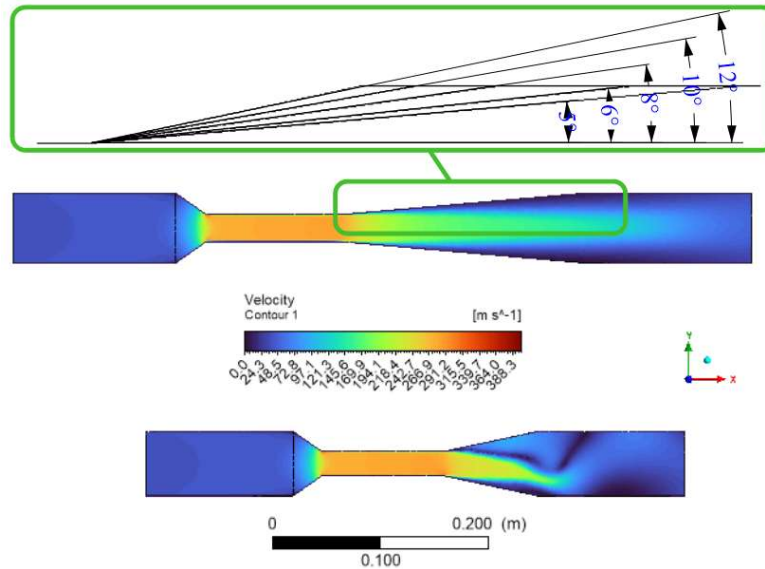


Рисунок 2 — Розподіл полів швидкості повітряного потоку при кутах розширення дифузора $\beta = 5^\circ, 12^\circ$

Ці результати дозволяють зробити висновок, що зміни кута розширення дифузора суттєво впливають на втрати тиску в протічній частині пристрою.

На основі цього аналізу для маловитратного термопресора рекомендованими є такі кути звуження та розширення: $\alpha = 30^\circ$ і $\beta = 5^\circ$. Ці параметри відповідають мінімальним втратам тиску $\Delta P_{\text{loss}} = 3,0\text{--}9,5\%$, а отже, й максимальному приросту тиску в результаті термогазодинамічного стиснення при упорскуванні та випаровуванні рідини в робочій камері.

Оптимізація цих геометричних параметрів є ключовою для досягнення ефективної роботи термопресора, оскільки вони безпосередньо впливають на ефективність процесу відновлення тиску та загальну результативність системи. Вибір цих кутів дозволяє мінімізувати енергетичні втрати та максимізувати бажаний ефект термогазодинамічного стиснення, що робить пристрій більш ефективним для практичного використання в системах охолодження повітря.

Висновки. Визначено рекомендовані кути: звуження конфузора $\alpha = 30^\circ$ і розкриття дифузора $\beta = 5^\circ$, які відповідають мінімальним втратам тиску $\Delta P_{\text{loss}} = 3,0\text{--}9,5\%$, а відтак, і максимальному підвищенню тиску в результаті термогазодинамічної компресії при упорскуванні та випаровуванні рідини в робочій камері.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sri Ramya, E., Lovaraju, P., Dakshina Murthy, I., Thanigaarasu, S., Rathakrishnan, E. (2020). Experimental and computational investigations on flow characteristics of supersonic ejector. *International Review of Aerospace Engineering*. Vol. 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.15866/irease.v13i1.18108>
2. Kobalava, H., Kononov, D., Kalinichenko, I., Pyrysunko, M. (2024). Study of Thermophysical Processes in the Thermopressor for Contact Cooling Systems. In: Ivanov, V., Pavlenko, I., Edl, M., Machado, J., Xu, J. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. DSMIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, 241–252.

https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9_21

3. Konovalov, D., Kobalava, H., Radchenko, R., Radchenko, M., Zubarev, A., Tsaran, F., Hrych, A., Anastasenko S. (2024). Research of hydrodynamic processes in the flow part of a low-flow thermopressor. *Journal of Energy Systems*. Vol. 8(2), 89-100. <https://doi.org/10.30521/jes.1283526>

ТРАНСПОРТ ЗАВТРАШНЬОГО ДНЯ: ІННОВАЦІЇ ДЛЯ ЧИСТОЇ ПЛАНЕТИ

Кохан І.Р., Середіна А.С.

*Харківський автомобільно-дорожній фаховий коледж
(Україна)*

Вступ. У сучасному світі транспорт є невід'ємною частиною життя людини. Проте традиційні засоби пересування, що використовують викопне паливо, спричиняють значне забруднення довкілля та збільшують рівень парникових газів. Це змушує людство шукати нові рішення, які дозволять зменшити негативний вплив транспорту на екосистему. Головними пріоритетами сучасних транспортних технологій є екологічність, енергоефективність, автоматизація та безпека. Викиди парникових газів від традиційного транспорту сприяють зміні клімату, а використання викопного палива стає все менш вигідним. Тому наука й інженерія активно шукають альтернативи, розробляючи електричні, водневі та автономні транспортні засоби, що мінімізують вплив на довкілля та підвищують ефективність перевезень. Важливими напрямками є електрифікація автомобільного, залізничного та водного транспорту, використання альтернативних джерел енергії, а також впровадження штучного інтелекту та автономних технологій.

У цій доповіді ми розглянемо ключові тенденції розвитку екологічного транспорту, включаючи інновації у водному, автомобільному та громадському наземному транспорті, а також практичні приклади їхнього використання.

Актуальність досліджень. Зростання кількості транспорту та його екологічні наслідки роблять проблему сталого розвитку критично важливою. Розвиток екологічного транспорту є вкрай важливим через такі фактори як: екологічні проблеми — транспортна галузь є одним із найбільших джерел забруднення повітря, викидів CO₂ та шумового забруднення; виснаження викопних ресурсів — запаси нафти та газу не безмежні, і перехід на альтернативні джерела енергії є неминучим; підвищення енергоефективності — сучасні технології дозволяють зменшити витрати пального та оптимізувати транспортні потоки; розвиток міської мобільності — мегаполіси потребують ефективного громадського транспорту, який буде екологічним, швидким і доступним; безпека руху — автономні транспортні засоби та розумні дорожні системи можуть знизити рівень аварійності; зростання урбанізації — великі міста потребують ефективних рішень для зменшення заторів і розвантаження транспортних потоків; розвиток відновлюваної енергетики — електротранспорт, водневі двигуни та нові матеріали допомагають зменшити залежність від нафти; автоматизація — розвиток штучного інтелекту (ШІ) дозволяє впроваджувати безпілотні транспортні системи для підвищення безпеки та ефективності. З огляду на ці виклики, транспорт майбутнього повинен бути не лише екологічним, але й ефективним, автономним і доступним для широкого використання. Тому розвиток новітнього транспорту — це не лише екологічна ініціатива, а й економічна та соціальна необхідність.

Постановка задачі. Метою цього дослідження є аналіз основних інновацій у сфері водного та наземного транспорту та визначення їхнього впливу на екологію, ефективність і безпеку перевезень. Завдання дослідження:

- ✓ дослідити новітні технології у водному та автомобільному транспорті.
- ✓ Визначити перспективи використання електричних, водневих та автономних транспортних засобів.
- ✓ Проаналізувати вплив екологічних транспортних рішень на економіку та довкілля.
- ✓ Навести приклади практичного використання інноваційного транспорту.
- ✓ Дослідити використання електричних та водневих технологій у сучасному транспорті.
- ✓ Проаналізувати впровадження автономних транспортних засобів та розумних дорожніх систем.

Результати досліджень. Водний транспорт майбутнього розвивається в напрямку екологічності, ефективності та інновацій. Судна на водневому паливі, електричні кораблі та

автономні плавзасоби стають реальністю, зменшуючи викиди та покращуючи транспортну інфраструктуру. Ці технології змінять морські перевезення, зробивши їх безпечнішими та більш екологічними. Розглянемо сучасні інновації у морському та річковому транспорті:

1. Електричні кораблі – прикладом є данський пором Ellen, що працює на літій-іонних батареях, а також гібридні круїзні лайнери компанії Hurtigruten.
2. Водневі судна — французький Energy Observer використовує водень, отриманий із морської води, що робить його повністю екологічним.
3. Автономні кораблі — у Норвегії створено Yara Birkeland, перше безпілотне контейнерне судно, яке значно знижує ризики аварій через людський фактор.
4. Вітрові та сонячні технології — концепція Oceanbird передбачає використання величезних крилових вітрил, що дозволяють зменшити викиди CO₂ на 90%.

Автомобілі майбутнього стають розумнішими, екологічнішими та безпечнішими. Електрокари, водневі авто та автономні транспортні засоби вже змінюють світ, зменшуючи викиди та підвищуючи комфорт пересування. Інноваційні технології, такі як штучний інтелект, безпілотне керування та відновлювані джерела енергії, визначають майбутнє автомобільної галузі. Автомобілі є основним видом транспорту в багатьох країнах, тому їхня електрифікація відіграє ключову роль у зменшенні забруднення.

1. Електромобілі.

- ✓ Найвідомішим прикладом є Tesla Model S, X, Y, 3 — найвідоміший виробник електромобілів, що задає тренди у сфері акумуляторних технологій та автономного керування.
- ✓ Porsche Taycan — один із перших преміальних електрокарів, що поєднує спортивні характеристики та екологічність.
- ✓ BYD, NIO (Китай) — компанії, що активно розширюють глобальний ринок електрокарів.
- ✓ Німецькі виробники, зокрема Volkswagen, активно розвивають електросерію ID, а BMW — лінійку i.

В Україні набирають популярності Nissan Leaf та Hyundai Kona Electric, які пропонують хороший баланс між ціною та автономністю.

2. Водневі автомобілі.

- ✓ Toyota Mirai — одна з перших серійних моделей на водневих паливних елементах.
- ✓ Hyundai Nexo — водневий позашляховик, що має запас ходу понад 600 км без викидів CO₂.

Водневі заправки ще не є масовими, але країни, як-от Німеччина, Японія та США, активно розвивають цю інфраструктуру.

3. Автономний транспорт.

- ✓ Автопілот Tesla уже працює на рівні часткової автономії (2–3 рівень).
- ✓ Компанія Waymo (Google) — лідер у сфері безпілотних таксі, які можуть працювати без водія вже у США
- ✓ Nuro — безпілотні машини для доставки товарів, які вже працюють у США.

У багатьох містах Китаю, США та Європи тестуються безпілотні автобуси та роботаксі.

Громадський та залізничний транспорт майбутнього стає екологічнішим і технологічно досконалішим. Електричні та водневі автобуси, швидкісні потяги на відновлюваних джерелах енергії, а також інтелектуальні транспортні системи допомагають зменшити викиди та зробити перевезення ефективнішими. Інноваційні рішення сприяють розвитку сталого міського транспорту, роблячи міста чистішими та зручнішими для життя.

1. Електричні автобуси.

- ✓ Китайська компанія BYD є світовим лідером у виробництві електробусів.
- ✓ У багатьох європейських містах (Лондон, Париж, Берлін) електробуси вже стали нормою.
- ✓ В Україні Київ також розглядає плани щодо заміни дизельного транспорту на електричний.

2. Водневі автобуси.

- ✓ BYD, Volvo, Mercedes eCitaro — електробуси, які вже використовуються в багатьох містах Європи та Азії.
- ✓ Hydrogen Bus (Лондон, Берлін) – автобуси, що працюють на водневих паливних елементах та забезпечують нульові викиди.
- ✓ Лондон запустив перші водневі автобуси Wrightbus, які не мають шкідливих викидів.
- ✓ Німеччина тестує водневі поїзди Coradia iLint від компанії Alstom, що замінюють дизельні локомотиви.

Потяги майбутнього поєднують високу швидкість, екологічність та інноваційні технології. Магнітна левітація, водневе паливо та електроенергія з відновлюваних джерел дозволяють зменшити викиди та зробити залізничні перевезення ще ефективнішими. Завдяки новітнім матеріалам і штучному інтелекту потяги стануть швидшими, комфортнішими та безпечнішими, змінюючи майбутнє транспорту. Наприклад:

- ✓ Hyperloop – концепція вакуумних потягів від Ілона Маска, що може досягати швидкості понад 1000 км/год.
- ✓ Водневі потяги (Coradia iLint, Німеччина) — перші у світі водневі потяги, які вже перевозять пасажирів.
- ✓ Магнітоплани (maglev) — поїзди, що використовують магнітну левітацію, зокрема у Японії та Китаї.

Розумні транспортні системи — це майбутнє мобільності, що поєднує штучний інтелект, великі дані та автоматизацію. Вони оптимізують дорожній рух, зменшують затори, підвищують безпеку та сприяють екологічності. Інноваційні технології, такі як «розумні» світлофори, безпілотний транспорт і цифрові навігаційні платформи, роблять пересування містами швидшим, комфортнішим та енергоефективним. Ось кілька прикладів розумних транспортних систем які змінюють міста, роблячи транспорт зручнішим, безпечнішим і дружнім до довкілля:

1. Автоматизовані системи управління дорожнім рухом — «розумні» світлофори, які адаптуються до інтенсивності руху та зменшують затори (наприклад, система SCOOT у Лондоні).
2. Безпілотний громадський транспорт — автономні автобуси, трамваї та поїзди, які зменшують ризик аварій та підвищують ефективність (наприклад, безпілотні метро в Дубаї).
3. Інтелектуальні транспортні додатки — мобільні платформи, що аналізують трафік у реальному часі та пропонують оптимальні маршрути (наприклад, Google Maps, Waze).
4. Магістралі з вбудованими сенсорами — дороги, що самостійно контролюють стан покриття, температуру та рух транспорту, передаючи дані до диспетчерських центрів (наприклад, «розумні» шосе в Нідерландах).
5. Електронні системи оплати проїзду — безконтактні способи оплати в громадському транспорті, що спрощують доступ та пришвидшують посадку (наприклад, Oyster Card у Лондоні або транспортні карти в Сингапурі).
6. Каршеринг та МaaS (Mobility as a Service) — сервіси, що поєднують різні види транспорту в одній екосистемі, дозволяючи користувачам пересуватися без власного авто (наприклад, Uber, Bolt, BlaBlaCar, CityBike).

У підсумку, майбутнє, ймовірно, буде за поєднанням електрики, водню та автономних систем керування, залежно від специфіки транспорту.

Україна активно працює над впровадженням екологічно чистих видів транспорту, зокрема електромобілів та водневого транспорту. Відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року, затвердженої в грудні 2024 року, одним із ключових напрямів є перехід на екологічні види транспорту. Планується, що до 2030 року частка електротранспорту у внутрішньому сполученні досягне 75%.

У сфері водневого транспорту розроблено Водневу стратегію України на період до 2050 року, яка передбачає створення інфраструктури для виробництва та використання

водню в різних галузях, включаючи транспорт. Зокрема, планується встановлення перших водневих заправних станцій та впровадження водневих технологій у громадському транспорті.

Крім того, Україна має намір досягти кліматичної нейтральності до 2060 року, синхронізуючи свою політику з Європейським Союзом. Це передбачає активний розвиток водневої енергетики та транспорту, що сприятиме зменшенню викидів парникових газів і покращенню екологічної ситуації в країні.

Варто зазначити, що реалізація цих планів залежить від низки факторів, включаючи економічну ситуацію, інвестиції в інфраструктуру та технологічний розвиток. Проте, з огляду на поточні ініціативи та стратегії, можна очікувати, що значні зрушення у впровадженні електричного та водневого транспорту в Україні відбудуться в найближчі 5-10 років.

Висновки. Транспорт майбутнього стає екологічнішим, ефективнішим та розумнішим. Основні напрямки розвитку включають: перехід на електромобілі, водневі та автономні транспортні засоби; використання відновлюваних джерел енергії у громадському транспорті; впровадження автономних систем управління для підвищення безпеки; використання сучасних матеріалів та штучного інтелекту для оптимізації витрат енергії.

Якщо ці технології будуть впроваджуватися швидкими темпами, вже у найближчі десятиліття міста зможуть позбутися шкідливих викидів, а транспорт стане більш ефективним та безпечним.

Електромобілі вже зараз активно замінюють бензинові та дизельні авто. Їхня перевага — екологічність, енергоефективність та зниження залежності від нафти. До того ж, розвиток акумуляторних технологій (наприклад, твердотільних батарей) зробить їх ще більш доступними. Водневі потяги та автобуси — чудове рішення для громадського транспорту та міжміських перевезень. Водень дає можливість швидкого заправлення, що особливо важливо для транспорту, що працює на довгих маршрутах. Автономні кораблі та водневі судна можуть зробити морські перевезення дешевшими й екологічнішими. Наприклад, електричний контейнеровоз *Yara Birkeland* вже працює в Норвегії. Маглев та Hyperloop — дуже цікаві концепції, що можуть скоротити час у дорозі між містами до мінімуму. Наприклад, Hyperloop потенційно може зробити поїздку з Києва до Варшави швидшою, ніж переліт!

Який вид транспорту майбутнього вам здається найперспективнішим? Важко обрати один вид транспорту як найперспективніший, адже кожен має свої унікальні переваги. Але якщо дивитися глобально, то електричний і водневий транспорт мають найбільші шанси стати основними засобами пересування в майбутньому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року: затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2024 р. № 1550. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1550-2024-p>
2. Міністерство енергетики України. Воднева стратегія України до 2050 року. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.mev.gov.ua>.
3. Гавриш С. В., Левченко О. П. Перспективи розвитку водневого транспорту в Україні // Науковий вісник Національного транспортного університету. — 2023. — № 2(54). — С. 45–52.
4. Петров В. М., Сидоренко Л. І. Екологічні аспекти впровадження електричного транспорту // Транспортні технології. — 2022. — № 1(31). — С. 78–84.
5. BRDO — Офіс ефективного регулювання. Зелена відбудова України: перспективи застосування водню в транспорті. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://brdo.com.ua/analytics/zelena-vidbudova-ukrayiny-perspektyvy-zastosuvannya-vodnyu-v-transporti>.

МАЙБУТНЄ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТУ: ТЕХНОЛОГІЧНІ, СОЦІАЛЬНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ ДО 2030 РОКУ

Кохан І.Р., Середіна А.С.

*Харківський автомобільно-дорожній фаховий коледж
(Україна)*

Вступ. У ХХІ столітті ми стали свідками значних технологічних проривів у багатьох галузях, і транспорт не є винятком. Одним із найбільш інноваційних та перспективних напрямків є розвиток автономних транспортних засобів (АТЗ), які здатні здійснювати поїздки без участі водія. Від концептуальних автомобілів на виставках до реальних тестових моделей на дорогах, автономний транспорт став важливим елементом на шляху до зміни самого підходу до мобільності.

Ідея створення автомобілів, які можуть самостійно приймати рішення, орієнтуватися на дорогах, прогнозувати небезпеки та взаємодіяти з іншими учасниками дорожнього руху, набирає все більшої популярності серед інженерів, урядів і користувачів. Технології автономного водіння обіцяють революційні зміни не тільки в транспортній індустрії, але й у суспільстві загалом. Вони можуть істотно знизити рівень дорожньо-транспортних пригод, скоротити кількість смертей і травм на дорогах, а також зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу, сприяючи екологічно чистому транспорту.

Автономні транспортні засоби здатні змінити саму структуру міських транспортних систем, створюючи нові можливості для організації руху, інфраструктури, а також підвищення ефективності використання транспортних засобів. Вони можуть призвести до значних змін у способах переміщення людей і товарів, зокрема зменшити потребу в особистих автомобілях, що, у свою чергу, зменшить затори та покращить якість життя в містах.

Зараз ми перебуваємо на порозі великої зміни, однак технології автономного транспорту ще не досягли рівня масового використання. Розвиток автономного транспорту стикається з численними технічними, юридичними та соціальними викликами, що потребують комплексного підходу для їх вирішення. Від розробки новітніх систем управління і безпеки до створення нормативно-правової бази, що регулює використання таких транспортних засобів, — все це вимагає значних зусиль з боку урядів, наукових кіл, виробників транспортних засобів та інших зацікавлених сторін.

У зв'язку з цим, дослідження в галузі автономного транспорту набувають особливої актуальності. Вони допомагають зрозуміти, які саме фактори визначатимуть розвиток автономних транспортних засобів у найближчі роки, як вони впливатимуть на соціально-економічні процеси та навколишнє середовище, а також які бар'єри потрібно подолати для їх широкого впровадження. Ця проблема є важливою як для технологічної спільноти, так і для суспільства в цілому, оскільки вона не лише стосується безпосередньо мобільності, але й соціальних, етичних та екологічних аспектів життя.

Актуальність досліджень. Зростання інтересу до автономних автомобілів обумовлене необхідністю зниження рівня аварійності, підвищення екологічної ефективності транспорту та поліпшення транспортної мобільності. Окрім того, автономні транспортні засоби можуть значно змінити соціально-економічну ситуацію в містах, зменшивши потребу в особистих автомобілях та оптимізуючи витрати на транспортування. Враховуючи, що розвиток технологій автономного транспорту прямо пов'язаний з питаннями безпеки, етики, регулювання та екології, дослідження в цій сфері набувають надзвичайної важливості.

Постановка задачі. Метою даного дослідження є аналіз технологічних, соціальних та економічних аспектів розвитку автономних транспортних засобів, а також прогнозування основних тенденцій та викликів, з якими стикнеться ця галузь. Основні завдання дослідження:

1. Оцінка технологічного прогресу в галузі автономного транспорту.

2. Аналіз інфраструктурних змін, необхідних для впровадження автономних автомобілів.
3. Оцінка соціальних та економічних наслідків використання автономних транспортних засобів.
4. Прогнозування екологічних та безпекових переваг автономного транспорту.
5. Практичні аспекти впровадження та застосування автономного транспорту.

Результати досліджень:

1. технологічний прогрес: штучний інтелект та сенсори. Одна з основних складових автономних транспортних засобів — це їхня здатність орієнтуватися в навколишньому середовищі без участі людини. Цю задачу допомагають вирішувати складні системи штучного інтелекту, алгоритми машинного навчання та різноманітні сенсори. До 2030 року ці технології повинні стати ще більш досконалими. Вже зараз ведеться активна робота над удосконаленням камер, радарів, лідарарів та інших сенсорів, що допомагають автомобілям «бачити» навколишнє середовище в різних умовах — при поганій погоді, вночі чи в міських джунглях. Підвищення точності цих сенсорів і їх інтеграція в єдину екосистему допоможе значно зменшити кількість помилок в ухваленні рішень. Штучний інтелект теж зробить крок вперед. Технології, що дозволяють автомобілям навчатися на основі величезних масивів даних (Big Data), надаватимуть можливість адаптуватися до різних ситуацій на дорозі, підвищуючи безпеку та ефективність.
2. Інфраструктура та міста майбутнього. Для успішного функціонування автономних транспортних засобів важливо не лише те, як вони пристосовуються до доріг, а й сама інфраструктура. До 2030 року ми можемо побачити значні зміни в містах, що включатимуть розумні дороги, зарядні станції для електричних автономних автомобілів, а також нові транспортні вузли. Наприклад, дороги можуть стати інтегрованими з технологіями 5G або навіть 6G для забезпечення миттєвого обміну даними між автомобілями та інфраструктурою. Це дозволить створити більш безпечні та зручні транспортні системи, де автомобілі можуть координувати свої дії між собою, а також з іншими елементами міської інфраструктури.
3. Зміни в транспортній екосистемі. Один із найбільших аспектів, які зміняться до 2030 року, — це те, як ми використовуємо транспорт. Автономні транспортні засоби дозволять реалізувати концепції мобільності як послуги (MaaS), де транспортні засоби можуть бути орендовані або поділені без необхідності володіти ними. Це зменшить потребу в особистих автомобілях і змінить саму природу міських поїздок. До того ж, автономні транспортні засоби будуть активніше інтегруватися в різні транспортні системи, такі як громадський транспорт, таксі та каршерінг. Завдяки цьому буде знижено навантаження на міське середовище, зменшено забруднення повітря та трафік.
4. Екологічні переваги та сталий розвиток. Одним із важливих аспектів, який буде стимулювати поширення автономних автомобілів, є їх екологічна ефективність. З більш широким використанням електричних автономних транспортних засобів, викиди парникових газів зменшуватимуться, що сприятиме боротьбі з кліматичними змінами. Удосконалення в автоматизації водіння дозволить зменшити витрату пального та енергії, оскільки автомобілі зможуть оптимізувати свої маршрути та маневри. Крім того, автономні транспортні засоби можуть стати основою для розвитку інфраструктури для електричних машин, зокрема систем для швидкої зарядки або безконтактного поповнення енергії.
5. Етичні та юридичні питання. Як і з будь-якою новою технологією, автономні автомобілі принесуть із собою ряд етичних і юридичних питань. Одним із головних викликів буде визначення відповідальності у випадку аварії. Якщо машина здійснює помилку, хто буде нести відповідальність: виробник, програміст чи сам власник? Також виникнуть питання щодо конфіденційності даних. Автономні автомобілі збиратимуть величезні обсяги інформації про маршрути, поведінку водіїв і пасажирів, що може стати предметом для обговорення в контексті захисту особистої інформації.
6. Соціальні зміни та безпека. З розвитком автономного транспорту, ймовірно, зменшиться кількість дорожніх аварій, що значно підвищить безпеку на дорогах. Прогнозується, що

кількість смертей в ДТП скоротиться, оскільки автономні системи здатні швидше реагувати на потенційні небезпеки, ніж людина. З іншого боку, виникне необхідність переосмислення ролі водіїв у суспільстві. Зокрема, багато людей, які зараз працюють водіями (наприклад, таксисти або вантажники), можуть залишитися без роботи. Це буде вимагати розробки нових програм перепідготовки та підтримки вразливих категорій працівників.

7. Практичні аспекти впровадження автономного транспорту:

1. навчання та підготовка фахівців, а саме створення спеціалізованих навчальних програм для інженерів, програмістів та фахівців з кібербезпеки; проведення тренінгів та симуляцій для адаптації існуючих водіїв та операторів транспорту; впровадження сертифікаційних програм для механіків та технічних спеціалістів, які обслуговують автономні автомобілі.
2. Тестування та пілотні проекти, а саме запуск тестових маршрутів у містах із низьким трафіком для перевірки ефективності автономних систем; взаємодія з місцевими органами влади для оцінки безпеки та розробки відповідних нормативних актів; використання спеціальних полігонів для випробувань автономних транспортних засобів у реальних дорожніх умовах.
3. Інтеграція з існуючими транспортними системами, а саме взаємодія автономних авто з традиційними транспортними засобами для створення гібридної системи пересування; розширення інфраструктури зарядних станцій для електричних автономних автомобілів; впровадження «розумних» світлофорів, які адаптуються до руху автономного транспорту.
4. Фінансування та підтримка інновацій включає в себе залучення інвестицій у розвиток автономного транспорту через державно-приватне партнерство; впровадження грантових програм для стартапів, які працюють у сфері автономного керування та мобільності; створення державних програм підтримки підприємств, які впроваджують автономні технології у виробництво.
5. Сфери застосування автономного транспорту, наприклад: громадський транспорт: автономні автобуси та метро для безперебійного перевезення пасажирів; логістика та доставка: автономні вантажівки для ефективного транспортування товарів та безпілотні дрони для доставки малих посилок; агросектор: автономна техніка для обробки полів, збирання врожаю та моніторингу посівів; промислові зони: автономні навантажувачі та транспортні засоби на заводах та складах; сфера безпеки: використання автономних патрульних автомобілів та дронів для спостереження та реагування на надзвичайні ситуації.

Практичне застосування автономного транспорту в Україні покращить:

1. громадський транспорт — автономні автобуси у великих містах, таких як Харків, Київ, Львів та Дніпро, можуть зменшити навантаження на дороги та покращити екологічну ситуацію. Використання автономного метро або трамваїв для оптимізації міського трафіку та зменшення заторів.
2. Логістика та вантажні перевезення — використання автономних вантажівок на ключових трасах, таких як Київ-Одеса або Київ-Львів, для безперервного та ефективного перевезення товарів. Безпілотні дрони для швидкої доставки малих посилок у містах та сільській місцевості.
3. Сільське господарство — автономна техніка для обробки полів та збирання врожаю у сільськогосподарських регіонах. Використання дронів для моніторингу стану полів та прогнозування врожайності.
4. Промисловість та виробництво — автономні навантажувачі та транспортні засоби на великих виробничих підприємствах. Автоматизовані системи транспортування матеріалів на логістичних хабах та складах.
5. Сфера безпеки та рятувальних служб — автономні патрульні автомобілі та дрони для моніторингу ситуації у містах та на кордонах України. Використання безпілотних транспортних засобів у зонах надзвичайних ситуацій, таких як пожежі чи екологічні катастрофи.

Висновки. До 2030 року автономні транспортні засоби, ймовірно, стануть значущим елементом транспортної системи. Вони обіцяють істотні покращення в безпеці дорожнього

руху, ефективності транспортування та екологічній ситуації. Однак для реалізації цього потенціалу потрібно буде вирішити низку технологічних, соціальних і правових викликів, зокрема створити відповідну інфраструктуру та регулюючу базу. Адаптація до автономних транспортних засобів потребує часу, але вже сьогодні очевидно, що ці технології відкривають нові можливості для змін в суспільстві та навколишньому середовищі. В Україні він може бути ефективно застосований у громадському транспорті, логістиці, агросекторі, промисловості та сфері безпеки. Важливо підготувати інфраструктуру, забезпечити безпеку та адаптувати суспільство до нових реалій. Практичні навички у сферах ІТ, машинного навчання, кібербезпеки та міського планування стануть ключовими для успішного впровадження автономного транспорту. Успішна інтеграція автономних автомобілів до 2030 року буде залежати від ефективної співпраці між урядами, виробниками технологій та користувачами транспортних послуг.

ЛІТЕРАТУРА

1. Іваненко, О. П. Автономні транспортні системи / О. П. Іваненко. — Київ: Наукова думка, 2020. — 350 с.
2. Smith, J. Autonomous Vehicles: Technologies and Future Trends / J. Smith. — New York: Springer, 2019. — 210 p.
3. Петров, В. М. Розвиток технологій автономного транспорту: перспективи та проблеми / В. М. Петров // Транспорт України. — 2022. — № 3. — С. 45–58.
4. Zhang, Y. Autonomous Vehicles and the Future of Transportation / Y. Zhang // Transportation Research Journal. — 2021. — Vol. 45, No. 2. — P. 23–39.
5. Сидоренко, Т. О. Розвиток автономного транспорту в Україні: виклики та можливості: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Т. О. Сидоренко. — Київ, 2023. — 22 с.

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Лаврич Ю.М., Подчасов А.Ю., Погоріла Л.М.

*Інститут транспортних систем і технологій НАН України
(Україна)*

Вступ. Енергетичний перехід та декарбонізація припускають відмову від традиційних енергетичних технологій, заснованих на застосуванні невідновлюваних джерел енергії. Відзначаючи, що лежить на поверхні, зрозуміле широкому колу навіть не фахівців, переваги нової технології відновлюваної енергетики, не торкаючись особливостей переходу. Основними сучасними дослідженнями в енергетиці та енергетичних технологіях є теми технологій сонячної, вітряної енергетики та накопичувачів.

Основна частина. Незважаючи на тривалий період існування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), теми досі перебувають на стадії перманентних досліджень практично всієї світової науки, залишаючись, як і раніше, неконкурентною порівняно з існуючими видами енергетики, які існують лише завдяки політиці державної підтримки. Тому метою роботи є аналіз деяких особливостей застосування ВДЕ. Результати досліджень навіть теоретично можливих характеристик, що не підтверджуються практикою, свідчить про низьку ефективність проведених досліджень та довірчу оцінку реальної ефективності можна отримати лише провівши порівняльний техніко-економічний аналіз технологій, на підставі якого здійснювати вибір енергетичної технології.

Не заперечуючи важливості критерію «безвуглецевості», сучасний критерій взагалі не застосовує, принаймні, основний критерій оцінки джерел енергії — ККД, широко афішуючи лише «чистоту» зеленої енергії, упускаючи наявність екологічних проблем як виготовлення так і утилізації. Такий спрощений поділ не сприяє пошуку нових способів підвищення ефективності відновлюваної енергетики, ККД якої, незважаючи на тривалі дослідження та великий досвід практичного застосування, залишається, як і раніше, неконкурентним у порівнянні з іншими джерелами енергії.

Сьогодні ринок різних технологій ВДЕ перебуває на різних стадіях становлення, але враховуючи сучасні темпи впровадження, ні в кого немає сумнівів, що він розростеться до гігантських розмірів, незважаючи на досягнутий рівень ефективності. Відсутність стандартизації навіть у рамках одного виду ВДЕ, не кажучи про технологію самого виготовлення сонячних батарей, вітроустановок, акумуляторів, систем накопичення енергії, створює масу різномірних зразків, зберігаючи практично без змін принципи роботи етапу становлення перших зразків.

Іноді, штучно створювана розробником і виробником унікальність, призводить до неможливості прямого поєднання різних виробів різного виробництва, потребуючи включення низки технологічних операцій процесу отримання енергії, що призводить до підвищення вартості виробленої енергії та труднощів розробки технологій утилізації.

На сучасному етапі розвитку енергетики чітко видно тенденцію вирішення проблемних питань шляхом, практично директивної, заборони існуючих та перехід до призначеному виду технологій. Встановлюючи строки створення та обсяги виробництва нової технології, реалізація мети досягається пред'явленням вимог досягається пред'явленням вимог «безвуглецевості» в продукції, що взагалі не відноситься до енергетики, ретельно досліджуючи «сліди» вуглецевості у виробленій продукції.

Хоча збереження низької ефективності ВДЕ здійснюється за рахунок платника податків, очевидно з таким директивним підходом можна було б погодитися, якщо була видна перспектива досягнення вищого ККД, у крайньому випадку рівним, існуючим технологіям, але на жаль, перманентні дослідження шляхів підвищення ККД ВДЕ, свідчать лише про наявність проблем та відсутність шляхів рішення.

Дивним є той факт, що говорячи про екологію, точніше про турботу, наводиться маса досліджень про шкоду, але немає самих результатів, які можуть дати шляхи та засоби усунення екологічних проблем існуючих, директивно штучно заборонених технологій,

хоча стверджуються про можливість їх використання та перетворення шкідливого на корисне.

Вибір, проведений за умов відсутності порівняльних досліджень, збереження такого бачення нового, веде до заборони енергетичних технологій з високими КПД, наприклад атомної, продовжуючи «відкривати нове» лише відновлюваних. Але запропоновані види таких технологій можуть обернутися набагато болючішими для суспільства, які не афішуються сьогодні.

Енергетичний перехід завжди тривалий і складний процес, що охоплює практично віковий період, а практично одночасна зміна технологій, призвела до появи в лексиконі терміну «електронне сміття», який за розрахунками Міжнародного енергетичного агентства, до 2030 року на землі літій-іонні батареї, тільки для електричних машин, «вироблять» 11 млн. тон відходів.

Згідно з міжнародними нормами всілякий проект набуває закінченості за умови кінцевої переробки свого продукту і його остаточної утилізації.

Не кажучи про решту, у Європі на сьогоднішній день виявляється переробляється лише 5% таких батарей, але ж треба вирішити завдання переробки елементів сонячної та вітряної енергетики. Це призводить до високих ризиків забруднення довкілля. При пошкодженні акумуляторів виділяються токсичні елементи та гази. Крім того, матеріали, з яких виробляються акумулятори (такі, як літій та кобальт), знаходяться в природі в обмеженій кількості та не поновлюються. Їхнє додаткове виробництво (а не повторне використання) призводить до додаткового навантаження на екологію планети, оскільки виробничі процеси досить брудні та енергоємні. Свинцево-кислотні акумулятори мають просту конструкцію з поліпропіленовим корпусом, електролітом та двома електродами, виготовленими із свинцю та оксиду свинцю. Розділити компоненти за щільністю відносно просто, враховуючи, що свинець та поліпропілен мають значення 11,3 та 0,9 г/см³.

Перший в Україні на базі МНБК «ВЕСТА» разом з вченими Інституту створено сучасний та високотехнологічний комплекс, який забезпечує переробку використаних акумуляторів (завод з рекуперації свинцю) та утилізацію відпрацьованих батарей. Завод може переробляти 40 тисяч тон використаних акумуляторів на рік, використовуючи безвідходну та екологічно чисту технологію. Відмінною особливістю підприємства є переробка металевих і пластмасових частин АКБ, електроліту, а також свинцевовмісних відходів і брухту свинцю.

Подібні значення щільності катодів і струмоприймачів у літій-іонних батареях роблять подібний підхід неможливим. Тому для літій-іонних пристроїв потрібні інші методи — окислювально-відновлювальні реакції, розчинення або використання електростатичних та магнітних властивостей для поділу матеріалів, з яких складаються елементи.

Літій-іонні пристрої компонуються таким чином, щоб забезпечити максимальну безпеку та довговічність елементів на шкоду зручності вторинної переробки.

Чим більша кількість елементів в акумуляторному блоці, тим менша частка цінних матеріалів у його масі. Збільшення кількості елементів також ускладнює переробку та збільшує витрати на її проведення.

При виготовленні однієї сонячної панелі в атмосферу викидаються десятки кілограмів вуглекислого газу. Саме виготовлення панелей сонячних електростанцій, а також видобуток рідкісних металів, що входять до їх складу, є енерговитратним процесом і розташовується в країнах, де зазвичай використовується вугільна генерація», тобто завдяки вугіллю стає можливою поява «екологічно чистої» зеленої вітроенергетики. Парадоксально, але факт, вважаючи вугілля основним забруднювачем екології, енергія вітроенергетики вважається чистою.

Собівартість 1 кВт електроенергії з вітряків у десятки разів вища, ніж на тих же ГЕС чи АЕС. Проте треба враховувати те що, вітер не завжди диме, що позначається на коефіцієнті використання встановленої потужності, що у вітрогенераторів в чотири рази

нижче (20%), ніж в атомних станцій (84%). Проблему посилює і те, що питома вартість переробки літій-іонних акумуляторів, яка сьогодні наближається до 1 євро за кг, приблизно втричі вища, ніж питома вартість матеріалів, що одержуються на виході. Іншими словами, технології переробки існують, але поки що не є, так би мовити, повноцінними та економічно доступними. З цієї причини шукають рішення, які дозволяють якнайдовше відстрочити «остаточну» переробку. Одним із них є повторне використання акумуляторів у системах зберігання енергії. В основі традиційних способів руйнування лежить створення в об'єкті поля деформацій і напруг, що руйнується, перевищують граничні характеристики міцності матеріалу і спрямовані на розрив зв'язків зчеплення кристалів. Коефіцієнт корисної дії такого процесу не перевищує 10%. Причина низького ККД і втрат енергії при руйнуванні матеріалів у традиційних засобах дезінтеграції в тому, що матеріал руйнується при перевищенні напружень у ньому властивостей міцності руйнується шматка в цілому. При цьому можуть рватися міжатомні зв'язки, але енергія яких дуже велика. Саме такий процес найчастіше відбувається при хаотичному руйнуванні в кульових млинах, шоккових дробарках та інших подібних апаратах. Однак на саме руйнування породи при звичайному механічному подрібненні йде тільки 1% енергії, що витрачається, а решта 99% переходять в тепло і звук. Тому в удосконаленні процесу подрібнення ховаються можливості для енергозбереження. Однією з таких можливостей є використання НВЧ випромінювання для утилізації твердих тіл, відомої давно і багатьма дослідженою в різних сферах застосування [1, 2]. Інститут запатентував спосіб дроблення, який використовує ефект взаємодії НВЧ поля з матеріалом.[3]. У порівнянні з іншими фізичними методами розміщення порід (електрогідравлічний удар, ультразвук, лазерне та ІЧ-опромінення, електричний розряд і т.п., безконтактний НВЧ спосіб введення енергії руйнування в породу забезпечує високий ККД и може бути використаний для розробки технології руйнування [4] Мотивуючи необхідність переходу до ВДЕ зменшенням запасів матеріалів для невідновлюваної енергетики, але поява нового виду енергетики пов'язана з використанням також матеріалів, щоправда, інших, яких набагато менше в природі, всіх екологічно не чистих. Виходячи з того, що функціонування обох видів енергетик можливе лише за наявності самих екологічно не чистих матеріалів, можна сказати, що проблему вибору матеріалів досі не вирішено. Дослідження ефективності ВДЕ повинні включати самостійним розділом дослідження властивостей матеріалів з урахуванням існуючих принципів роботи ВДЕ, пошуку способів отримання багатофункціональності матеріалу, що забезпечує багатофункціональність процесу отримання енергії.

Висновки. На сьогоднішній день утилізація не вважається пріоритетним завданням виробників елементів, основна увага, природно, приділяється технічним характеристикам. Технічне завдання на проектуванні зразка відновлюваної енергетики має містити вимоги забезпечення екологічної чистоти на всіх стадіях життєвого циклу та розробки системи утилізації продукції, що виробляється.

ЛІТЕРАТУРА

1. Явтушенко О.В., Коробской В.К. Исследование воздействия СВЧ энергии на некоторые горные породы. Сб. «Механика и разрушение горных пород», ч. 4. Киев, 1976, С. 142–144.
2. Лаврич Ю.Н. Получение нанодисперсного диоксида титана с использованием СВЧ излучения// Радиотехніка 182. 2015. С. 152–156.
3. Дзензерский В.А., Соколовский И.И., Лаврич Ю.Н. и др. Спосіб дроблення. Патент №90385. Бюл. №10 26.05.14
4. Назарчук З.Т., Скальський В.Р., Почапський Є.П. Технології відбору та опрацювання низькоенергетичних діагностичних сигналів. — К.: Наукова Думка, 2014. — 303с.

ТЕПЛОВА ПІДГОТОВКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ СУДНА ПОРТОВОГО ФЛОТУ

Погорлецький Д.С., Кавун В.І., Котов А.І.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Підвищення ефективності роботи суднових двигунів внутрішнього згоряння (СДВЗ) передбачає поліпшення їх основних показників, до яких слід віднести показники потужності, економічні і екологічні. Комплексне покращення даних показників є серйозною проблемою, обумовленою низкою обставин, необхідною умовою, є забезпечення оптимального температурного стану двигунів суднових енергетичних установок (СЕУ) портового флоту під час їх експлуатації в різних кліматичних умовах. Забезпечення оптимального температурного стану двигуна СЕУ під час експлуатації за рахунок передачі потоку теплової енергії з допомогою різних засобів є актуальною задачею, вирішення якої створює умови для подальшого розвитку енергоресурсозбереження, підвищення енергетичної безпеки та продуктивності СЕУ судна портового флоту [1-3].

Постановка задачі. Одним з напрямків у цьому випадку є розробка та дослідження системи теплової підготовки СДВЗ на основі теплового акумулятора (ТА) в процесах його передпускового та післяпускового прогріву в різних умовах експлуатації, особливо в районах плавання з холодним кліматом.

Суднові дизельні двигуни СЕУ портового флоту піддаються значним змінам кліматичних та температурних умов і тому повинні бути здатними працювати в різних умовах навколишнього середовища, в зимових та в літніх, що характерні для арктичних і тропічних районів. Зміни температури на поверхні моря досить обмежені, СДВЗ не піддається реальним екстремальним температурам навколишнього середовища. Зміни, які відбуваються в різних кліматичних умовах, викликають зміни в частині загальної витрати, палива, кількості відпрацьованих газів і робочих температур двигуна. Пуск суднового двигуна рекомендується здійснювати при «нормальних» умовах при наступних параметрах: двигун запускається після здійснення попереднього прогріву водяної сорочки системи охолодження, до 50 °С і поступово підвищується при зміні частоти обертання до 90 % від зазначеної в технічній експлуатації двигуна, максимально стійкої частоти обертання для підтримання номінальної потужності[1-6].

В реальних умовах експлуатації СЕУ існують значні теплові втрати від працюючого обладнання в оточуюче середовище, використання яких, з метою підвищення ефективності енергетичної установки (ЕУ), можливе з допомогою засобів накопичення чи утилізації теплової енергії, які забезпечують, і передпусковий прогрів суднового ДВЗ. Аналіз наукових досліджень довів, що одним з шляхів підвищення ефективності експлуатації СЕУ є використання в їх складі теплоакумуючих засобів, які представляють сукупність енергетичного обладнання та теплового акумулятора [1-5]. Дослідження в цій області зосереджені на одержанні ефективних теплоакумуючих матеріалів, вирішенні питань їх корозійної сумісності, визначенні числа термічних циклів «зарядка - розряд», розробці схем теплоакумуючих систем у складі стаціонарних і транспортних енергетичних установок. З огляду на чисельні публікації, присвячені питанням накопичення теплової енергії в складі СЕУ, до теперішнього часу не вирішені питання вибору раціональних схем суднових теплоакумуючих систем теплової підготовки СДВЗ для суден портового флоту з урахуванням особливостей їх експлуатації та габаритних розмірів машинного відділення

У реальних умовах експлуатації, суднової енергетичної установки судна портового флоту існують теплові втрати від працюючого енергетичного обладнання в оточуюче середовище, використання яких, з метою підвищення ефективності експлуатації СЕУ, можливо шляхом застосування теплоакумуючих систем утилізації тепла, які забезпечують, передпусковий прогрів СДВЗ. Значна кількість подібних між собою схем передпускового прогріву відрізняються одна від одної наступними конструктивними

особливостями: підключенням теплового акумулятора, паралельно чи послідовно з охолоджувачем охолоджувальної рідини двигуна; застосуванням різних конструктивних типів теплових акумуляторів; застосуванням різних теплоакумуючих матеріалів (ТАМ); наявністю додаткових споживачів теплової енергії (крім прогріву СДВЗ); різними алгоритмами та системами керування прогрівом СДВЗ і зарядкою теплового акумулятору; джерелами енергії для зарядки ТА. Одним з недоліків схеми передпускового прогріву де в якості робочої рідини використовують охолоджуючу рідину, є те, що в процесі прогріву СДВЗ інтенсивно нагрівається охолоджуюча рідина, а також деталі СДВЗ, з якими контактує дана рідина. Темп нагріву інших деталей СДВЗ і інших технологічних рідин залишається низьким. Також при використанні для зарядки ТА тепловою енергією яку переносить охолоджувальна рідина, максимальна температура для нагріву ТАМ в залежності від типу СДВЗ не перевищує 70...105 °С, це є перешкодою для застосування більш енергоємних високотемпературних ТАМ. При цьому використання для зарядки ТА електричної енергії є менш економічно вигідним в порівнянні з використанням тепла відпрацьованих газів (ВГ) СДВЗ. Більш високі температури для нагріву теплоакумуючого матеріалу (ТАМ) мають системи передпускового прогріву, в яких тепловий акумулятор (ТА) заряджається теплом відпрацьованих газів. Відомо, що ефективність роботи будь-якої системи утилізації теплоти ВГ поршневих СДВЗ буде істотно змінюватись залежно від кількості теплоти та температури її джерела, яка приводить у дію відповідну систему. Результати оцінки «втрат» теплової енергії з ВГ, які викидаються в атмосферу поршневими СДВЗ, свідчать про значні резерви підвищення економічності та можливості одержання додаткової корисної роботи у випадку утилізації цієї енергії [1-6].

Система прогріву СДВЗ з підсистемою утилізації теплової енергії відпрацьованих газів тепловим акумулятором входить, як складова частина, до системи охолодження СДВЗ та виконує частину її функцій, забезпечує швидкий прогрів СДВЗ до робочої температури та підтримує її у межах, обумовлених робочим процесом і конструкцією двигуна. Принцип роботи полягає в накопиченні теплової енергії ВГ, яка утворюється при згорянні палива та не використовується на корисну роботу, а викидається в атмосферу з ВГ. Накопичення теплової енергії в ТА стає можливим завдяки встановленню в випускному трубопроводі двигуна теплообміннику, який пов'язаний з ТА трубопроводом, з допомогою якого, насосом з власною системою керування, відбувається циркуляція теплоносія системи утилізації теплової енергії. Теплоносій проходячи через теплообмінник у випускному трубопроводі розігрівається від теплової енергії ВГ до температури 150...200 °С. Теплообмінник встановлено в байпасі випускного трубопроводу, паралельно основному трубопроводу, таке конструктивне рішення прийняте, щоб мати можливість для відключення після того, як ТА буде заряджений, переключення потоку відбувається за допомогою клапанів з електричним приводом на основі команд системи керування. Схема встановлення теплового акумулятору для прогріву СДВЗ та утилізатору теплової енергії ВГ продемонстровано на (рис. 1).

При запуску двигуна після тривалої зупинки в дію включається система прогріву СДВЗ, для цього відбувається включення системи перед запуском СДВЗ. Система включає електричний циркуляційний насос з модульованою подачею, який здійснює циркуляцію охолоджуючої рідини через СДВЗ та ТА. Проходячи через ТА охолоджуюча рідина отримує накопичену ТАМ теплову енергію та передає її елементам конструкції СДВЗ, найголовнішим, стінкам та головці блоку циліндрів [1-6]. Правильний вибір теплової потужності ТА дозволяє виконати швидкий попередній прогрів СДВЗ з температури оточуючого середовища (мінімальна температура від + 5°С) до робочої температури + 50°С. Отримавши теплову енергію від охолоджуючої рідини елементи СДВЗ передають її моторному маслу та камері згорання, що позитивно впливає на процес пуску СДВЗ, який відбувається після того, як датчики системи комбінованого прогріву (СКП) СДВЗ зафіксують температуру охолоджуючої рідини в межах + 40...50 °С. Після цього

відбувається пуск СДВЗ та є можливість навантаження двигуна. Після запуску СДВЗ, СКП продовжує свою роботу та сприяє більш швидкому і ефективному прогріву двигуна до оптимальної температури охолоджуючої рідини $+ 85^{\circ}\text{C}$ [1–6]. Це досягається завдяки подальшому використанню накопиченої теплової енергії в ТА, та на даному етапі в тепловий баланс системи прогріву включається додатковий член - надходження теплової енергії від ТА. Після досягнення температури охолоджуючої рідини $+ 85^{\circ}\text{C}$ система комбінованого прогріву переходить в режим підтримання її в заданих межах, тобто $85 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

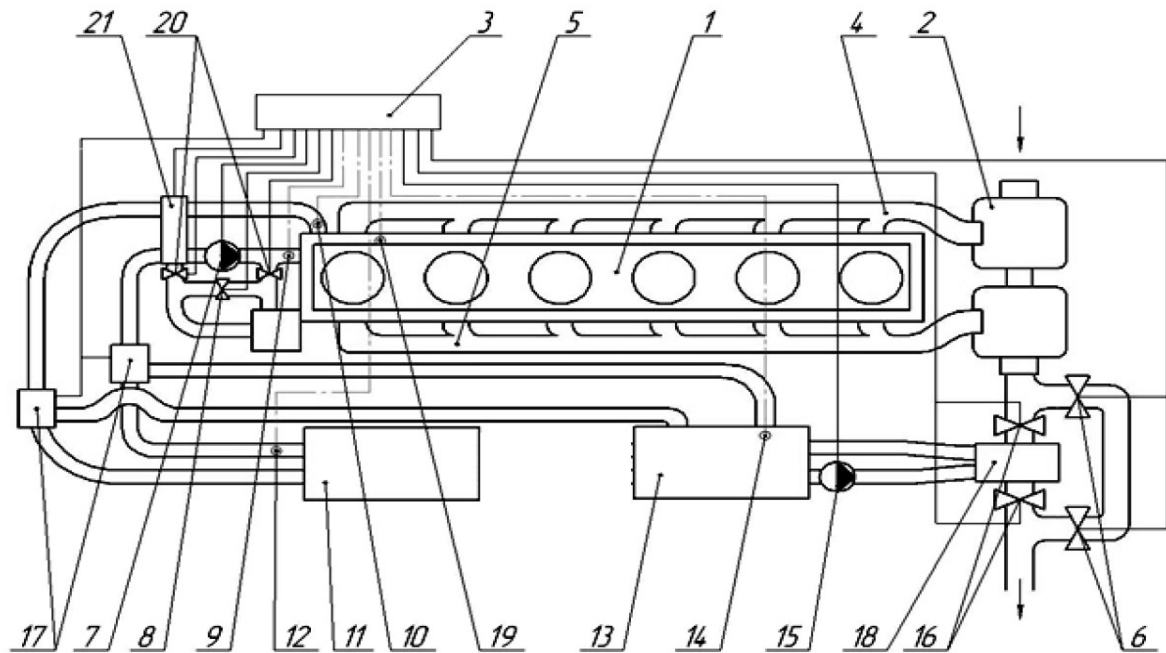


Рисунок 1 — Схема встановленого теплового акумулятору та утилізатору теплової енергії

ВГ: 1 — ДВЗ, 2 — турбокомпресор, 3 — блок керування системою регулювання температури охолоджуючої рідини СДВЗ, 4 — впускний колектор, 5 — випускний колектор, 6 — клапани байпасу, 7 — електричний насос системи охолодження, 8 — електромагнітний клапан байпасу штатного насоса системи охолодження, 9 — датчик температури охолоджуючої рідини на вході до СДВЗ, 10 — датчик температури охолоджуючої рідини на виході з ДВЗ, 11 — теплообмінник системи охолодження, 12 — датчик температури охолоджуючої рідини на виході з теплообмінника, 13 — тепловий акумулятор фазового переходу, 14 — датчик температури охолоджуючої рідини на виході з теплового акумулятора, 15 — насос теплового акумулятора, 16 — клапани теплообмінника теплового акумулятора, 17 — двохпозиційні клапани, 18 — теплообмінник теплового акумулятора фазового переходу, 19 — датчик температури охолоджуючої рідини в ДВЗ, 20 — електромагнітний клапан включення штатного насоса системи охолодження, 21 — електромагнітний клапан двохпозиційний

Висновок. Досліджувана система теплової підготовки на основі теплових акумуляторів фазового переходу доцільна, для забезпечення передпускової та післяпускової теплової підготовки двигуна судна портового флоту, і для тривалого зберігання теплової енергії без роботи в режимі холостого ходу, під час застосування в різних кліматичних умовах експлуатації. Особливості комплектації та технології використання системи теплової підготовки вибираються в залежності від експлуатаційних потреб, кліматичних умов і призначення суднового двигуна. Розроблена СТП в різних умовах експлуатації, дозволяє покращити показники часу прогріву суднового двигуна, забезпечити енергетичну безпеку в частині вимог підтримання температурного стану суднового двигуна, для цього доцільно використовувати тепловий акумулятор фазового

переходу для прогріву від температури навколишнього середовища до 50 °С і прогрів від 50 °С до 85 °С з забезпеченням підтримання температури охолоджуючої рідини не працюючого двигуна судна портового флоту в межах 50 °С.

ЛІТЕРАТУРА

1. Александров В.Д. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів — монографія / В.Д. Александров, Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук і др. — Донецьк: Вид-во «Ноулідж», 2014. — 230 с.
2. Pohorletskyi, D., Gritsuk, I., Mateichyk, V., Symonenko, R. et al., «Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems)», SAE Technical Paper 2020-01-2031, 2020, doi:10.4271/2020-01-2031.
3. Харітонов Ю.М. Суднові теплоакумуючі комплекси [Електрон. ресурс] / Ю.М. Харітонов, В.В. Голеншин, А.В. Варшамов // (Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні. VII міжнародна науково-технічна конференція 2012.) — Режим доступу: <http://conference.nuos.edu.ua/catalog/files/lectures/14962.pdf> - 25.04.2025г.
4. Голенішин В.С. Експериментальні дослідження температурного стану обладнання та корпусних конструкцій у машинному відділенні малотоннажного судна [Текст] / В.С. Голенішин, С.І. Шалухін, А.С. Варшамов — Вісник Інженерної академії України. — К. : КНАУ–2011. — № 2. — С. 159–162.
5. Погорлецький Д.С. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників переобладнаних для роботи на газовому паливі транспортних засобів: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Державний університет «Житомирська політехніка». м. Житомир, 2021. 237 с.
6. Адров Д.С. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур / Д.С. Адров, І.В. Грицук, Ю.В. Прилепський, В.І. Дорошко // Збірник наукових праць ДонІЗТ. №27, ДонІЗТ, Донецьк, 2011. — с. 117 — 125.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ

Погорлецький Д.С., Грицук І.В., Дзигар А.К., Худяков І.В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Підвищення ефективності використання енергетичних та матеріальних ресурсів, одне з найважливіших завдань, що стоять під час експлуатації суден. Актуальність цього завдання підтверджується рішенням Комітету захисту морського середовища Міжнародної морської організації (ІМО), визнавши необхідність розробки індексу ефективності використання енергії при проектуванні суден з метою стимулювання інновації та технічного розвитку всіх елементів, що впливають на ефективне використання енергії на судні. В основі індексу, який рекомендується, лежить безрозмірний конверсійний фактор, враховуючий споживання суднової енергетичної установкою палива. Аналогічний підхід пропонується використовувати під час комплексної оцінки досконалості системи охолодження суднової енергетичної установки (СЕУ) [1–4].

Актуальність дослідження. Системи охолодження сучасних суднових двигунів внутрішнього згоряння (СДВЗ) служать для забезпечення максимально високих техніко-економічних показників експлуатації двигунів винятково на номінальних режимах роботи. Сучасна практика показує, що суднові енергетичні установки експлуатуються тривалий час на часткових режимах навантажень [1–2]. У зв'язку з цим удосконалення і модернізація систем охолодження головних СДВЗ старого та нового покоління є дуже актуальним завданням [1–6].

Постановка задачі. Система охолодження є об'єктом, ресурси якого задля забезпечення надійної, економічної роботи двигуна із задовільними екологічними показниками мало використані. Робочий процес двигуна є, з одного боку, переміщення поршня по циліндру, з іншого боку безперервна зміна стану робочого тіла, характеризується температурою і тиском. Два цих одночасно протікаючих процесу супроводжуються такими явищами, як: вібрації циліндрових втулок, кавітаційно-корозійні руйнування поверхонь, що охолоджуються, накиповиникнення на них, теплообмін між деталями двигуна і теплоносієм. Вплив на процеси теплообміну в порожнинах охолодження дозволяє скоротити теплові втрати з охолоджуючою рідиною, і за рахунок цього підвищити індикаторний ККД двигуна та поліпшити паливну економічність. Додаткове підвищення ефективного ККД може бути досягнуто за рахунок зниження механічних втрат, пов'язаних з прокачуванням теплоносія (охолоджуючої рідини) замкнутими контурами систем охолодження. Збільшення ресурсу деталей ДВЗ, зниження витрати палива в процесі експлуатації підтверджують ефективність рішень, спрямованих на ресурсо- та енергозбереження. Підвищення температурного рівня деталей циліндропоршневої групи сприяє скороченню періоду затримки займання, це позитивно впливає на екологічні характеристики роботи двигуна [1–6].

Результати досліджень. У системах охолодження циліндрів СДВЗ від температури охолоджувальної води в зарубашковому просторі значною мірою залежить температура стінки циліндру, яка, у свою чергу, впливає на перебіг робочого процесу, величину роботи тертя в циліндропоршневій групі та інтенсивність її зносу [2,3,5]. Для двигунів середньої і високої потужності, а також відносно швидкохідних двигунів з підвищенням температури охолоджуючої води ефективна потужність збільшується, це збільшення залежить від типу двигуна та сорту циліндрового масла. Збільшення потужності пов'язане з зменшенням втрат на тертя. При повному навантаженні збільшення температури охолоджуючої рідини, незначно змінює питому витрату палива, а на часткових навантаженнях виявляється зона оптимальної температури, при якій питома витрата палива мінімальна. Підвищення температури охолоджуючої рідини до певних меж зменшує знос циліндропоршневої групи.

Верхня межа температури визначається умовами безпечної роботи двигуна, у зв'язку з застосуванням сірчистих та високов'язких сортів палив, виникає тенденція до підвищення температурного режиму в системі охолодження циліндрів та форсунок у потужних малообертових двигунах до 62...85 °С. Тому система терморегулювання головних суднових двигунів повинна підтримувати постійну температуру охолоджуючої рідини, до 65...80 °С при різних навантаженнях і температурах забортної води. Найбільш прийнятною для таких двигунів нині вважається температура води на виході з двигуна 85 °С (двигуни Wärtsilä-Sulzer, MAN B&W), за якої забезпечується нормальний режим роботи системи охолодження [1–3].

Одним з основних питань, що виникають при використанні того чи іншого варіанту модернізації системи охолодження, є питання про температурний стан та надійність роботи деталей циліндропоршневої групи. Залежно від умов у порожнині охолодження можлива наявність двох різних за характером процесів теплообміну: без зміни агрегатного стану та з зміною агрегатного стану (при загальмованому та при розвиненому поверхневому кипінні). Найчастіше зустрічається процес теплообміну без зміни агрегатного стану. У порожнині охолодження двигуна підтримується тиск, який запобігає паровиділенню на поверхні охолодження. Температура рідини при даному тиску виявляється вищою за температуру в пристінному шарі. Підвищення рівня підтримки температури охолоджуючої води залежить від конструктивних особливостей будови двигуна, сорту циліндрового масла та палива. В менш форсованих двигунах з товстостінними деталями, слідче очікувати меншого впливу режиму охолодження на температуру стінок, ніж у малогабаритних.

У роботі, представлено способи модернізації системи охолодження суднового головного двигуна, та продемонстровано можливості застосування принципу керування терморегулюючими пристроями системи охолодження двигуна MAN-B&W 6S60MC, для підтримання оптимального температурного стану двигуна та системи охолодження. Пропонується застосувати технологію розроблену фірмою MAN-B&W, для збільшення температури охолоджуючої рідини сорочки охолодження циліндрових втулок, для ліквідування та зменшення виникнення низькотемпературної корозії на циліндрових втулках. А саме системи (JBB, JBC) та (LDCL) які можуть бути легко встановлені на двигуни фірми MAN-B&W серії MC, MC-C, ME та двигуни серії G50,80,90, які вже експлуатуються з даними системами. Та додаткова система LDCL з додатковим контуром змішування на двигуні, включаючи насос, триходовий клапан і систему керування, яка встановлюється на двигуни на яких вже встановлені системи JBB і JBC. На даний час низькотемпературна корозія має суттєве значення для двотактних двигунів фірми MAN-B&W за умов роботи на різних видах палива.

- паливо з наднизьким вмістом сірки (ULSFO), не більше 0,10 %;
- паливо з дуже низьким вмістом сірки (VLSFO), не більше ніж 0,50 %;
- мазут, вміст сірки трохи більше 3,50 %.

Правила ІМО 2020 року диктують використання палива з максимумом 0,5 % сірки, коли скруббер не використовується. Робота на паливі з низьким вмістом сірки зменшить корозійний знос до ступеня, коли знос легко контролюється без підвищення температури охолоджуючої рідини. У сервісному листі SL2019-671 було рекомендовано деактивувати систему JBB при використанні до 0,50 % S VLSFO. У цьому листі описано, як деактивувати систему JBB. Зверніть увагу, що вихідний отвір охолоджуючої води двигуна (CWO) можна налаштувати на 85 °С, коли JBB вимкнено. У листі SL2019-671 для системи JBB і системи охолодження гільзи циліндрів (LDCL) робота якої залежить від навантаження на двигун, зазначено, що закриття системи LDCL та деактивації будь-якої системи JBB рекомендується при використанні палива до 0,50 % S VLSFO [1-5].

На (рис.1, а) показана система байпасування охолоджуючої рідини в сорочці охолодження, кількість охолоджуючої рідини, яку потрібно перекачати визначена на стадії проектування та розрахунку системи. Для остаточного налаштування системи та її обслуговування кількість охолоджуючої рідини визначається отворами у вихідних трубах

циліндра. Обхід 85 % охолоджуючої води в сорочці підвищить температуру стінки гільзи приблизно на 15 °C. Крім того, температура охолоджуючої води в сорочці збільшується до 90 °C. Разом досягається підвищення температури стінки гільзи приблизно на 20 °C. Тести показали, що можна байпасувати ще більшу кількість охолоджуючої води. Крім того, розроблена керована версія системи JVB, яка називається JBC, див. (рис.1,б). У цій системі термостатичний клапан контролює кількість байпасованої охолоджуючої рідини таким чином, що при низькому навантаженні на двигун пропускається велика кількість води, а при більш високому менше. Системи JVB і JBC можуть бути обидві легко встановлені на двигуни фірми MAN-B&W, які вже знаходяться в експлуатації. Для новітніх двигунів використовується більш активна система байпасування охолоджуючої рідини. На даний момент ця система є стандартною для нових двигунів MAN-B&W серії S і G 80, 90 і 95.

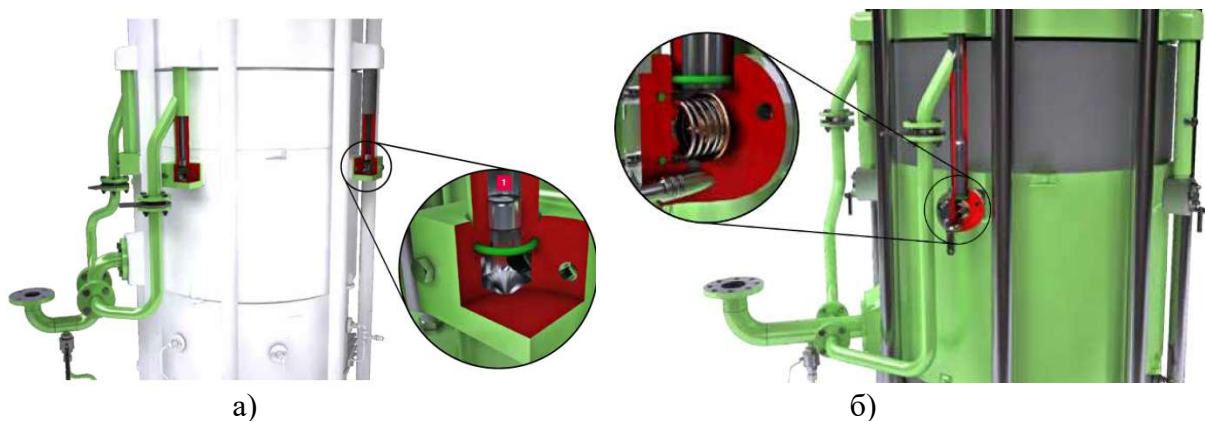


Рисунок 1 — а) Система охолодження сорочки циліндрової втулки Basic (JVB); б) Контроль корозійного зношування за допомогою внутрішньої системи байпасування охолоджуючої води (JBC)

Крім того, було вирішено впровадити систему на майбутніх типах двигунів G50, G60 і G70. Система, показана на (рис.2), складається з двох додаткових труб охолоджуючої води вздовж двигуна. Додатковий насос і додатковий регулюючий клапан забезпечують до 130 °C охолоджуючої води для гільз циліндрів при підтримці 80...90 °C на кришці і випускному клапані. Висока температура на гільзі циліндра підтримується до 90 % навантаження головного двигуна [1–3].

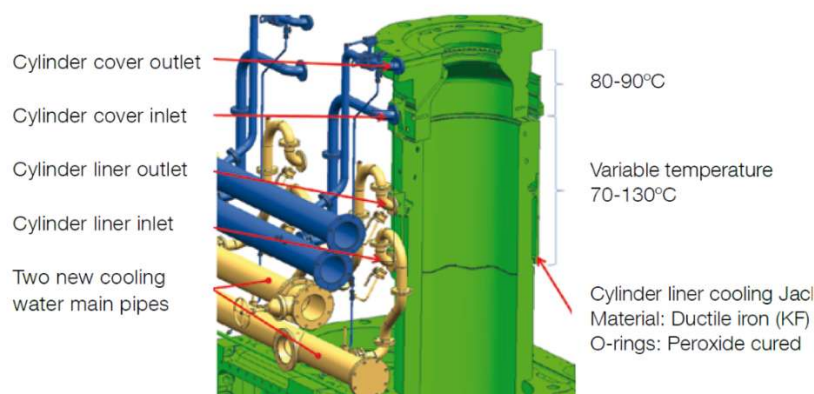


Рисунок 2 — Контроль корозійного зносу: система охолодження з чотирьохтрубною сорочкою — системи охолодження гільзи циліндрів залежно від навантаження (LDCL)

Система LDCL не означає зміну підключення до системи охолодження судна та суднового двигуна. Система LDCL розроблена з додатковим контуром змішування на двигуні, що включає насос, триходовий клапан і систему управління. Температуру води в сорочці гільзи циліндра можливо контролювати відповідно до діаграми на (рис.3).

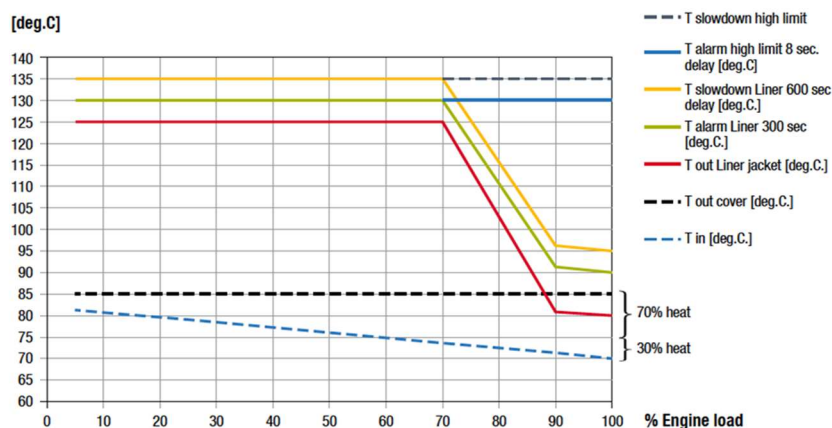


Рисунок 3 — Залежність заданої температури LDCL від навантаження двигуна

Таким чином протидії низькотемпературній корозії гільзи циліндрів протидіють підвищенням температури відкритих частин гільзи циліндрів у допустимих межах шляхом внесення змін до конструкції гільзи циліндрів та внесення змін в систему охолодження циліндрової втулки [1–5]. Принцип роботи системи LDCL полягає в тому, щоб отримати змінну температуру сорочки охолодження циліндрової втулки залежно від навантаження двигуна шляхом введення циркуляційного контуру до системи охолодження сорочки. Цей циркуляційний контур має змінну температуру (до 130 °C), яка контролюється заданим значенням для змінного триходового клапана, уставка визначається навантаженням двигуна. Це означає, що коли двигун працює при низьких навантаженнях, чи при високих навантаженнях двигуна температура буде нормальною.

Висновки. У роботі було розглянуто можливості підвищення ефективності експлуатації суднової енергетичної установки шляхом модернізації системи охолодження та приведено, що основними напрямками для вирішення цієї проблеми є пошук шляхів для покращення температурного стану та надійності роботи деталей циліндропоршневої групи. Запропоновано виконати модернізацію системи охолодження циліндрів по принципу системи LDCL для зменшення впливу та виникнення низькотемпературної корозії. Таким чином протидії низькотемпературній корозії гільзи циліндрів, протидіють підвищенням температури відкритих частин гільзи циліндрів у допустимих межах шляхом внесення змін до конструкції гільзи циліндрів та внесення змін в систему охолодження циліндрової втулки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cylinder components. Properties, applications, materials. — Stuttgart: Vieweg+Teubner, MAHLE GmbH, 2010. — 130 p.
2. Погорлецький Д.С., Грицук І.В., Худяков І.В., Черненко В.В., Поліщук О.В. Особливості протидії низькотемпературній корозії гільзи циліндрів суднових малообертових двигунів. Вісник приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки Вип. 46. p-ISSN: 2225-6733; e-ISSN: 2519-271X.
3. В.А. Бармін., М.В. Романенка. Шляхи зниження тепло напруженості деталей циліндропоршневої групи двигуна // Вісник ЧНУ ім. Володимира Даля. — 2010. — № 6/148. — С. 1–4.
4. Koch F. W. Cooling System Development and Optimization for DI Engines / F. W. Koch, F. G. Haubner.— SAE Technical Paper Series, 2000. — № 2000-01-0283. — 16 p. DOI: 10.4271/2000-01-0283.
5. Churchill R. A. Low-heat rejection engines — a concept review / R. A. Churchill, J. E. Smith, N. N. Clarc, R. A. Turton. — SAE Technical Paper Series, 1989. — № 890153. — Pp. 25–36.

ВПЛИВ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ШУМОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ КРЕМЕНЧУКА ТА ШЛЯХИ ЙОГО МІНІМІЗАЦІЇ

Поліщук Д.В., Алтухов П.М., Демченко О.Д.

*Філія Класичного приватного університету в місті Кременчук
(Україна)*

Вступ. Сучасні міста стикаються зі значною проблемою шумового забруднення, основним джерелом якого є дорожній рух. Постійний шум від транспорту негативно впливає на здоров'я мешканців, знижує якість життя та продуктивність праці. Особливо страждають жителі районів, розташованих поблизу великих магістралей, де рівні шуму часто перевищують допустимі норми. В умовах зростаючої урбанізації та збільшення кількості автотранспорту пошук ефективних методів зниження шуму стає все актуальнішим. У цій статті розглядаються основні джерела транспортного шуму, його вплив на довкілля та здоров'я людей, а також можливі шляхи мінімізації цієї проблеми.

Актуальність досліджень. Транспортний шум у містах стає все більш гострою проблемою — за останніми даними, понад 100 мільйонів європейців постійно живуть у умовах підвищеного шумового фону, причому основне джерело цього шуму (до 80%) становить саме дорожній рух. В українських містах ситуація ще більш тривожна: виміри показують, що рівні шуму біля головних магістралей регулярно перевищують норми на 15–30 дБ, досягаючи 75–85 дБ у пікові години. Особливу загрозу становлять старі вантажівки та автобуси, які генерують на 25–40% більше шуму порівняно з сучасними моделями.

Медичні дослідження доводять, що хронічний вплив такого шуму збільшує ризик серцево-судинних захворювань на 12–15%, порушень сну — на 30%, а у дітей викликає затримку розвитку мовлення на 4–8 місяців. Економічні втрати від цих ефектів оцінюються в 2–3% ВВП щорічно для розвинених країн. Найбільш ефективними методами боротьби виявилися комбіновані підходи: встановлення спеціальних шумозахисних екранів (ефективність 60–75%), перехід на пористі асфальтові покриття (зниження шуму на 15–20%), обмеження швидкості руху до 50 км/год у містах (зменшення рівня шуму на 3–5 дБ) та активне впровадження електромобілів (на 30–40% тихіші за традиційні авто).

Досвід таких країн як Нідерланди та Швеція показує, що системний підхід до цієї проблеми дозволяє за 5–7 років знизити середній рівень міського шуму на 10–15 дБ. В Україні для досягнення подібних результатів необхідно інвестувати близько 200–300 млн євро щорічно в модернізацію транспортної інфраструктури, що дозволить до 2030 року привести рівні шуму у відповідність з європейськими стандартами. Особливу перспективу мають «зелені» технології — шумопоглинальні бар'єри з особливих рослин, які одночасно знижують шум на 6–8 дБ та покращують якість повітря за рахунок поглинання шкідливих речовин [1–3].

Постановка задачі. Метою даного дослідження є комплексний аналіз впливу дорожнього руху на рівень шумового забруднення міста Кременчука та розробка ефективних заходів щодо його мінімізації. Для досягнення цієї мети передбачається провести детальне дослідження рівнів шумового забруднення в різних функціональних зонах міста, зокрема біля магістралей, у житлових кварталах та поблизу соціальних об'єктів, з виявленням основних джерел транспортного шуму. Важливим аспектом дослідження є аналіз впливу таких факторів, як інтенсивність руху, видовий склад транспортного потоку, технічний стан автотранспорту, якість дорожнього покриття та особливості міської забудови на формування шумового режиму. Значний акцент робиться на дослідженні ефективності сучасних методів зниження транспортного шуму, включаючи шумозахисні екрани різних конструкцій, спеціальні акустичні покриття проїзної частини, організаційні заходи з регулювання руху, а також перспективні «зелені» технології шумопоглинання. На основі отриманих результатів планується розробити рекомендації щодо оптимізації шумового режиму в місті Кременчук з урахуванням місцевих особливостей.

Результати досліджень. Під час комплексного дослідження було проведено серію вимірювань рівня шуму (у децибелах, дБ) за допомогою професійного сертифікованого шумоміра класу 1 марки «Sonometр» у п'яти ключових локаціях міста, що характеризуються різним рівнем транспортного навантаження та особливостями міської забудови. Вимірювання проводились протягом 30 діб у зимовий період (січень–лютий 2025 року) в години пікового навантаження (08:00–10:00 ранку та 17:00–19:00 вечора) на стандартній відстані 10 метрів від краю проїжджої частини, на висоті 1,5 метра від рівня землі, що відповідає міжнародним стандартам ISO 1996-1:2016.

Кожен вимір проводився тричі на кожній локації з інтервалом у 15 хвилин, після чого обчислювалось середнє значення. Додатково фіксувались максимальні пікові значення шуму, які виникали під час проїзду великовантажних транспортних засобів або при використанні звукових сигналів. Паралельно проводилось візуальне спостереження за інтенсивністю руху та видовим складом транспортного потоку.

Отримані дані демонструють значну диференціацію рівнів шумового забруднення в залежності від типу вулиці та інтенсивності руху: Проспект Свободи (8 смуг руху, інтенсивність 12 000 авто/добу): середньодобовий рівень шуму: 72 дБ (еквівалентний роботі бензопили); пікові значення: до 85 дБ (при проїзді вантажівок); тривалість перевищення норми: 18 год/добу; основні джерела: вантажівки (38% шуму), автобуси (25%), класони (15%). Вул. Європейська (6 смуг, 8 000 авто/добу): середній рівень: 68 дБ; Піки: 82 дБ; перевищення норми: 14 год/добу; особливості: високий рівень шуму від мотоциклів (до 30% внеску). Вул. Шевченка (4 смуги, 5 000 авто/добу): середній рівень: 65 дБ; піки: 78 дБ; перевищення: 12 год/добу; характерні джерела: різкі гальмування на перехрестях (частість 12 подій/год). Вул. Лісова (2 смуги, 2 000 авто/добу): середній рівень: 58 дБ; піки: 70 дБ; перевищення: 4 год/добу; особливості: рідкісний рух вантажівок (3% потоку). Вул. Тиха (1 смуга, 500 авто/добу): середній рівень: 52 дБ; піки: 65 дБ; відповідність нормі: 22 год/добу; характеристика: переважають легкові авто (92%).

Додаткові спостереження показали, що: вночі (23:00–06:00) рівень шуму знижувався на 15–25 дБ; у вологу погоду спостерігалось збільшення шуму на 2–3 дБ через зміну акустичних властивостей покриття; вихідні дні демонстрували зниження рівнів на 5–8 дБ порівняно з робочими днями.

Ці результати свідчать про пряму кореляцію між інтенсивністю руху, видовим складом транспорту та рівнем шумового забруднення, що підтверджує необхідність розробки диференційованих заходів зі зниження шуму для різних типів міських вулиць.

Результати вимірювань наведені у таблиці.

Таблиця 1 — Рівні шуму на різних вулицях міста

Вулиця	Середній рівень шуму (дБ)	Максимальний рівень (дБ)	Перевищення норми (55 дБ)	Основні джерела шуму
Проспект Свободи	72	85	17	Вантажівки, автобуси, класони
Вул. Європейська	68	82	13	Легкові авто, мотоцикли
Вул. Шевченка	65	78	10	Гальмування, розгін двигунів
Вул. Лісова	58	70	3	Рідкісний рух вантажівок
Вул. Тиха	52	65	-3 (в межах норми)	Переважно легковий транспорт

Висновки. Дослідження рівня шумового забруднення в міських умовах виявило, що найвищий рівень шуму фіксується на Проспекті Свободи — до 85 дБ. Це перевищує

гігієнічні норми та свідчить про значний вплив транспортного потоку на акустичну ситуацію в цій частині міста. Основною причиною є велика кількість вантажного транспорту, який не тільки створює інтенсивне навантаження на дорожню інфраструктуру, а й є серйозним джерелом шуму, зокрема через роботу потужних двигунів, різкі гальмування та звукові сигнали.

Вулиці Європейська та Шевченка також демонструють підвищені рівні шуму. Це пов'язано з інтенсивним транспортним рухом, особливо у години пік, коли спостерігається велике скупчення автомобілів. Часті зупинки та розгони біля світлофорів спричиняють додатковий шум від гальмування, роботи двигунів на холостому ходу та знову ж таки — звукових сигналів. Така ситуація вказує на необхідність удосконалення організації дорожнього руху та технічних заходів для зменшення шумового навантаження на прилеглі території.

У той же час, на вулицях Лісова та Тиха рівні шуму залишаються в межах допустимих норм або навіть нижче них. Це свідчить про прямий зв'язок між щільністю транспортного потоку та рівнем акустичного забруднення. Менший рух транспортних засобів, відсутність інтенсивного гальмування та загалом спокійніші дорожні умови сприяють підтриманню комфортного звукового середовища для мешканців.

Враховуючи виявлені проблемні зони, доцільно впровадити низку заходів для покращення ситуації. Зокрема, встановлення шумозахисних екранів уздовж Проспекту Свободи допоможе зменшити негативний вплив шуму на житлову забудову. Для вулиць Гагаріна та Шевченка рекомендовано запровадити обмеження швидкості до 50 км/год, що дозволить зменшити інтенсивність шуму від двигунів та гальмування. Окрім того, варто розглянути застосування пористого асфальту, який ефективно знижує рівень шуму від контакту шин із дорожнім покриттям, забезпечуючи більш комфортні умови для проживання в міських районах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Єфіменко В. І. Кривий-Ріг — моє місто : науково-дослідний посібник з питань екологотехногенного стану середовища міста, його промислових і будівельних об'єктів / В. І. Єфіменко, В. В. Єфіменко, А. М. Шестаков. — Кривий Ріг : Етюд-Сервис, 2005. — С. 23.
2. Дітяшова І. Вплив шумового забруднення на урбосистеми на стан здоров'я людей / І. Дітяшова [електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://oldconf.neasmo.org.ua>
3. Комплексна еколого-гігієнічна оцінка стану навколишнього середовища та здоров'я населення Кривбасу і розроблення оздоровчих заходів / А. Ю. Лисий, В. А. Місюра, С. А. Риженко, В. Г. Капшук // Вісник КТУ : збірник наук. праць - Кривий Ріг, 2008. — Вип. 20. — С. 204–209.

ВПРОВАДЖЕННЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОГЕНЕРУВАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ОБ'ЄКТАХ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ

Продащук С.М., Кім К.В., Квасов П.В., Продащук М.В.

*Український державний університет залізничного транспорту
(Україна)*

Вступ. В умовах повномасштабної війни проти України особливої гостроти набуло питання енергетичної безпеки держави. Регулярні цілеспрямовані атаки з боку російської федерації на критичну енергетичну інфраструктуру, зокрема на теплові електростанції, підстанції, лінії електропередач, створюють суттєві ризики для стабільного енергопостачання як побутових споживачів, так і промислових об'єктів. Така ситуація вимагає перегляду традиційного підходу до формування енергетичної системи країни.

Тому актуальним є перехід від централізованої моделі енергопостачання до децентралізованої. Одним із ефективних рішень є впровадження розподіленої генерації на основі сонячних електростанцій. Використання таких систем на об'єктах залізничної інфраструктури дозволяє підвищити енергетичну стійкість, зменшити залежність від централізованого енергопостачання, скоротити витрати та викиди CO₂ [1].

Актуальність досліджень. З метою зниження навантаження на енергетичну систему України в умовах воєнного часу особливої значущості набуває впровадження локальних заходів енергозбереження та розробка альтернативних джерел електрогенерації, зокрема на основі відновлюваних джерел енергії.

Постановка задачі. Метою дослідження є обґрунтування доцільності впровадження децентралізованих сонячних електрогенерувальних систем (СЕС) на об'єктах залізничної інфраструктури.

Залізничні вокзали та станції функціонують безперервно та мають значне енергоспоживання, тому перш за все необхідно провести вишукування та визначити основні місця, де електроенергія може бути збережена. За необхідності, необхідно замінити вікна, двері, утеплити стіни — ці методи дадуть змогу зменшити тепловтрати взимку та теплонадходження влітку, через що кліматичні системи у будівлі менше працюватимуть та будуть використовувати менше електроенергії.

Разом з цими методами зменшення витрат електроенергії також доцільно впроваджувати децентралізовані системи електрогенерації, які дадуть змогу зменшити навантаження на централізовані системи. Таким чином доцільно розглянути проектування сонячних електрогенеруючих систем на будівлях залізничних станцій та вокзалів. Вдалий клімат дає змогу працювати такій системі на протязі всього року, що дає змогу зменшити термін окупності системи.

Також такі системи не забруднюють навколишнє середовище у зв'язку з викидами CO₂. Зменшення викидів CO₂ є ключовим фактором у боротьбі зі зміною клімату та збереженні навколишнього середовища. Встановлення сонячних панелей допомагає значно знизити викиди CO₂ в атмосферу, оскільки вона замінює використання вугілля, газу та нафти для виробництва електроенергії [2].

У світлий час доби така система зможе згенерувати, в середньому з 1 кв. метру площі сонячної панелі, близько 120 Вт корисної потужності. До складу системи також необхідно впровадити акумуляторні батареї, які дадуть змогу накопичувати електроенергію для подальшого використання у періоди відсутності сонячних променів. Тобто, вдень система буде генерувати та передавати електроенергію на споживчі пристрої та системи, а вільну електроенергію направляти на зберігання до акумуляторних батарей.

Зовнішні чинники, що впливають на ефективність сонячних батарей: забруднення поверхні сонячної батареї призводить до зменшення кількості сонячних променів, що

досягають напівпровідникового матеріалу, що, в свою чергу, знижує продуктивність системи; потрапляння тіні на поверхню сонячної панелі знижує її здатність до генерації електричного струму, оскільки тінь перешкоджає поглинанню сонячної енергії; підвищення температури на поверхні сонячної батареї спричиняє значне зниження її продуктивності; максимальна ефективність генерації досягається, коли сонячні промені падають строго перпендикулярно до поверхні панелі, що забезпечує оптимальне поглинання енергії [3].

Результати досліджень. У сучасних умовах зростання світового споживання електроенергії та наближення України до повноцінного впровадження ринкових тарифів дедалі гострішим стає питання вартості електропостачання. Згідно з офіційним рішенням НКРЕКП, з 2025 року для АТ «Харківобленерго» встановлено такі тарифи на послуги з розподілу електричної енергії: для споживачів першого класу напруги — 491,82 грн/МВт·год, другого класу — 2015,04 грн/МВт·год (без ПДВ). У порівнянні з 2022 роком ці показники зросли відповідно на 57 % і 53 %. Враховуючи таку динаміку цін, впровадження сонячних електрогенеруючих систем на об'єктах інфраструктури, зокрема залізничній, є економічно доцільним, оскільки сприяє зменшенню витрат на централізоване електропостачання та скороченню строків окупності інвестицій [4].

У ході проведеного аналізу було обґрунтовано доцільність впровадження систем розподіленої генерації на базі сонячних електростанцій для об'єктів залізничної інфраструктури (таблиці 1,2).

Таблиця 1 — Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності впровадження СЕС на будівлях залізничної інфраструктури

Показник	Значення
Доступна площа для встановлення СЕС	200 м ²
Потужність 1 м ² панелі	120 Вт (0,12 кВт)
Середня кількість сонячних годин на день	4 год/добу
Тариф на електроенергію (НКРЕКП, 2025 р., 2 клас)	2,015 грн/кВт·год
Вартість обладнання та монтажу 1 кВт СЕС (800 \$/кВт)	32000 грн/кВт
Термін служби системи	20–25 років
Потенційне скорочення викидів CO ₂	0,4–0,45 кг/кВт·год

Таблиця 2 — Оцінка економічної ефективності впровадження СЕС на будівлях залізничної інфраструктури

Показник	Розрахунок	Значення
Загальна встановлена потужність	$200 \times 0,12$	24 кВт
Добова генерація електроенергії	24×4	96 кВтгод/доба
Річна генерація електроенергії	96×365	35040 кВт·год
Річна економія витрат на електроенергію	$35040 \times 2,015$	70560 грн
Вартість встановлення	$24 \times 800 \times 40$	768000 грн
Орієнтовний термін окупності	$768000/70560$	10,9 років
Скорочення викидів CO ₂	$35040 \times (0,4 \dots 0,45 \text{ кг/кВтгод})$	14–16 тонн/рік
Загальна встановлена потужність	$200 \times 0,12$	24 кВт
Добова генерація електроенергії	24×4	96 кВт·год/доба

Завдяки поєднанню заходів з енергоефективності (ЕЕ) (теплоізоляція, модернізація освітлення та кліматичного обладнання) із застосуванням СЕС можливо досягти скорочення споживання електроенергії до 30–40 % на рік. При поточному річному енергоспоживанні 100000 кВт·год річне споживання електроенергії може зменшитись до 70000–60000 кВт·год. Це дозволяє СЕС (із генерацією 35040 кВт·год/рік) покривати 50–58% потреб (таблиця 3).

Таблиця 3 — Порівняння ефективності впровадження СЕС з енергоефективними заходами при різних рівнях скорочення споживання електроенергії

Показник	Рівні скорочення електроспоживання	
	30%	40%
Річне споживання після зниження, кВт·год	70000	60000
Частка покриття СЕС, %	50,1 %	58,4 %
Частка покриття СЕС (їх генерує однакова кількість), кВт·год	35040	
Річна економія від СЕС (їх генерує однакова кількість), грн/рік	70560	
Економія від ЕЕ заходів, кВт·год	30000	40000
Економія від ЕЕ, грн/рік	60450	80600
Загальна річна економія, грн	131010	151160
Орієнтовна окупність проекту, років	≈5,86	≈5,08

СЕС у поєднанні з енергоефективними заходами дозволяє досягти щорічної економії до 150 тис. грн, при цьому частка покриття енергоспоживання може сягати до 58%. Завдяки зниженню річного споживання електроенергії на 30–40% термін окупності може скоротитися. Якщо додатково врахувати щорічне підвищення тарифів на електроенергію (близько 10%), оптимізацію споживання (що дозволяє обрати СЕС меншої потужності та зменшити капітальні витрати), а також можливість отримання податкових пільг, грантів чи донорського фінансування (що здешевлює СЕС на 25–30%, ≈538000–614000 грн), то орієнтовний термін окупності може зменшитися до 5–7 років.

Проаналізовано зовнішні чинники, які впливають на ефективність роботи СЕС, зокрема — запиленість, затінення, температурні коливання та орієнтацію панелей. З урахуванням кліматичних умов більшості регіонів України встановлено доцільність південної орієнтації панелей під кутом 30–35° як найбільш ефективної.

Оцінка економічної ефективності показала, що орієнтовний термін окупності проекту становить 5–7 років залежно від рівня споживання електроенергії, площі встановлених панелей і вартості обладнання. Враховуючи тенденцію до зростання тарифів на електроенергію, впровадження таких систем дозволяє зменшити експлуатаційні витрати, підвищити енергетичну незалежність об'єкта, а також скоротити викиди CO₂ приблизно на 14–16 тонн на рік і зменшення навантаження на централізовану електромережу до 35 МВт·год щороку.

Висновки. У сучасних умовах стрімкого зростання вартості електроенергії та необхідності підвищення енергетичної ефективності, використання альтернативних джерел енергії на об'єктах залізничної інфраструктури набуває особливої актуальності. Залізничні вокзали є енергоємними об'єктами, що потребують постійного електропостачання для освітлення, вентиляції, кондиціонування, функціонування ліфтів, ескалаторів та іншого обладнання.

Встановлення автономних систем генерації енергії на базі відновлюваних джерел дозволяє значно знизити залежність від централізованого енергопостачання, оптимізувати експлуатаційні витрати та забезпечити безперервність роботи інфраструктурних об'єктів. Одним з ефективних рішень є розміщення сонячних батарей безпосередньо на дахах або фасадах будівель залізничної інфраструктури, що дає змогу максимально ефективно використовувати доступні площі без додаткового відведення землі.

Крім того, використання екологічно чистої енергії відповідає сучасному розвитку та сприяє зменшенню негативного впливу залізничного транспорту на довкілля. Таким чином, впровадження сонячної енергогенерації у транспортній галузі є доцільним як з економічної, так і з екологічної точки зору, що забезпечує довгострокову вигоду для операторів залізничної інфраструктури та держави загалом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Енергетична децентралізація: чому про неї слід думати в першу чергу? URL: https://lb.ua/blog/mykhaylo_pozhyvanov/646038_energetichna_detsentralizatsiya_chomu.html
2. Екологічний вплив від використання сонячних панелей: Переваги порівняно з традиційними джерелами енергії. URL: <https://sayanukr.com.ua/ua/a498320-ekologicheskoe-vozdejstvie-ispolzovaniya.html?srsId=AfmBOop5OME6xliiwIszt3TXAU7GeWuwOLBivirZTwbjXJQwxc9Raaoc>
3. Плюси та мінуси використання сонячних панелей. URL: <https://mastershin.com.ua/plyusi-ta-minusi-vikoristannya-sonyachnih-panelej/>
4. Про встановлення тарифів на послуги з розподілу електричної енергії АТ «ХАРКІВОБЛЕНЕРГО» із застосуванням стимулюючого регулювання. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v2220874-24#Text>

НАДЛИШКОВІ ЗВ'ЯЗКИ В МЕХАНІЗМАХ КРАНОВИХ ГАЛЬМ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ УСУНЕННЯ

Проценко В.О.

*Херсонський національний технічний університет
(Україна)*

Вступ. На сьогодні широко розповсюдженими в кранах є гальма барабанного типу, для яких характерним недоліком є перегрів. Більш перспективними є механізми дискового типу, що краще охолоджуються та забезпечують високі значення гальмівних зусиль. Елементи дискових гальм є високонапруженими, що потребує забезпечення рівномірного розподілу зусиль між їх елементами під час роботи за наявності похибок виготовлення, зносу чи термічного жолоблення.

Актуальність дослідження. Дослідженню структури та виключенню надлишкових зв'язків у механізмах кранових гальм присвячено не так багато робіт. Так, у роботі [1] розглянуто важільні механізми барабанних гальм з електрогідравлічним та електромагнітним штовхачем, проте самі ці елементи при складанні структурної схеми гальма не враховано. У роботі [2] цей пробіл у дослідженні барабанних гальм частково заповнено, але структура дискових гальм на сьогодні залишається дослідженою недостатньо.

Результати досліджень. Безвідмовність гальмівних механізмів вантажопідіймальних та транспортних машин напряму пов'язана з безпекою їх експлуатації. Так, для дискових гальм типу Vulkan, що широко застосовуються в вантажопідіймальних кранах, структурний аналіз показав:

- механізм має $q = 11$ надлишкових зв'язків;
- більшість надлишкових зв'язків є кутовими, вони вимагають високої точності виготовлення деталей гальма та його складання, а також контролю його параметрів при експлуатації. Компенсація наявності надлишкових зв'язків зазвичай виконується збільшенням зазорів у кінематичних парах, що призводить до запізнення спрацьовування гальма;
- частина надлишкових зв'язків унеможлиблює самовстановлення гальмівних колодок по торцях гальмівного диска. За наявності його торцевого биття це може стати причиною коливання величини гальмівного моменту під час гальмування та опору обертанню диску при розгальмованому гальмі. Це може стати причиною появи додаткових динамічних навантажень у приводі та зниження втомної міцності деталей.

Висновки. Запропоновано два можливих варіанти модифікації структури механізму дискового гальма, що дадуть можливість позбавити його надлишкових зв'язків. Перший варіант потребує застосування в опорах колодок сферичних пар із пальцями, що може бути складно конструктивно через обмежені габарити цього з'єднання. Другий варіант передбачає встановлення на сферичні опори важелів гальмівних колодок.

Розроблені технічні рішення захищені патентом [3].

ЛІТЕРАТУРА

1. Смирнов Г.Ф., Избыточные связи в крановых колодочных тормозах / Г.Ф. Смирнов, П.И. Штыцко, А.П. Иванова // Підйомно-транспортна техніка. Науково-технічний та виробничий журнал. — Вип. 2 (22). — Дніпропетровськ, 2007. — С. 92–98.
2. Самойленко Л.К. Про структуру механізму колодкового гальма і підвищення його надійності / Л.К. Самойленко, В.О. Проценко // Науковий вісник Херсонського державного морського інституту. — Херсон: ХДМІ. — 2010. — № 2(3) — С. 211–216.
3. Патент на корисну модель МПК В66D 5/20 // F16D 49/16, № 158355. Дискове гальмо крана. Патентовласник: Херсонський національний технічний університет. Авт.: Проценко В.О., Малащенко В.О., Войтович О.А., заявка [u202403698](#) від 18.07.2024, опубл. 22.01.2025, Бюл. №4.

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛАСТОМІРНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПЛАСТИНЧАСТИХ РУШІЇВ РУХОВОЇ ПРОПУЛЬСИВНОЇ УСТАНОВКИ

Самохвалов В. С., Шостак В. П., Воїнов О. П., Кобалава Г. О.

Херсонський навчально-науковий інститут

*Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)*

Вступ. Під час руху судна відбувається безперервна трансформація енергетичних потоків. В тепловому двигуні хімічна енергія палива при його спалюванні спочатку перетворюється в теплову енергію, а потім теплова енергія перетворюється в механічну енергію, яка і надходить до рушія. Завдяки рушію підведена до нього механічна енергія забезпечує переміщення судна. Але не вся механічна енергія витрачається на переміщення судна, або, як кажуть, забезпечує тягу судну. Деяка її частина витрачається на перебовтування води, створюючи так званий кільватерний слід. І чим цей слід виразніший, тим більша частина енергії витрачається даремно. Як відомо, безслідно енергія не зникає. В даному випадку механічна енергія, яка не була використана для забезпечення руху судна, буде використана на нагрівання води.

Таким чином, кільватерний слід як лакмусовий папірець дозволяє оцінювати ступінь досконалості рушія. І якщо спостерігати за рухом риб, то можна помітити, що у них кільватерний слід майже відсутній. Це і привернуло свого часу увагу професора Сліжевського М. Б. із Національного університету кораблебудування до вивчення способів плавання гідробіонтів. Але ані математичних моделей, які б описували рух гідробіонтів, ані експериментальних досліджень не було зроблено.

Актуальність роботи. Плаваючі засоби здійснюють прямолінійні рухи, а рушій (гвинти, колеса) — обертотві. Така трансформація механічної енергії призводить до її втрат. До того ж, в живій природі, яка мільйони років пристосувалася до оточуючого середовища, переміщення у воді відбувається без здійснення обертотвих рухів рушіями [1].

Дотримання енергозберігаючої політики завжди має позитивний вплив на оточуюче середовище, а також сприяє заощадженню експлуатаційних витрат на пальне та подовжує ресурс енергетичного обладнання.

Актуальним є дослідження питання енергозбереження на водному транспорті за рахунок вдосконалення суднових рушіїв шляхом вивчення параметрів руху пластинчастого рушія та його властивостей, параметрів руху суднової моделі пропульсивного комплексу з пластинчастим рушієм, визначення зв'язку між формою, розмірами та пружністю пластинчастого рушія з еластомірного матеріалу і розміром тяги, яку він створює, та розгляду можливостей використання в складі рушіїв пластин з еластомірних матеріалів.

Постановка задачі. Для вирішення завдання енергозбереження на водному транспорті шляхом вдосконалення суднових рушіїв необхідно проаналізувати історичний розвиток теоретичних досліджень, пов'язаних із застосуванням пластинчастих рушіїв, методично обґрунтувати виконання експериментальних досліджень; проаналізувати результати порівняльного аналізу запропонованих та існуючих технічних рішень, а для цього визначити пружність дослідних зразків еластомірних пластин, які використовувалися для виготовлення рушіїв, визначити вплив розмірів і пружності еластомірних пластин рушія на створену ними тягу, визначити основні напрямки вдосконалення пластинчастих суднових рушіїв.

Результати досліджень. Український інженер-кораблебудівник Костенко В. П. (1881–1956) розробив теорію руху риб, зокрема, розглядаючи вигин хвоста риби як вібруючу пластину, і на основі цього побудував вібраційний гнучкий рушій, дія якого ґрунтується на законах теорії пружності. Але в ті часи важко було вибрати абсолютно гнучкий матеріал з необхідними механічними властивостями, а саме не схильний до явищ втоми, і який має максимальну пружність. З того часу пройшло майже сто років і, на нашу

думку, сьогодні таким вимогам в повній мірі відповідають еластоміри. За цей час еластоміри успішно використовують в якості рушіїв на автомобільному транспорті.

У Національному університеті кораблебудування продовжують вдосконалювати пластинчасті рушії. Так у технічному рішенні [1] запропоновано пластинчастий рушій розмістити в секторальному каналі, а для приводу використовувати вільнопоршневий генератор газів.

Подальше вдосконалення пропульсивних комплексів з пластинчастими рушійми викладено в [2], де запропоновано використовувати лінійні електричні двигуни.

Враховуючи виклики часу, які вимагають для морських бойових дронів такі пропульсивні комплекси, для яких притаманна акустична мімікрія [3] і економічність, в дослідженні визначено зв'язок між формою, розмірами і пружністю пластинчастого рушія із еластомірного матеріалу та величиною тяги, яку він створює. Для цього визначено гнучкість дослідних зразків еластомірних пластин; розроблено та побудовано макет пристрою пропульсивного комплексу для оцінки упору, який здатний створити пластинчастий еластомірний рушій; проведено швартові та ходові випробування макету пропульсивного комплексу, до складу якого входить рушій на основі еластомірних пластин.

Отримали з закону Гука вираз для визначення модуля пружності еластомірних пластин рушія за формулою:

$$E = \frac{F \cdot l}{S \cdot \lambda},$$

де E — модуль Юнга; F — сила пружності, яка згинає еластомірну пластину; S — площа поперечного перерізу пластини; l — довжина пластини; λ — абсолютна деформація, яка визначається стрілкою прогину.

Було створено експериментальну установку для визначення пружності дослідних зразків еластомірних пластин, які були використані в якості робочих лопатей рушіїв як окремо так і комбіновано, та проведено експеримент. Модуль пружності змінювався в межах $2,42 \cdot 10^3$ – $56,2 \cdot 10^3$ Н/м².

Для оцінки величини тяги, яку створюють пластинчасті рушії з еластомірних матеріалів, побудовано діючий макет рухової пропульсивної установки [4]. Упор змінювався в межах 0,1–0,25 Н.

Вимірювання частоти коливань рушія з еластомірними пластинами здійснювалися за допомогою безконтактного лазерного тахометру пістолетного типу. Частота коливань пластини рушія складала 200 коливань за хвилину.

Висновки.

1. Розроблено та виготовлено діючий макет пропульсивної установки з еластомірними пластинчастими рушійми.
2. Встановлений зв'язок між формою, розміром та пружністю еластомірних пластин рушія та вплив цих характеристик на тягу, яку вони створюють.
3. Запропонований для наступних досліджень трилопатевий пластинчастий рушій.
4. Заміну і ремонт пластинчастих рушіїв можна виконувати без докування судна.
5. Вартість пластинчастого рушія значно нижча ніж гвинта.
6. Технологія виготовлення пластинчастих рушіїв значно простіша ніж гвинтів.
7. Мілководдя та засмічені водоймища не чинять перешкод для судна, оснащеного пластинчастими рушійми.
8. Для суден з пластинчастими рушійми притаманна акустична мімікрія.

ЛІТЕРАТУРА

1. Патент України №18438 U. Гідрореактивний судовий двигун / Самохвалов В. С., Ткаченко С. Г., Цвікліс В. С., Багненко М. Ю., Маханько О. В. МПК В63Н 11/00. Заявл. 18.04.2006 № u200604326. Опубл. 15.11.2006. Бюл. №11.
2. Патент України №157595 U. Суднова рухова гідрореактивна установка / Воїнов О. П., Воїнова С. О., Самохвалов І. Є., Самохвалов В. С., Шостак В. П. МПК В63Н 11/00. Заявл. 07.11.2023 № u202305282. Опубл. 06.11.2024. Бюл. №45.

3. Самохвалов В. С., Воінов О. П., Воінова С. О., Кобалава Г. О. Шляхи вдосконалення пропульсивних комплексів морських бойових дронів: матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (MINTT-2023), Херсон, 24–25 травня 2023 р. — С. 131–132.

4. Діючий макет рухової пропульсивної установки [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://youtube.com/shorts/FvyPzC3My9c?feature=share>. — Назва з екрана.

ВИСОКОВОЛЬТНІ СИСТЕМИ: КЛЮЧ ДО ЕФЕКТИВНОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО СУДНОПЛАВСТВА

Топалов О.І., Дощенко Г.Г.
Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. В умовах стрімкої електрифікації судноплавства та зростання вимог до екологічності, високовольтні системи відіграють ключову роль у забезпеченні ефективності та безпеки суден. Ми обговоримо основні тенденції розвитку цієї галузі, виклики, що постають перед нами, та інноваційні рішення, які дозволяють їх подолати.

Сучасне суднобудування перебуває на порозі революційних змін, де електрифікація та автоматизація стають ключовими драйверами розвитку. Високовольтні системи відіграють вирішальну роль у цьому процесі, забезпечуючи живлення потужних установок і сприяючи підвищенню ефективності суден.

Завдання зниження втрат в потужності електрообладнання сьогодні особливо актуальна з причини високих цін на паливо, тому застосування високої напруги для потужного суднового електрообладнання стало нормою.

Актуальність досліджень. Зростання енергоозброєності морських суден, обумовлений в першу чергу застосуванням потужних електроприводів в електричному русі, підрулюючих пристроях, вантажних насосах та інших механізмах, зажадав переходу від звичайної трифазної напруги 440 V до високовольтних систем не дивлячись на те, що вартість низьковольтного обладнання та його установка, в порівнянні з високовольтним, є відносно низькою, і експлуатація його не вимагає високого рівня кваліфікації для безпечної роботи. Проте, коли мова йде про потужні електроприводи, то такі критерії, як падіння напруги і втрати у лінії стають визначальними у виборі величини напруги живлення на судах.

Зростання вимог до екологічності та зниження викидів шкідливих речовин стимулює розвиток гібридних та повністю електричних суден. Це, своєю чергою, призводить до збільшення потужності суднових систем і необхідності використання високовольтних технологій [1].

Основні тенденції розвитку включають:

- використання систем накопичення енергії: Акумулятори та супер конденсатори стають невід'ємною частиною сучасних суднових систем, забезпечуючи резервне живлення та можливість використання енергії, накопиченої з відновлюваних джерел.

- Інтеграція відновлюваних джерел енергії: Сонячні панелі та вітрові турбіни все частіше використовуються на судах для зниження залежності від традиційних джерел палива.

- Розвиток інтелектуальних систем керування та моніторингу: Цифрові технології дозволяють оптимізувати роботу високовольтних систем, підвищуючи їх ефективність та безпеку.

Однак, розвиток високовольтних технологій також пов'язаний з певними викликами, такими як забезпечення безпеки, оптимізація енергоспоживання та підготовка кваліфікованого персоналу.

Постановка задачі. Задачею даної роботи було показати дослідження розвитку використання високовольтних суднових систем в напрямку покращення екологічності та зниження викидів шкідливих речовин, які в свою чергу пов'язані з забезпеченням безпеки, оптимізації енергоспоживання та підготовкою кваліфікованого персоналу.

Результати досліджень. Безпека є найважливішим аспектом при роботі з високовольтними системами на судах. Міжнародні стандарти, такі як IEC та ISO, а також правила класифікаційних товариств, встановлюють жорсткі вимоги до проектування,

встановлення та експлуатації суднових високовольтних установок [2–3]. На рис.1 наведено схему розташування обладнання.

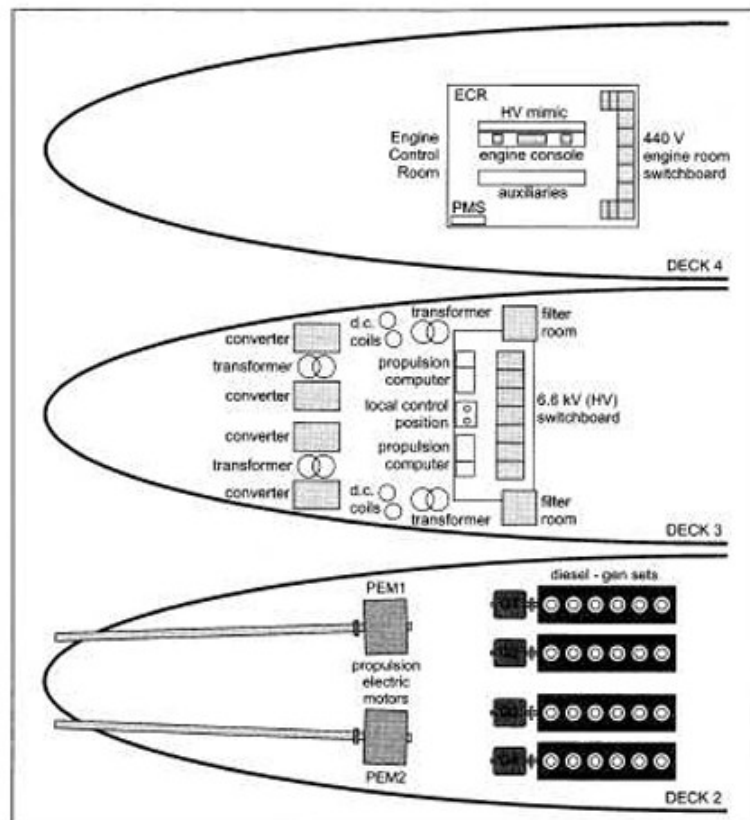


Рисунок 1 — Схема розташування обладнання електрохода з генераторами високої напруги:

HV- high voltage — висока напруга; Engine Control Room (ECR) — центральний пост управління ЦПУ; Power Management System (PMS) — система управління потужністю; 440 V engine room switchboard — щит 440 В у машинному відділенні; DECK — палуба;

Converter — перетворювач; Transformer — трансформатор; d.c.coils — реактори; propulsion computer — комп'ютер керування електрорухом; local control position — пост місцевого управління; filter room – приміщення фільтрів; 6.6 kV (HV) switchboard — розподільний щит 6,6 кВ високої напруги; Propulsion electric motors (PEM) — гребні електродвигуни; Diesel gen sets — дизель-генератори

Належний рівень безпечної експлуатації суднового електрообладнання досягається особами, які мають достатні технічні знання за своїми функціональними обов'язками, що дозволяє їм уникати небезпеки.

Беручи до уваги те, що на даний час вкрай недостатньо суднового персоналу, компетентного в цій галузі, виникла гостра необхідність в організації та проведенні спеціальних курсів доподготовки суднових механіків і електромеханіків, які працювали на суднах з низьковольтним обладнанням і планованих для роботи на суднах з високовольтним обладнанням. Крім технічних аспектів своєї роботи, повинні за час підготовки ознайомитися з процедурами, правилами і документами безпеки, за якими вони працюють, а також ясно зрозуміти відповідальність щодо забезпечення безпеки та безпечної роботи з високовольтним обладнанням [4].

Основні ризики, які пов'язані з використанням високої напруги на суднах, включають:

електричні удари та ураження, виникнення пожеж та вибухів, електромагнітні випромінювання тощо.

Для мінімізації цих ризиків необхідно вживати суворих заходів безпеки, таких як використання ізоляційних матеріалів, захисного обладнання, систем захисту від перевантажень та коротких замикань, а також регулярне навчання обслуговуючого персоналу.

Високовольтні системи дозволяють значно підвищити ефективність судна та знизити витрати палива. Використання високовольтних електродвигунів для головної силової установки, а також для живлення вантажних насосів та підрулюючих пристроїв, дозволяє оптимізувати енергоспоживання [5].

Додаткові методи оптимізації енергоспоживання включають: використання систем керування енергоспоживанням, використання систем рекуперації енергії, оптимізація роботи суднових генераторів, інтеграція високовольтних систем з іншими судновими системами та використання відновлюваних джерел енергії.

Сучасні технології, такі як силова електроніка, частотні перетворювачі та цифрові системи керування, відкривають нові можливості для розвитку високовольтних суднових систем.

Основні напрямки інновацій у використанні суднових високовольтних систем включають: розвиток систем автоматизації та дистанційного керування, використання цифрових технологій для моніторингу та діагностики, розвиток електричних та гібридних силових установок та розвиток систем накопичення енергії та відновлюваних джерел енергії.

Висновки. Сучасне суднобудування переживає революційні зміни, де електрифікація та автоматизація стають ключовими драйверами розвитку в цій галузі. Виходячи з усього вище сказаного, можна прогнозувати перспективи подальшого розвитку використання високовольтних систем, які є основою для ефективного живлення потужних установок на судах. Не малу роль в сучасному житті грає екологічність при експлуатації судового високовольтного обладнання, так як це призводить до зниження викидів шкідливих речовин у повітря.

Ці висновки підкреслюють важливість використання високовольтних систем у сучасному суднобудуванні, а також необхідність комплексного підходу до їх широкого впровадження, що включає безпеку, ефективність та підготовку обслуговуючого персоналу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Holtzhausen K. High Voltage Engineering — Practice and Theory / K. Holtzhausen, W. Vosloo, 2011. — 157 p.
2. BV — Bureau Veritas [Електронний ресурс] / Бюро Веритас (БВ). — Режим доступу: <http://www.bureauveritas.com>, вільний.
3. Det Norske Veritas (DNV) [Електронний ресурс] / Норвезьке класифікаційне суспільство. — Режим доступу: <https://www.dnvgl.com>, вільний.
4. Бодашко В. В. Високовольтні технології в морській електроінженерії: монографія / В. В. Бодашко, О. М. Піпченко, В. В. Пономаренко, В. А. Шевченко. — Одеса: НУ «ОМА», 2020. — 398 с.
5. Д.В. Умяров, О.С. Хватов, Д.В. Литов, В.В. Гуляев Состояние и перспективы развития систем судового электродвижения. // Конгресс Международного форума «Великие реки», 2013. — С. 421–424.

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ДУНАЮ: АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ПОДОЛАННЯ

Шапишалов І.В., Панченко І.М.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Дунай — одна з найважливіших водних артерій Європи, що протікає через десять країн і має величезне екологічне, економічне та соціальне значення. Його басейн забезпечує мільйони людей водними ресурсами, підтримує біорізноманіття та є основою для розвитку промисловості й сільського господарства. Проте стрімке економічне зростання, недостатній контроль за скиданням відходів і неефективна система очищення вод спричиняють серйозні загрози для екологічного стану річки. Забруднення Дунаю набуло комплексного характеру та потребує всебічного аналізу й розробки ефективних заходів щодо його подолання.

Актуальність дослідження. Екологічний стан басейну Дунаю безпосередньо впливає на якість життя населення багатьох країн Європи та є визначальним для збереження унікальних природних екосистем регіону. Сучасні виклики, пов'язані із забрудненням промисловими, сільськогосподарськими та побутовими стоками, посилюються внаслідок кліматичних змін і зростання антропогенного навантаження. Тому дослідження джерел забруднення, їх наслідків і шляхів подолання є вкрай важливим для розробки дієвих механізмів охорони навколишнього середовища, зокрема в рамках міжнародної співпраці.

Постановка задачі. Мета даної роботи — проаналізувати основні джерела забруднення басейну Дунаю, визначити їх екологічні, економічні та соціальні наслідки, а також запропонувати шляхи подолання існуючих проблем. Завдання полягає у виявленні ключових факторів забруднення, оцінці ефективності чинних екологічних заходів та напрацюванні рекомендацій щодо удосконалення системи контролю за станом водних ресурсів Дунаю на національному й міжнародному рівнях.

Результати досліджень. Контроль за дотриманням норм скидання відходів у Дунай завжди був важливою темою для країн, через які протікає ця річка. Дунай є другою за довжиною річкою в Європі і протікає через 10 країн, тому питання екологічної безпеки в його басейні має міжнародне значення. Забруднення Дунаю має комплексний характер і спричиняється кількома факторами. Розглянемо їх детальніше.

По-перше, це промислові відходи. Багато металургійних та текстильних підприємств розташовані вздовж берегів Дунаю, і відбуваються скидання у річку небезпечних речовин, таких як важкі метали, нафтові продукти та токсини. Наприклад, як повідомляла «Зелена Хвиля», в Угорщині сталася масштабна екологічна катастрофа з виливом небезпечних відходів алюмінієвого виробництва. Всесвітній фонд природи в Угорщині повідомляє, що суміш шламу та води із високим вмістом лугів потрапила в притоки Дунаю й викликала підвищення рівня лужності у водоймах. Рівень рН досягав 9,3 при нормі 6–8 [1].

По-друге, це сільськогосподарські стоки. Використання хімічних добрив і пестицидів у сільському господарстві призводить до потрапляння нітратів і фосфатів у води Дунаю. Це сприяє евтрофікації річки та загибелі водної фауни.

По-третє, у багатьох містах та селищах вздовж річки відсутні сучасні системи очищення стічних вод, що сприяє накопиченню органічних забрудників і мікропластику у воді.

Забруднення Дунаю має серйозні екологічні, економічні та соціальні наслідки. Екологічні наслідки полягають у зменшенні біорізноманіття та деградації природних екосистем. Економічні наслідки знижують продуктивність рибальства та збільшують витрати на очищення води. Соціальні наслідки проявляються у зростанні захворювань серед населення, яке використовує воду Дунаю для пиття чи господарських потреб.

Для запобігання забрудненню Дунаю необхідно вжити низку комплексних заходів. Передусім слід удосконалити законодавчу базу, а саме: запровадити суворіші норми щодо

скидання відходів у річку та підвищити штрафи за екологічні порушення для підприємств.

Також корисним було б впровадження екологічної освіти населення, зокрема проведення просвітницьких кампаній серед місцевих громад для підвищення екологічної свідомості, залучення молоді до проєктів із захисту річки.

Крім того, потрібно розвинути систему очищення промислових і побутових стоків за рахунок обладнання сучасними установками очищення стічних вод та посилення контролю за очищенням відходів на промислових підприємствах.

І, нарешті, безумовно важливою є міжнародна співпраця. Необхідно активізувати роботу Дунайської комісії для координації зусиль усіх країн басейну річки та реалізовувати спільні екологічні проєкти з фінансуванням від ЄС, серед яких найбільш значущими є такі:

1. Міжнародна комісія з захисту річки Дунай (ICPDR) [2]. Цей правоохоронний орган було засновано у 1998 році на основі Конвенції про захист ріки Дунай, підписаної у 1994 році в Софії. Її метою є координація зусиль країн басейну Дунаю для захисту водних ресурсів, зменшення забруднення та запобігання екологічним катастрофам. Серед ініціатив – моніторинг якості води, створення планів управління басейном Дунаю та програми зменшення скидання поживних речовин (зокрема нітратів і фосфатів) для боротьби з евтрофікацією.
2. Програма «Чистий Дунай» [3]. Цей проєкт був започаткований у співпраці з Європейським Союзом і має на меті зменшити промислові та сільськогосподарські забруднення і розвинути системи очищення стічних вод у містах.
3. Проєкти ЄС у рамках «Дунайської стратегії» [4]. Конференція міністрів охорони довкілля країн Придунав'я, яка відбулася у Відні, була покликана окреслити екологічні загрози в регіоні. На основі детального аналізу стану ріки буде розроблено план дій на наступні п'ять років. Основою для цього документу стануть стандарти, впроваджені загальною директивою Європейського Союзу щодо водокористування. Ці норми вже давно діють у Німеччині та Австрії, а віднедавна і в нових дунайських країнах ЄС: Угорщині та Словаччині. План також передбачає впровадження європейських стандартів водокористування Чехією та Словенією, територією яких течуть великі притоки Дунаю. ЄС підтримує проєкти, спрямовані на покращення якості води та екосистеми Дунаю, що включає модернізацію очисних споруд, моніторинг джерел забруднення та проведення просвітницьких кампаній.
4. Місцеві та національні ініціативи [5]. Кожна країна має власні регуляції щодо скидання відходів. Наприклад, в Україні діють екологічні норми, які регулюють скидання промислових і побутових стічних вод у річки. Також проводяться регулярні перевірки підприємств, що мають доступ до водних ресурсів.
5. Співпраця з екологічними організаціями [6]. Міжнародні організації, такі як WWF (Всесвітній фонд природи), та місцеві неурядові організації здійснюють моніторинг стану Дунаю та проводять акції, спрямовані на підвищення екологічної свідомості населення.

Попри усі зусилля, проблема забруднення Дунаю залишається актуальною через промислове забруднення, сільське господарство та недостатню очистку стічних вод у деяких країнах.

Висновки. Отже, як можна перекоонатися, захист Дунаю вимагає комплексного підходу, що включає законодавчі реформи, модернізацію інфраструктури, екологічну просвіту та міжнародну співпрацю. Україна у співпраці з Європейським Союзом активно працює над захистом екосистеми цього визначного водного об'єкта. Передбачається впровадження норм та заходів моніторингу, контроль якості води, розробка планів управління басейном Дунаю та програм зі зменшення скидання відходів аграрної та побутової діяльності. Тим не менш, лише об'єднавши зусилля національних урядів, громадськості та міжнародних організацій, можна забезпечити сталий розвиток регіону та зберегти Дунай для майбутніх поколінь.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дунай — під загрозою екологічних катастроф. *Зелена хвиля*. URL: <https://ecoclubua.com/problems/dunaj-pid-zahrozoyu-ekolohichnyh-katastrof/>
2. Danube River Protection Convention. *The International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR)*. URL: <https://www.icpdr.org/about-icpdr/framework/convention>
3. «Чистий Дунай» не тільки на День Дунаю. *WWF*. URL: <https://wwf.ua/?194110/Clean-Danube-not-only-on-Danube-Day>
4. Стратегія Європейського Союзу для Дунайського регіону. *Департамент туризму та курортів*. URL: <https://me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=529fde16-08e8-45f8-ba31-6c9d36c01254&title=StrategiiavropeiskogoSoiuzuDliaDunaiskogoRegionu-theEuStrategyForTheDanubeRegion-eusdr-&isSpecial=true>
5. Проект Закону про місцеві ініціативи №3740 від 06.12.2013р. URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=49256
6. WWF-Україна та Rewilding Ukraine починають спільну інформаційну кампанію «Живі річки — це не тільки вода!». *Rewilding Ukraine*. URL: <https://rewilding-danube-delta.com/uk/news/living-rivers-are-more-than-just-water/>

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА

Щедролосєв О.В., Соценко В.В., Коновалова Г.В.

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)*

Вступ. Вуглецево-нейтральні види палива не мають чистих викидів парникових газів з точки зору перспективи. Вуглецево-нейтральне паливо можна виробляти з декількох первинних джерел енергії:

- біопаливо зі сталих джерел біоенергії;
- електропаливо (е-паливо) з відновлюваної електроенергії з невикопного вуглецю або азоту
- «блакитне» паливо з реформованого природного газу з уловлюванням та зберіганням вуглецю (УЗВ).

Біо-, електро- або блакитні версії метанолу, метану, дизельного палива, аміаку та водню, а також електромобілі з акумуляторними батареями — це вуглецево-нейтральні варіанти. Потенціал скорочення викидів парникових газів для кожного виду палива широко варіюється в довгостроковій перспективі, залежно від джерела первинної енергії, способу переробки палива, типу двигуна/перетворювача та ланцюга постачання. Не всі види палива з нульовим рівнем викидів підходять для різних типів суден і операцій, головним чином через щільність енергії палива, що впливає на доцільність використання палива [1].

Постановка задачі.

Зрілість технологій

Технології, необхідні для використання метану як палива, можна вважати зрілими, тоді як технології метанолу перебувають на стадії становлення. Для аміаку та водню двигуни, паливні системи та технології зберігання знаходяться нижче за шкалою TRL. Основні виробники активно працюють над комерціалізацією систем перетворення енергії з використанням цих видів палива [1].

Регуляторний аспект

З 2017 року Кодекс IGF містить вимоги до природного газу як суднового палива. У 2020 році ІМО представила необов'язкові тимчасові керівні принципи щодо метанолу як палива з наміром включити їх до Кодексу МКУБ, коли він буде протестований і доопрацьований. Тимчасові керівні принципи щодо аміаку були затверджені у 2024 році, але без конкретних вимог до окремих частин документа. Тимчасові настанови щодо водню перебувають на стадії розробки [2].

Основні бар'єри, що перешкоджають використанню вуглецево-нейтральних видів палива:

- технології та безпека — мається на увазі низький рівень зрілості паливних технологій, відсутність повномасштабних демонстраційних проєктів і правил безпеки як на суші, так і на борту суден;
- доступність палива — мається на увазі розвиток ланцюжка постачання на суші, включаючи виробництво палива та пошук сировини, дистрибуцію та бункерувальну інфраструктуру;
- попит і витрати — пов'язані з відсутністю попиту на зелений транспорт і конкурентоспроможністю палива з нульовим рівнем викидів за вартістю.

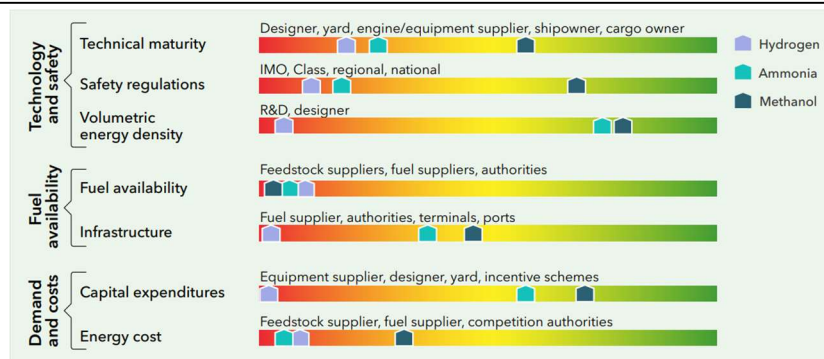


Рисунок 1 — Дослідження DNV з розвитку альтернативних видів палива [1]

Таблиця 1 — Переваги та недоліки зрідженого природного газу (ЗПГ) [3]

Переваги	Недоліки
15–20 % скорочення викидів CO ₂ від резервуара до бункера порівняно з традиційними видами палива	Проблеми витоку метану
Скорочення викидів NO _x , SO _x та твердих частинок	Зрілі технології та галузевий досвід
	Додаткові витрати та складність у зв'язку з кріогенним зберіганням
	Широка доступність та добре розвинена інфраструктура постачання
	Займистість та кріогенні ризики
	Встановлені міжнародні правила безпеки для проектування суден

ЗПГ на основі викопного газу може забезпечити дотримання вимог морського стандарту FuelEU до ~2040 року. Вуглецево-нейтральний метан (CH₄), який є основним компонентом природного газу, може використовуватися як додаткове паливо для суден, спроєктованих з урахуванням можливостей використання ЗПГ.

Це дозволить ще більше скоротити викиди парникових газів і потенційно уможливить вуглецеву нейтральність.

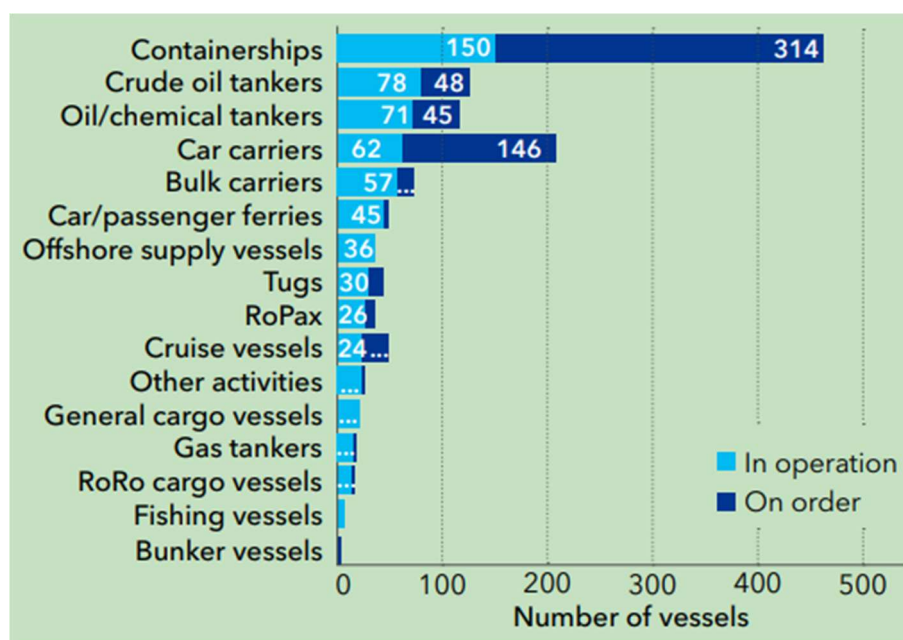


Рисунок 2 — Використання ЗПГ на різних типах судна (дослідження DNV) [1]

Таблиця 2 — Переваги та недоліки метанолу (CH₃OH) [3]

Переваги	Недоліки
Скорочення викидів CO ₂ на 8–9% від бака до бункера порівняно з традиційними видами палива	Поточний асортимент двигунів, розроблених спеціально для метанолу, залишається відносно обмеженим, хоча і вдосконалюється
Скорочення викидів NO _x , SO _x та твердих частинок	Термінали для зберігання розташовані поруч з більшістю великих портів
Зрілі технології та галузевий досвід	Обмеженість у доступі до виробничих об'ємів
Легше інтегрувати та використовувати порівняно з іншими альтернативними видами палива, оскільки метанол зберігається у вигляді рідини	Ризик виникнення небезпеки щодо токсичності та вогненебезпечності
Помірні капітальні інвестиції	
Прийняті міжнародні норми та стандарти з техніки безпеки при розробці конструкції судна	

Якщо метанол виробляти з відновлюваної сировини, можна досягти вуглецевої нейтральності. Використання викопного метанолу як суднового палива буде дорожчим і спричинить більше викидів парникових газів, ніж традиційні види палива.

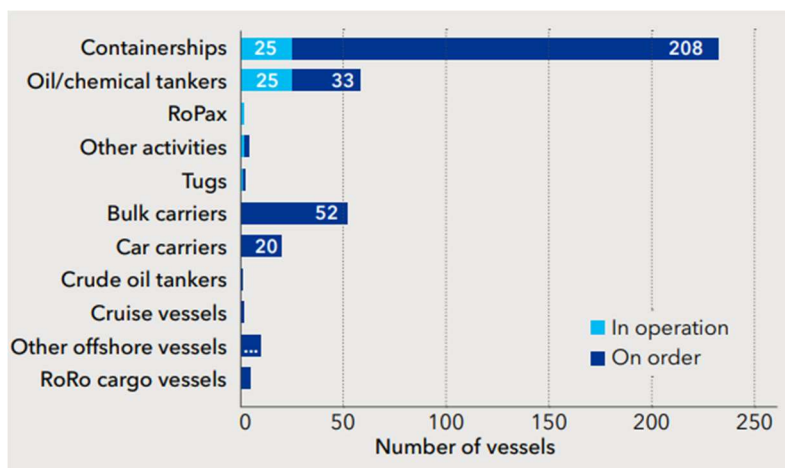


Рисунок 3 — Використання метанолу на різних типах судна (Дослідження DNV) [1]

Таблиця 3 — Переваги та недоліки аміаку (NH₃) [2]

Переваги	Недоліки
Нульові викиди CO ₂ від резервуара до бункера	Необхідно вирішити потенційні проблеми з NO _x , N ₂ O та NH ₃ -прослизанням
Усуває викиди SO _x та твердих частинок	Недосконала технологія перетворення енергії
Існуючі термінали зберігання розташовані близько до більшості великих портів	Токсичність та корозійні ризики
	Відсутність міжнародних правил безпеки для проектування суден

Якщо аміак виробляти з відновлюваної електроенергії, можна досягти вуглецевої нейтральності. Використання аміаку, виробленого не з відновлюваних джерел енергії, буде дорожчим і спричинить більше викидів парникових газів, ніж традиційні види палива.

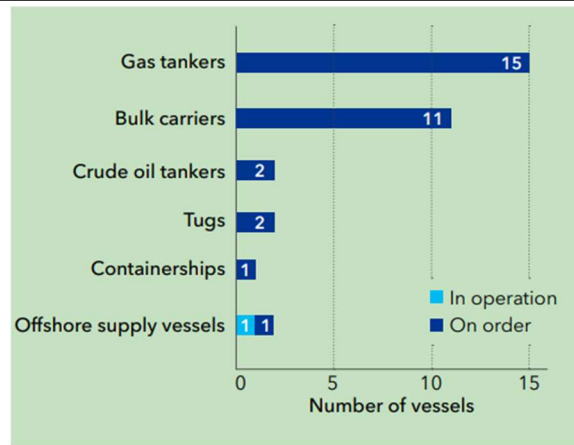


Рисунок 4 — Використання аміаку на різних типах судна (Дослідження DNV) [1]

Таблиця 1 — Переваги та недоліки водню (H_2) [3]

Переваги	Недоліки
Нульові викиди CO_2 на шляху від резервуара до судна	Недосконала технологія перетворювача енергії (двигуна)
Значне зменшення викидів NO_x , SO_x та твердих частинок	Додаткові витрати та складність через резервуари високого тиску (стиснений H_2) або криогенні температури для зберігання (рідкий H_2)
	Відсутність бункерувальної інфраструктури
	Займистість та криогенні ризики
	Відсутність міжнародних правил безпеки для проєктування суден

Якщо водень виробляється з відновлюваної електроенергії, можна досягти вуглецевої нейтральності. Використання водню, не виробленого з відновлюваних джерел енергії, буде дорожчим і може спричинити більше викидів парникових газів, ніж традиційні види палива.

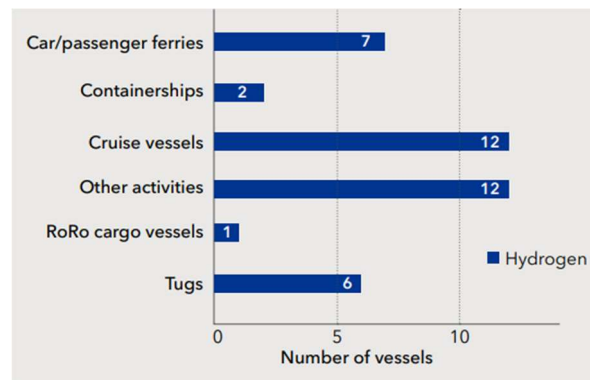


Рисунок 5 — Використання водню на різних типах суден (Дослідження DNV) [1]

Доступність

Недостатня доступність палива є ключовим бар'єром для всіх альтернативних видів палива. Обсяги виробництва вуглецево-нейтральних видів палива є низькими, а в портах бракує бункерувальних потужностей. Що стосується бункерування, то інфраструктура ЗПГ знаходиться на стадії швидкого розвитку, а ініціативи з пакету ЄС «Fit for 55» регулюватимуть цю сферу. Що стосується метанолу та аміаку, то це регулюватиметься транспортуванням. Для метанолу та аміаку судноплавна галузь може спиратися на мережу існуючих терміналів [3].



Рисунок 6 — Мережа існуючих терміналів [1]

Висновки. Курс і швидкість морської декарбонізації визначені, а дотримання вимог стає все жорсткішим, і викиди суден будуть коштувати. Розуміння поточного стану викидів та розробка надійних стратегій декарбонізації для суден матимуть важливе значення. Майбутні зміни в паливі та технологіях повинні супроводжуватися підвищенням енергоефективності суден — виконанням того ж обсягу корисної роботи, але з використанням меншої кількості енергії. Поки «першопрохідці» впроваджують альтернативні паливні рішення, логічним початковим кроком для більшості операторів буде застосування заходів операційної та технічної ефективності, щоб відповідати найближчим вимогам щодо скорочення викидів парникових газів і знизити попит на більш дорогі види палива.

ЛІТЕРАТУРА

1. DNV. Energy-efficiency guidance, paper 3 final. Energy-efficiency measures and technologies. 2024.
2. DNV. Energy-efficiency guidance, paper 2. Energy-efficiency measures and technologies. 2024.
3. DNV. Energy-efficiency guidance, paper 1. Energy-efficiency measures and technologies. 2024.

ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЗАТРАТ СЕУ НАЛИВНИХ СУДЕН ШЛЯХОМ ЗМІНИ РЕЖИМУ ПІДГРІВУ ВАНТАЖІВ

Щедролосєв О.В., Коновалова Г.В.

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)*

Вступ. Значне зростання вартості палива, перерозподіл статей теплового балансу сучасних малооборотних дизелів, що знизило можливості утилізації теплових втрат, і прагнення до максимальної ефективності роботи суднової енергетичної установки (СЕУ) підвищують актуальність проблем не тільки глибокої утилізації відкидного тепла головних дизелів, а й економічності допоміжних СЕУ.

Величезний резерв енергетичної економічності допоміжної СЕУ мають дизельні наливні судна з відносно високими потужностями допоміжних парогенераторів і електростанцій [8].

Актуальність. Великі можливості щодо зниження транспортних витрат наливних суден полягають у розв'язанні однієї з найскладніших проблем зі зниження температурного режиму в'язких вантажів, що перевозяться. Транспортування нафтохімічних та інших в'язких вантажів спричиняє значні матеріальні витрати у зв'язку з необхідними технологічними операціями з їхнього підігріву при наливі, перевезенні та вивантаженні [1]. Особливо ці витрати позначаються на експлуатаційних показниках універсальних малих і середніх танкерів, поставальників, продуктовозів, хімовозів, бункерувальників та інших наливних суден, що здійснюють (дедалі більшою мірою) перевезення різних сортів високов'язких вантажів [8]. Необхідність значного підігріву в'язких вантажів зумовлена, насамперед, фізичними властивостями цих продуктів. Занурені (прийняті) на судно в підігрітому стані в'язкі вантажі в процесі перевезення остигають, температура їх знижується, наближаючись до температури застигання. У зв'язку з неприпустимістю застигання вантажу, що вимагає для розігріву великих витрат енергії та часу, рекомендується підтримувати гранично допустиму температуру охолодження рідкого вантажу на 5–10 °С вище за температуру застигання [3]. Встановлена таким чином нижня температура початкового підігріву при застосуванні циркуляційного способу підігріву (ЦСП) вантажу [1, 3] вступає в протиріччя з температурою нижньої його граничної в'язкості, що допускає роботу циркуляційних відцентрових насосів. У зв'язку з цим, зазвичай приймають початкову температуру підігріву в'язких нафтопродуктів (мазутів) збільшеною до 43–50 °С, нижче за яку їх охолодження не допускається [1, 3].

З іншого боку, підігрів в'язких вантажів необхідний для збільшення їхньої рухливості та забезпечення нормальної роботи вантажних насосів. Для забезпечення необхідної продуктивності найчастіше застосовуваних вантажних відцентрових насосів (ЦН) потрібне підвищення температури в'язких вантажів до 60–85 °С [1, 3, 4].

Постановка задачі. У зв'язку зі значною залежністю продуктивності ЦН від в'язкості вантажу і необхідністю значно його підігрівати питання про універсалізацію вантажних насосів визначається в пошуку, розробці та застосуванні інших більш придатних для цих цілей їх типів. Розробка і випробування безштангових заглибних вантажних відцентрових електронасосів показали, що їхня вдосконалена конструкція дала змогу дещо розширити діапазон граничної в'язкості, але за своїми можливостями вони залишилися придатними для економічної роботи тільки на малов'язких рідинах.

Найбільш придатними, як універсальні заглибні насоси, можуть бути використані, після нескладного конструктивного доопрацювання, гвинтові негерметичні насоси (ГНН). Уже сьогодні вони широко використовуються в багатьох системах СЕУ і зарекомендували себе з найкращого боку. Надійність, довговічність, здатність працювати на забруднених рідинах і рідинах, що не змащують, практично будь-якої в'язкості, хороша всмоктувальна здатність, нечутливість до прохоплень повітря та інші якості свідчать про перспективність їхнього застосування як вантажних насосів [1, 2, 4, 8]. Промисловістю нині освоєно досить великі ГНН (типу 2В 1000/10, з подачею 1023 м³/год), здатні забезпечити необхідну їхню продуктивність як індивідуальні вантажні насоси на універсальних наливних суднах.

Застосування ГНН, як вантажних, дасть змогу максимально можливо знизити як початкову, так і кінцеву температури підігріву в'язких рідких вантажів. У результаті зниження температурного режиму значно знизяться тепловтрати, витрати потужності і витрати палива на підігрів і злив в'язких вантажів, що перевозяться.

Викладення основного матеріалу. Проведене теоретичне дослідження дало змогу визначити співвідношення й обсяги можливого зниження енерговитрат на підігрів і злив вантажу спеціальних систем допоміжних СЕУ універсальних наливних суден залежно від типів застосовуваних насосів, режимів підігрівання та параметрів циркуляції в'язких вантажів, що підігріваються.

Це дослідження проведено з використанням теплових і вантажних характеристик стосовно танкера дедвейтом 30 тис. т проєкту 15966 побудови Херсонського суднобудівного заводу.

Результати розрахунку витрат палива на попередній підігрів вантажу наведено в табл.

1. Як вантаж, розглянуто умови перевезення і вивантаження мазуту М100 за ДСТУ 4058:2001 «Паливо нафтове. Мазут. Технічні умови».

Для зіставлення енергетичних показників роботи вантажних ГНН із занурювальними ЦН типу ПНР 600/50 розглянуто кілька підвищених режимів попереднього підігріву вантажу, що дали змогу під час їх порівняння визначити оптимальний.

Під час дослідження показників ефективності ГНН, як заглибного вантажного насоса, прийнято мінімально можливий режим попереднього підігріву вантажу від 35 до 42 °С [3, 4].

Погодні умови прийнято за рекомендаціями фірми «Шелл», що широко застосовуються для помірного клімату [5]. Витрати палива на попередній підігрів визначено відповідно до їхніх питомих витрат на 1 т виробленої пари, теплового навантаження і часу попереднього підігріву.

Подача, напір, витрати потужності та витрати палива на циркуляцію підігрітого вантажу визначені на основі розроблених раніше оптимальних параметрів циркуляції [5, 6].

Таблиця 1 – Розрахунок витрат палива на попередній підігрів вантажу

Найменування, розмірність	Позначення	Числові значення за типами насосів та режимами попереднього підігріву				Підстава, формула, джерело
		Гвинтовий	Відцентровий			
		від 35 °С до 42 °С	від 44 °С до 66 °С	від 50 °С до 70 °С	від 50 °С до 75 °С	
Витрата палива на підігрів вантажу за 120 год, т	$V_{т.п.}$	37,23	95,47	94,61	115,1	розрахунок [3]
Витрата палива на корисний підігрів на 1 °С, кг/ °С	$b_{у.п.}$	2361	2444	2455	2469	розрахунок [3]
Подача циркуляційного насоса, м³/с	$V_{ц}10^3$	1,7	5,7	7,85	10,37	розрахунок [3]
Напір циркуляційного насоса, м ст.	$H_{ц.н.}$	0,81	0,5	4,0	6,2	розрахунок [3]
Корисна потужність циркуляційного насоса, кВт	$N_{п.ц.}10$	0,136	0,278	3,06	6,25	$VH_p/102$
ККД нерозрах. режиму	$\eta_{н.р.}$	0,278	0,479	0,441	0,468	розрахунок [5,6]
Потужність						

Продовження таблиці 1

циркуляційного насоса, кВт	$N_{\text{ц}}$	0,049	0,058	0,694	1,335	$N_{\text{п.ц.}}/\eta_{\text{н.р.}}$
Витрати енергії по 10 насосів за 120 год, кВт год	$E_{\text{ц}}$	58,8	69,6	832,8	1602	$N_{\text{ц}} 10120$
Витрата палива на 1 кВт електроенергії, г/кВт год	$b_{\text{т.э.}}$	278	278	278	278	по [5]
Витрата палива на привід насосів, кг	$B_{\text{т.ц.}}$	16,35	19,35	231,5	445,4	розрахунок [5]
Втрата енергії циркуляційних насосів, кВт год	$E_{\text{ц.п.}}$	42,45	36,26	465,5	852,3	розрахунок [5]
Нагрів за рахунок перетворення втрат, °C	$\Delta t 10^3$	2,985	2,5	31,81	37,95	розрахунок [5]
Витрата палива по котлу на еквівалентн. нагрівання, кг	$B_{\text{т.е.}}$	7,048	4,503	78,09	113,1	розрахунок [5]
Витрати палива на циркуляцію з урахуванням перетворення втрат в тепло, кг	$B_{\text{т}}$	9,302	14,85	153,4	332,3	розрахунок [5]

У табл. 2 наведено результати розрахунку витрат енергії та витрат палива на вивантаження вантажу. Подачу, напір, ККД насосів і час вивантаження вантажу визначено залежно від типу застосовуваних насосів, температури підігріву, пропускної здатності суднових і додаткових берегових трубопроводів [4, 5].

Режим підігріву вантажу під час вивантаження прийнято таким самим, як і під час попереднього підігріву.

Витрати палива на вивантаження вантажу визначено за їх питомими витратами на одиницю виробництва електроенергії та пари [3, 4, 5].

Таблиця 2 — Витрати енергії та витрати палива на вивантаження вантажу

Найменування, розмірність	Позна чення	Числові значення за типами насосів та режимами попереднього підігріву				Підстава, формула, джерело
		Гвин- товий	Відцентровий			
			від 350С до 420 ⁰ С	від 440 ⁰ С до 660 ⁰ С	від 500 ⁰ С до 700 ⁰ С	
Напір насосів, м ст. рідк. Розрахунковий ККД насосів Витрата циркуляції, м³/с Подача при розвантаженні, м³/с Час вивантаження, година Витрати потужності, кВт Витрати енергії, кВт год Витрати палива, кг Витрата пари на підігрів, т Витрата палива на підігрів при вивантаженні, т Витрати потужності на циркуляцію, кВт Витрати енергії на циркуляцію, кВт год Витрата палива на циркуляцію, кг Нагрів вантажу за рахунок перетворення втрат, 0 ⁰ С Витрата палива по казану на еквівалентн. нагрівання, кг Витрата палива на циркуляцію з урахуванням компенсації втрат, кг Сумарна витрата палива на підігрів та вивантаження вантажy, т	H _п η _р V _ц 10 ³ V _в τ _в N _в E _в B _{т.в.} D _п B _{т.п.в.} N _ц E _ц B _{т.ц.} Δt _{п.п.} B _{т.е.} B _т ΣB	109,9 0,55 1,7 0,116 6,68 2281 15241 4237 26,57 6,68 33,37 222,9 61,97 0,016 37,78 24,19 48,18	73,56 0,57 5,7 0,109 7,19 1369 984,1 2736 73,34 5,72 40,8 293,3 81,55 0,020 48,88 32,07 104,0	71,44 0,621 7,85 0,108 7,27 1207 877,1 2438 73,48 5,732 87,69 697,5 177,2 0,043 105,6 71,6 103,0	68,97 0,65 10,4 0,107 7,36 1100 808,9 2250 90,47 7,059 106,9 786,8 218,7 0,052 128,4 90,3 124,8	розр. [4] розр.[4] розр. [6,7] V _р -V _ц розр. [4] 10V _в H _п /η _р N _в τ _в розр. [4] розр. [3] розр. [3] розр. [6,7] N _ц τ _в розр. [6,7] розр. [6,7] розр. [6,7] розр. [6,7] B _{т.п.} +B _{т.в.} + +B _{т.п.в.} +B _т

Висновки. Аналіз витрат енергії та витрат палива на підігрів і злив в'язкого вантажу, наведений у табл. 1 і 2, дає змогу зробити такі висновки:

1. Застосування заглибних ГНН як вантажних замість ЦН дає змогу максимально знизити початкову та кінцеву температури підігріву, а отже, витрати палива на попередній підігрів у 2,5 рази.

2. Витрати палива на циркуляцію підігрітого вантажу через виносний теплообмінник при застосуванні ГНН становлять менше 0,05%. При цьому компенсація витрати палива на привід насоса за рахунок корисно використовуваних втрат потужності насосів, перетворених у тепло, становить близько 43%.

3. Витрати палива на вивантаження вантажу, при застосуванні ГНН, становлять від 2,5 до 9% від загальних витрат на підігрів і вивантаження.

4. У зв'язку з меншим впливом в'язкості на продуктивність ГНН час вивантаження в'язкого вантажу знижується на 8 %.

5. Сумарні витрати палива на підігрів і вивантаження в'язкого вантажу при застосуванні ГНН замість ЦН як вантажного і циркуляційного можна знизити більш ніж у 2 рази. Це становить можливу економію палива 55 т за прийнятий розрахунковий 30-ти добовий рейс.

6. У зв'язку зі зниженням витрати пари на підігрів вантажу створюється можливість використання замість двох допоміжних котлів тільки одного — типу КАВ 6,3/0,7.

ЛІТЕРАТУРА

1. Talley W.K. Maritime Transport: The Evolution of Tanker Design and Operations. Elsevier, Amsterdam, 2003. — 320 с.

2. Devold H. Oil and Gas Production Handbook: An Introduction to Oil and Gas Production, Transport, Refining and Petrochemical Industry. ABB Oil and Gas, Oslo. 2013. — 156 с.

3. Cho S., Lee J.M., Woo J.H. Optimization of Cargo Heating Systems for Oil Tankers Using Computational Fluid Dynamics // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. — 2021. — Vol. 13. — С. 321–330.

4. Kim D.J., Kim S.Y., Lee Y.W. Design Standards for Crude Oil Tanker Cargo Handling Systems // Marine Technology. — 2013. — 50 (2). — С. 78–89.

5. Bai Y., Bai Q. Subsea Engineering Handbook. Gulf Professional Publishing. Houston. 2012. — 960 с.

6. Щедролосєв А.В. Оптимізація параметрів циркуляції в системах циркуляційного підігріву вантажів на наливних суднах // Зб. наук. праць УДМТУ. — Миколаїв : УДМТУ, 2002. — №6. — С. 91–98.

7. Щедролосєв А.В. Оцінка економічної ефективності роботи циркуляційного насоса системи підігріву рідких вантажів на наливних суднах // Зб. наук. праць УДМТУ. — Миколаїв : УДМТУ, 2002. — №5. — С. 82–87.

8. Щедролосєв А.В. Шляхи вдосконалення енерговикористання спеціальних систем допоміжної суднової енергетичної установки дизельних наливних суден // Зб. наук. праць УДМТУ. — Миколаїв : УДМТУ, 2002. — №2. — С. 132–142.

СЕКЦІЯ:
КОМПЕТЕНТІСНИЙ ПІДХІД В ПІДГОТОВЦІ
ФАХІВЦІВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ

SECTION:
COMPETENCE-BASED APPROACH IN TRAINING
TRANSPORT INDUSTRY PROFESSIONALS

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНЦІЙ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ПРИ ВИВЧЕННІ ДИСЦИПЛІН ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ.

Васильченко Г.Ю., Татарінцева Ю.Г.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Як відомо, сучасне судно — це складний технічний комплекс, який включає в себе велику кількість різноманітних конструкцій, механізмів, машин, приладів та іншого обладнання. Тому надійна, безпечна та ефективна їх експлуатація потребує знання їх принципів роботи та конструкції, що неможливо без глибокого вивчення технічної механіки, яка включає в себе групу дисциплін: Теоретичну механіку, Теорію машин та механізмів, Опір матеріалів та Деталі машин і механізмів у вигляді модулів. Технічна механіка закладає основи знань та умінь для забезпечення безаварійної роботи машин і механізмів на судні, перелік яких визначений вимогами кодексу ПДНМ та IMO MODEL COURSE. [1, 2].

Проблеми організації вивчення дисциплін технічної механіки, особливо теми «Механічні передачі», в умовах дистанційного навчання, які завжди було **актуальними** при підготовці спеціалістів водного транспорту, набули особливого значення в теперішніх умовах.

Таким чином основним **завданням** є така організація навчального процесу, яка б дозволила сформувати у здобувачів освіти знання й навички, що відповідають компетенціям КСП-10, КСП-30, КСП-43, КСП-47, розуміння основних понять та класифікації деталей машин, видів та критеріїв працездатності механічних передач, як умови свідомої і ефективної експлуатації суднового обладнання.

Мету професійної підготовки сучасного фахівця водного транспорту документи ІМО формулюють як очікуваний результат — формування професійної компетентності. Професійну компетентність фахівця розглядають як інтегральну характеристику, яка визначає здатність розв'язувати професійні проблеми і типові професійні завдання, які виникають у реальних ситуаціях фахової діяльності з використанням знань, професійного і життєвого досвіду, цінностей і нахилів. [3]

Компетентнісний підхід у підготовці фахівців дозволяє:

- готувати кадри відповідно до динамічних змін ринку, його вимог, що зумовлює мету та зміст професійної підготовки фахівця;
- розглядати та деталізувати спільну мету — професійну компетентність як суму певних компетентностей, що до неї ходять;
- змістовно, продуктивно та інструментально пов'язує мету, зміст і процес підготовки фахівців.

У цьому сенсі компетентність — це, насамперед, підготовленість особистості до розв'язування проблемних задач за реальних нестандартних умов, які можуть бути щоразу іншими. Тобто розвиток компетентності нерозривно пов'язаний з проблемністю навчання та активною діяльністю здобувачами вищої освіти. Важливим при цьому є те, що рівень складності завдань повинен відповідати можливостям здобувачів вищої освіти, тобто завдання мають бути помірно складними. В інших випадках може відбутися втрата здобувачами вищої освіти інтересу і сформувати компетентність не вдасться.

Насамкінець слід пам'ятати, що розвиток компетентності здобувачів вищої освіти відбувається лише у процесі його активної навчальної діяльності.

Курс «Теоретична та прикладна механіка» є базою для вивчення профільюючих дисциплін, які потребують вміння проводити розрахунки на міцність, довговічність, а так само навичок конструювання.

Для реалізації такого підходу здобувачам освіти під час виконання практичних робіт

пропонується ситуація коли для вирішення конкретних виробничих завдань при організації обслуговування і ремонту судових механізмів перед судовим інженером може постати конструкторська задача спроектувати механізм для виробничих операцій та забезпечення належної якості обслуговування: скажімо, з наявного переліку двигунів та редукторів скомпонувати схему механізму з необхідними характеристиками (вантажопідйомність, частота обертання веденого валу, що забезпечує певну швидкість руху об'єкту тощо).

Приклад завдання: Деталі машин. Кінематичний і динамічний аналіз механізму (4 год).

Мета роботи:

1. Сформувати компетенції по розрахунку основних показників складних механізмів
2. Отримати навички розрахунку електродвигунів для приводів.

1 Вихідні дані для виконання завдання

Для механізмів, схеми яких наведені на рисунках індивідуального завдання наведеного в додатках (приклад на рис. 1.):

- 1 Визначити загальне передавальне число двохступінчастої механічної передачі і при необхідності — відсутні діаметри коліс.
- 2 Визначити кутові швидкості ведучого і проміжного валів передачі.
- 3 Знайти лінійну швидкість і лінійне прискорення точки А, виконати перевірку.
- 4 Визначити потрібну потужність електродвигуна. За каталогом електродвигунів вибрати найбільш підходящий двигун для даної передачі.
- 5 Визначити крутний момент на валах механічної передачі. За відомими значеннями крутних моментів визначити необхідні мінімальні діаметри валів, вважаючи, що їх допустиме дотичне напруження $[\tau] = 14 \text{ МПа}$. [6]

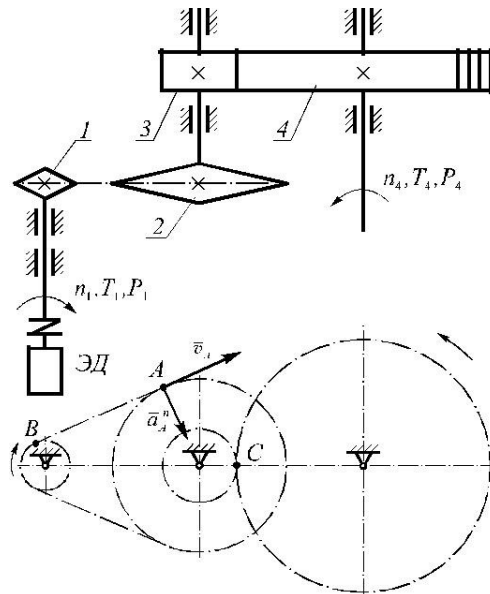


Рисунок 1 — Кінематична схема приводу

Вихідні дані для розрахунку беруться відповідно за номером варіанта і навчальним шифром з таблиць завдання, в яких використані наступні позначення [4]:

z_1, z_2, z_3, z_4 — числа зубів відповідних коліс;

d_1, d_2, d_3, d_4 — діаметри шківів або катків;

m_1, m_2, m_3, m_4 — маси зубчастих коліс, катків, шківів, зірочок;

 i_1, i_2, i_3, i_4 — радіуси інерції тіл обертання;

m_n — нормальний модуль зачеплення ($m_n^{\text{кон}}$, $m_n^{\text{цил}}$ — для конічної і циліндричної передач відповідно);

t — крок ланцюга;

n_4 — частота обертання веденого (вихідного) валу;

P_4 — потужність на веденому (вихідному) валу.

Для здобувачів освіти заочної форми навчання, які вже мають досвід роботи на суднах можна запропонувати завдання з прикладами з суднової практики, для розрахунку показників конкретних механізмів.

У підсумку, за наявності даного в практичній роботі передавального механізму можна вирішити дві взаємно обернені задачі:

1) за відомою потужністю двигуна можна розрахувати максимальну величину вантажу, який можна підняти при допомозі зазначеного передавального механізму (актуально для суднових механіків);

2) розрахувати потужність двигуна здатного забезпечити підняття вказаного вантажу зазначеним передавальним механізмом (для електромеханіків).

Результати дослідження. Наведений підхід реалізований в тестових завданнях екзаменаційного контролю знань дисципліни «Теоретична та прикладна механіка» другого рівня у вигляді схем з необхідністю деяких розрахунків результати яких оцінюються в 2 бала. Аналіз показав зростання якості знань, порівняно з минулими роками, на 4–7%, що дозволяє зробити висновок про ефективність даної методики.

Висновки. Як показує досвід впровадження на кафедрі транспортних технологій та судноремонту запропонована методика дозволяє:

1. Актуалізувати вивчення дисципліни «Інженерна та комп'ютерна графіка» при вивченні теми «Позначення на кінематичних схемах».

2. Організувати дистанційне вивчення теми на потрібному рівні.

3. Показати здобувачам освіти можливість проведення розрахунків достатньо простими і надійними способами.

4. Може бути використане як для суднових механіків так і для електромеханіків, з урахуванням компетентносних вимог до них.

5. Навчає їх технічній і інженерній культурі при розрахунках і оформленні результатів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Конвенція ПДМНВ 1978, 2014 р.р.(офіційний переклад).
2. IMO MODEL COURSE: Officer in Charge of a Navigational Watch (Course 7.03) — IMO [2014 року, PDF].
3. Сисоєва С. О. Проблеми неперервної професійної освіти: тезаурус наукового дослідження: наук. видання / С. О. Сисоєва, І. В. Соколова / НАПН України. Ін-т педагогічної освіти і освіти дорослих, МОН. Маріупольський держ. Гуманітарний ун-т. — К.: Видавничий Дім «ЕКМО», 2012. — 362 с.
4. Гуліда Е.М., Дзюба Л.Ф., Ольховий І.М Прикладна механіка: підручник. — Львів: Видавництво «Світ», 2007. — 384 с.
5. Коновалюк Д.М., Ковальчук Р.М. Деталі машин. — Київ: Кондор, 2004. — 350 с.
6. Корнілов О.А. Короткий курс опору матеріалів: Підручник. — Львів: Магнолія Плюс, 2005. — 107 с.

THE IMPACT OF MARTIAL LAW ON MARITIME EDUCATION AND TRAINING

Diahyleva O., Yurzhenko A., Svyryda V.
Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)

Introduction. Nowadays, Maritime Education and Training (MET) in Ukraine is undergoing significant transformations due to several factors (e.g., Artificial Intelligence (AI) and the process of digitalization). The oldest maritime institution, Kherson State Maritime Academy (KSMA) is in step with the times. The tools of AI have been used in the educational process of future seafarers. DataIsland has been chosen as a platform with AI functions. The main functions are the following: analysis of documentation (every teacher/student has the possibility to upload documents in the system or to use uploaded documents) and text processing (Chat GPT-4o, C.E.H.C).

The electronic environment of KSMA is situated on LMS MOODLE (mdl.ksma.ks.ua). The structure of online courses consists of the academy itself (two faculties: Navigation and Marine Engineering), the Future Education and Skills Development Training Center, the Science Park of KSMA “Maritime Industry Innovations,” and the Maritime Applied College of KSMA.

Online courses include various internal tools and instruments and links to some external resources (e.g., Ocean Learning Platform). Online simulators like Ocean Learning Platform became extremely popular during martial law in Ukraine. The access to resource is for authorized users only. Students have the possibility to visit online courses, finish them, and receive grades.

Another platform resource that is embodied in the LMS MOODLE of KSMA using SCORM is LearningApps. The website has a wide variety of templates to create activities with personal content. The teacher will have his/her own account on the website and can list created for him/her activities. Other users have the possibility to check and edit any activity found [1].

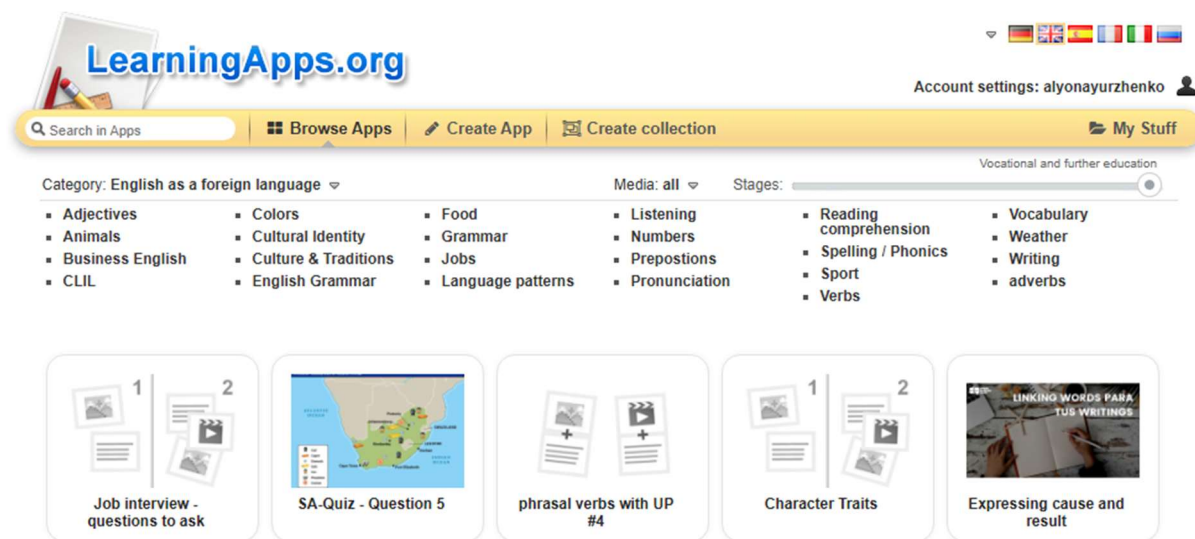


Figure 1 — interface of Browse Apps of LearningApps

Students also have the possibility to visit DSpace 8 repository of KSMA where all scientific works of teaching staff are collected. Every teacher uploads there the works and fills in metadata on each work (e.g., name, abstract, reference, date, authors, publisher, URL, keywords, description). The works are grouped according to faculty: Marine Engineering and Navigation. Despite the teaching staff's works, the repository also includes students' dissertations, papers, shipboard practice reports, and tests [2]. The structure of KSMA repository consists of five sections: Alma Mater (e.g. articles of Scientific Bulletin of KSMA); Dissertation works; Maritime Applied College of KSMA; Marine Engineering Faculty; Navigation Faculty. There is also search option to find the information on the repository web site easily. The search can be done by:

- Issue Date;
- Author;
- Title;
- Subject;
- Subject Category.

KSMA repository is a useful tool for students' scientific research, it gives free access to study materials and enhances their academic profile.

Zoom and Recosha Meet (BigBlueButton) are used as videoconference tools by students and teachers of KSMA. Electronic schedules can be accessed by authorized users in MOODLE and are formed with the help of Google Docs. The schedules are grouped according to faculty, year, and form of study (e.g., abridged program, dual award, correspondence department) [3]. Dual award students that study online (e.g., KSMA — University of Plymouth, the UK) use LMS MOODLE of the second institution as well as KSMA. KSMA uses the 4.2.2 + version of MOODLE. The upgrade is planned this year.

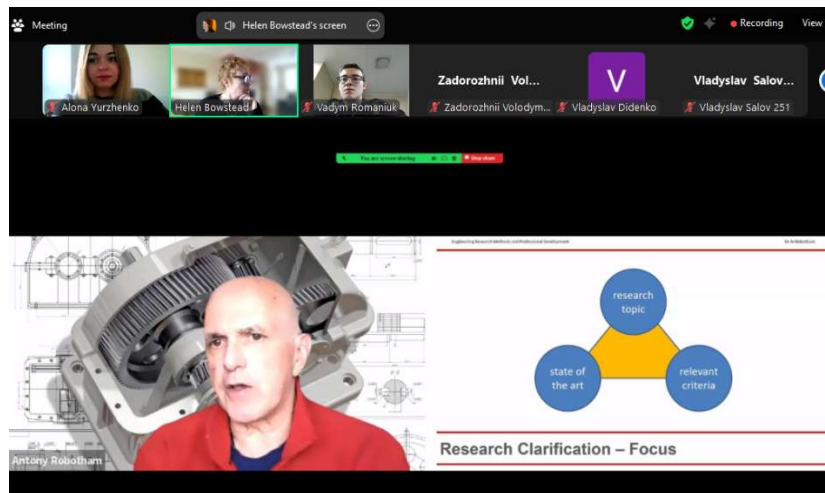


Figure 2 — Dual award students' classes with teachers from University of Plymouth, the UK

While Zoom video classes, various digital resources are used as additional means (e.g., Miro, Kahoot!, Prezi Video for Zoom, Microsoft 365, Qarrot, AI generated meeting notes, WINN.AI). Miro is used as a whiteboard embedded in Zoom. It promotes collaboration, visualizes complex concepts, facilitates communication, and provides opportunities for practical application through online classes for future seafarers [4].

Conclusions. Nowadays, MET is in the process of modernization due to several factors. Martial law in Ukraine also has an influence on the education of future seafarers. KSMA, as one of the oldest maritime education institutions, is also modernizing its educational process in distance and blended forms. AI tools are integrated into teaching and studying. Videoconferences are used (Zoom, Recosha Meet, BigBlueButton). A lot of external tools of Zoom help to interact online lessons. Everything mentioned above helps to conduct a qualitative educational process while martial law in Ukraine.

REFERENCES

1. Yurzenko A. Pedagogical conditions for training of future ship engineers in the process of English for specific purpose learning. *Engineering and Educational Technologies*. 2018. Vol. 6, no. 4. P. 48–57. URL: <https://doi.org/10.30929/2307-9770.2018.06.04.05> (date of access: 03.05.2023).
2. Kononova O. Y., Bevzenko J. Y., Yurzenko A. Y. Creation of a Distance Communication Channel With Gamification Elements. *Handbook of Research on the Influence and Effectiveness of Gamification in Education*. 2022. P. 226–240. URL: <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-4287-6.ch012> (date of access: 03.05.2023).

3. Sherman M., Yurzhenko A. Experimental research on the formation of future ship engineers' communicative competence based on gamification approach. *Освітній вимір*. 2020. Vol. 55. P. 251–266. URL: <https://doi.org/10.31812/educdim.v55i0.3939> (date of access: 03.05.2023).
4. Kuharenko S., Dzyubenko O., Klyuev D. Information And Educational Authorized Environment For The Study Of The Discipline. Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice. 2020. Vol. 8, no. 1. P. 278–283. URL: <https://doi.org/10.34220/2308-8877-2020-8-1-278-283> (date of access: 03.05.2023).

ПИТАННЯ СПЕЦІАЛЬНОЇ ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРІВ-МЕХАНІКІВ ДЛЯ СЕУ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬ АМІАК

Кісетов Ю.В., Личко Б. М.

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)*

Вступ. З урахуванням глобального прагнення скорочення викидів парникових газів і переходу до більш стійких джерел енергії, аміак (NH_3) починає розглядатися як перспективний варіант палива для морських суден. Аміак є безвуглецевим паливом, що робить його привабливим з погляду зниження вуглецевих викидів [1].

У 2023 році був спущений на воду перший у світі контейнеровоз на аміаку, розроблений компанією MAN Energy Solutions у співпраці із суднобудівним заводом Korea Shipbuilding & Offshore Engineering (KSOE). Очікується, що в найближчі 5 років аналогічні судна масово замовлятимуться. Наприклад, за даними Clarksons Research, до 2026 року передбачається будівництво понад 30 суден, які використовують аміак як основне паливо. Це число може збільшитись залежно від державної підтримки та розвитку відповідної інфраструктури [2].

Переваги використання аміаку:

- зниження викидів CO_2 — скільки аміак не містить вуглецю, його використання може значно знизити слід вуглецю суден;
- доступність — аміак вже виробляється у великих масштабах для сільського господарства і може бути використаний у морському судноплаванні без значних змін в інфраструктурі;
- безпека при зберіганні — аміак у рідкому стані значно менш вибухонебезпечний, ніж багато вуглеводнів.

Незважаючи на переваги, використання аміаку як паливо пов'язане з рядом складнощів:

- токсичність — аміак є токсичним газом, який потребує спеціальних заходів безпеки при обробці та зберіганні;
- корозійні властивості — аміак може викликати корозію певних матеріалів, що потребує додаткових заходів щодо захисту обладнання;
- необхідність нових технологій — для ефективного використання аміаку в двигунах потрібна розробка нових технологій і модифікацій існуючих систем;
- небезпека займистості та вибуху в закритих приміщеннях, де існують відповідні умови.

Актуальність дослідження. Законодавство Європейського союзу, таке як Система торгівлі квотами на викиди (ETS) та ініціатива FuelEU щодо підтримки декарбонізації, підштовхують морську галузь до використання альтернативних видів палива, що збільшує потенціал аміаку. Незважаючи на те, що проблеми залишаються, аміак готовий зіграти значну роль у переході морської галузі до більш стійкого майбутнього [1, 3].

Об'ємна щільність енергії аміаку — вища, ніж у водню — робить його більш практичним для зберігання на борту. Однак аміак токсичний, що вимагає суворих заходів безпеки та правил поведінки та зберігання.

Згоряння аміаку може призвести до утворення закису азоту (N_2O), потужного парникового газу. Тому потрібні технології пом'якшення. Створення необхідної інфраструктури для бункерування та постачання аміаку стане важливим завданням.

Управління обладнанням, яке використовує аміак вимагає спеціальної підготовки екіпажу та кваліфікації. Незважаючи на те, що існуючі рамки підготовки моряків є основою, вони недостатні для вирішення цілої низки проблем, пов'язаних з використанням аміаку на судні [4, 5].

Викладення основного матеріалу. Постановка задачі. Сучасні плани і програми підготовки суднових механіків недостатньо наповнені питаннями особливостей

експлуатації, технічного обслуговування і ремонту обладнання і систем які використовують аміак на судні. Таблиці ПДНВ AV/3-1 і AV/3-2, що стосуються International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (Міжнародний кодекс безпеки для суден, які використовують гази або інші види палива з низькою температурою спалаху - Кодекс IGF), встановлюють обов'язкові вимоги до кваліфікації та підготовки для моряків, які працюють на суднах, що використовують паливо з низькою температурою спалаху, включаючи зріджені природні гази [4]. Але наразі Кодекс IGF не стосується компетенцій, необхідних для альтернативних видів палива, таких як аміак, водень або метанол.

Розв'язання проблеми усунення ризиків від аміаку як суднового палива включає питання зниження ризиків за рахунок вдосконалення процесів проектування та експлуатації суден. Також з появою аміаку морякам потрібно буде освоїти його специфічні властивості, такі як токсичність, корозійність, ризик викидів на основі азоту тощо. Це вимагатиме навчання передовим заходам безпеки, спеціалізованим системам стримування та новим конструкціям двигунів.

Результати досліджень. Розглянемо особливості складових процесу оволодіння новими компетенціями та додатковим навчанням з точки зору суднових механіків (табл.). з використанням інформації [4, 5].

Таблиця 1 — Додаткове навчання та компетенції необхідні для суднових механіків на суднах з двопаливними двигунами і аміаком як одним з видів палива

Навчання та компетенції, необхідні для екіпажу		
Знання	Розуміння	Навички
- основні характеристики аміаку, такі як токсичність, займистість, вибуховість, корозія та несумісність матеріалів; - суднові системи та обладнання, пов'язані з аміаком, включаючи зберігання; - фізичні та хімічні властивості аміаку; - загрози та контроль небезпеки аміаку; запобіжні заходи та заходи з охорони праці; - як реагувати на надзвичайні ситуації, такі як витоки, розливи, пожежі та вибухи; - механізми запобігання забрудненню.	- специфіка експлуатації та обслуговування режимів з аміаком; - процедури зміни палива; - чим відрізняються підходи до реагування на надзвичайні ситуації на борту суден, що працюють на аміаку; - як змінюються процеси з підвищенням автоматизації; - законодавчі вимоги, яким вони повинні відповідати	- експлуатація та технічне обслуговування обладнання, пов'язаного з аміаком, включно з підвищеним використанням автоматизації для забезпечення дистанційних операцій; - поводження зі зберіганням аміаку, транспортуванням і системами обробки, які застосовуються до аміаку під тиском і охолодженням або поєднання обох; - використання нових матеріалів; - використання нових видів приладів і систем управління; - використання нових видів виявлення та моніторингу обладнання; - використання різних засобів індивідуального захисту обладнання.

Міжнародний кодекс управління безпекою (ISM Code) встановлює чіткі цілі та вимоги до операцій на судні. Використання аміаку як палива вплине на всю систему управління безпекою судна, охоплюючи процеси експлуатації, технічного обслуговування та готовності до надзвичайних ситуацій.

Важливо завчасно виявляти потенційні надзвичайні ситуації на судні, пов'язані з аміаком, і встановити процедури реагування та тренування для підготовки до аварійних дій. Процедури в разі надзвичайних ситуацій повинні базуватися на ретельному оцінюванні ризиків для визначення потенційних небезпек та їх наслідків, гарантуючи визначення необхідних дій реагування на надзвичайні ситуації.

Застосування аміаку разом із відповідними технологіями також може вимагати змін в організації оператора судна, що потенційно призведе до встановлення нових ролей і обов'язків на борту та на березі. Встановлення процедур моніторингу, підтримки бар'єрів безпеки та усунення будь-яких відхилень або збоїв забезпечення технічної цілісності буде важливим фактором безпечної роботи [6].

Результати опитування моряків підкреслюють нагальну потребу в навчанні для ефективної роботи з передовими технологіями, які будуть присутні на майбутніх судах [7].

Респонденти опитування вказали, що їм знадобиться часткове або повне навчання новим видам палива. Цей дефіцит підготовки становив до 87% респондентів опитування для нових видів палива, таких як аміак, водень і метанол. Підготовка в цих областях повинна бути пріоритетною. Хоча наставництво та навчання на борту добре налагоджено, респонденти опитування не впевнені, що їхнє керівництво добре оснащено для навчання їх новим видам палива та технологіям. На це вказали 55% респондентів. При цьому моряки віддають перевагу очному навчанню в морських навчальних центрах або закладах вищої освіти — (52%), а 23% віддають перевагу поєднанню очного та онлайн навчання.

Ці висновки підкреслюють значну прогалину в навчанні навичок декарбонізації, необхідних морякам для роботи на борту суден наступного покоління. Хоча ці недоліки в підготовці можуть не відразу вплинути на поточні операції, протягом цього десятиліття необхідно вжити заходів, щоб подолати прогалини в компетентності інженерів-механіків. Це питання стає особливо критичним, оскільки очікується достатньо масштабне прийняття нових технологій та впровадження нових систем і обладнання на судах протягом наступних 5–8 років.

Аналіз складових необхідних компетенцій і процесу навчання визначив низку критичних факторів людського фактору, які необхідно враховувати для безпечної роботи на судах, які використовують аміак для двигунів, включаючи кваліфікацію та підготовку моряків. Для підготовки екіпажу до виконання завдань з експлуатації, технічного обслуговування та реагування на надзвичайні ситуації на судах, що працюють на аміаку, знадобиться спеціальне навчання та підвищення кваліфікації.

Висновки. Аміак має потенціал стати важливим компонентом процесу переходу морського транспорту до вуглецево-нейтральних технологій. Його екологічні переваги роблять його цікавим для використання в суднопластві, проте для успішної реалізації цього потенціалу необхідно подолати існуючі технічні та економічні бар'єри. Необхідні подальші дослідження та розробки, щоб зробити аміак безпечним та ефективним паливом для суден майбутнього.

Сучасні навчальні програми підготовки і підвищення кваліфікації суднових механіків потребують суттєвого розширення і поглиблення висвітлення питань, пов'язаних з безпечною і ефективною експлуатацією обладнання і систем в яких використовується аміак. Без професійно підготовлених механіків існує невід'ємний ризик для безпеки людських життів, власності та навколишнього середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ammonia's role in the future of maritime decarbonisation. Maritimeinformed. URL: <https://surl.li/lwhqsw> (дата звернення 18.04.2025).
2. Clarksons: There are 130 ammonia-ready and 6 hydrogen-ready vessels on order. Offshore-energy.biz. URL: <https://www.offshore-energy.biz/clarksons-there-are-130-ammonia-ready-and-6-hydrogen-ready-vessels-on-order/> (дата звернення 18.04.2025)

3. Ammonia as Fuel Competencies and Training Project summary report. URL: <https://cms.zerocarbonshipping.com/media/uploads/documents/Ammonia-as-Fuel-Competencies-and-Training-Summary.pdf>. (дата звернення 18.04.2025).
4. International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels. IMO.ORG. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/IGF-Code.aspx>. (дата звернення 18.04.2025).
5. Future Fuels and Technology Project. IMO.ORG. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Future-Fuels-And-Technology.aspx> (дата звернення 18.04.2025).
6. DNV white paper guides shipowners on safe and scalable adoption of ammonia and hydrogen fuels. URL: <https://www.dnv.com/news/dnv-white-paper-guides-shipowners-on-scalable-adoption-of-ammonia-and-hydrogen-fuels/> (дата звернення 18.04.2025).
7. The future of Seafarers 2030: A decade of transformation. IMO.ORG. URL: <https://www.dnv.com/maritime/publications/the-future-of-seafarers-2030-a-decade-of-transformation/> (дата звернення 18.04.2025).

ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ ХДМА «ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ БАЗОВОЇ ЗАГАЛЬНОВІЙСЬКОВОЇ ПІДГОТОВКИ»

Нагрибельний Я.А., Акімов О.В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Відповідно до Закону України «Про основи національного спротиву», статті 6 «Основи підготовки громадян України до національного спротиву», у 2025/2026 навчальному році відбудеться впровадження в освітній процес ЗВО освітньої компоненти «Базова загальна військова підготовка». Згідно ст. 6 ЗУ «Про основи національного спротиву»: основою підготовки громадян до національного спротиву є їх загальновійськова підготовка, яка поділяється на початкову і базову підготовку (БЗВП). Початкова підготовка проводиться в закладах, які забезпечують здобуття повної загальної середньої освіти (ЗЗСО, ЗП(ПТ)О, ЗФПО). БЗВП проводиться у ВВНЗ, ВВП ЗВО, навчальних частинах (центрах) ЗСУ, інших утворених відповідно до законів України військових формувань, правоохоронних органів, закладах освіти із специфічними умовами навчання, що здійснюють підготовку поліцейських, а також у ЗВО всіх форм власності у порядку, визначеному цим Законом та НПА КМУ (Ст. 10¹ Закону України «Про військовий обов'язок і військову службу»).

Переваги проходження «Базової загальної військової підготовки» для студентів включають наступні аспекти:

- звільнення від базової військової служби. Тобто, студенти, які пройшли базову військову підготовку звільняються від проходження обов'язкової військової служби у віці від 18 до 25 років;
- розвиток особистих якостей. Базова загальна військова підготовка сприяє розвитку організаційних навичок, відповідальності та командної взаємодії;
- підвищення національної безпеки. Підготовка молоді до захисту держави і підвищує рівень обороноздатності країни;
- набуття навичок самопомочі, що є актуальним в умовах воєнного стану.

Аналогічні програми «Базової загальної військової підготовки» використовуються в декількох європейських країнах. Наприклад, у Польщі існують спеціалізовані курси військової освіти у середніх школах, які включають польову підготовку та підтримку Міністерства оборони. У Німеччині та інших країнах ЄС у закладах освіти проводяться програми військової освіти за стандартами НАТО, спрямованих на розвиток військових навичок та обороноздатності країн-учасниць. Мета та завдання БЗВП включає в себе:

- Забезпечення базових військових навичок
- Формування готовності до оборони
- Підвищення мобілізаційного потенціалу.

БЗВП в освітньому процесі:

- Для здобувачів вищої освіти БЗВП стартує з 01.09.2025.
- БЗВП у всіх ЗВО проводиться з громадянами України чоловічої статі (жіночої статі – добровільно), 2-ий рік навчання на основі ПЗСО, 1-ий рік на основі НРК5.
- БЗВП включається до навчальних планів ЗВО всіх форм власності як окремий освітній компонент (навчальна дисципліна) для здобувачів денної форми навчання.

СТРУКТУРА БЗВП



Рисунок 1 — Структура БЗВП

Типова програма навчальної дисципліни «Теоретична підготовка БЗВП» розроблена та затверджена Начальником Генерального штабу ЗСУ за погодженням з МОН України. На її підставі ЗВО розробляють власні програми, які погоджуються з ГШ ЗСУ. Ці програми можуть містити додаткові та/або деталізовані вимоги до результатів навчання цього освітнього компонента.

3. КУРС ТЕОРЕТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ, РОЗПОДІЛ ЧАСУ

№ з/п	Теми	Всього годин	Заняття		
			Теоретичні	Практичні	Самостійна підготовка
	Курс теоретичної підготовки				
1.	Національно-патріотична підготовка	2	1		1
2.	Психологічна підготовка	6	2	2	2
3.	Розвідувальна підготовка	2	2		
4.	Зв'язок та комунікація	2	1	1	
5.	Підготовка з РХБЗ (ХБРЯ-захисту)	6	3	1	2
6.	Військова топографія	4	1	1	2
7.	Інженерна підготовка (мінна безпека)	6	4		2
8.	Статути Збройних Сил України	6	1		5
9.	Домедична допомога	8	6	1	1
10.	Тактична підготовка	14	8		6
11.	Вогнева підготовка	30	5	18	7
12.	Виживання	2	1		1
13.	Міжнародне гуманітарне право	2	1		1
	Всього:	90	36	24	30

Рисунок 2 — Курс теоретичної підготовки

Курс теоретичної підготовки включає 3 кредити ЄКТС, 90 годин, 13 тем:

- Міжнародне гуманітарне право — 2 год.
- Виживання — 2 год.
- Вогнева підготовка — 30 год.
- Тактична підготовка — 14 год.
- Домедична допомога — 8 год.
- Статути Збройних Сил України — 6 год.
- Інженерна підготовка (мінна безпека) — 6 год.
- Військова топографія — 4 год.
- Підготовка з РХБЗ (ХБРЯ-захисту) — 6 год.
- Зв'язок та комунікація — 2 год.
- Розвідувальна підготовка — 2 год.

- Психологічна підготовка — 6 год.
- Національно-патріотична підготовка — 2 год.

Особи, які можуть бути звільненими від проходження БЗВП:

- визнані за станом здоров'я непридатними до військової служби;
- до набуття громадянства України пройшли військову службу в інших державах;
- проходили військову службу;
- мають сертифікат про проходження БЗВП та здобуття військово-облікової спеціальності.

Впровадження БЗВП в освітні програми та навчальні плани:

- для денної форми — окремий освітній компонент в межах обсягу освітньої програми;
- обов'язкова для включення до індивідуальних навчальних планів здобувачів відповідного року навчання, крім звільнених від проходження БЗВП;
- особи, звільнені від БЗВП, можуть усе рівно обрати для вивчення «Теоретичну підготовку БЗВП» або інші навчальні дисципліни обсягом не менше 3 кр. ЄКТС з числа запропонованих для вибору ЗВО.

Для викладання освітньої компоненти «Базова загальна військова підготовка» необхідно:

- визначення або утворення відповідного підрозділу, посад;
- викладачами БЗВП призначаються НПП/ПП, насамперед звільнені з військової служби, ветерани війни або військової служби, викладачі військових кафедр;
- окремі теми (модулі) «Теоретичної підготовки БЗВП» можуть викладатися різними викладачами;
- до БЗВП можуть залучатись громадські організації та об'єднання, у тому числі ГО ветеранів війни.

Підсумковий контроль та оцінювання вищезазначеної освітньої компоненти полягає у тому, що його рекомендується планувати у формі диференційованого заліку (до початку курсу практичної підготовки). Відмова від вивчення «Теоретичної підготовки БЗВП» здобувачами, для яких вона є обов'язковою, отримання незадовільної оцінки за результатами підсумкового контролю є підставою для відрахування (пункти 4 або 5 частини першої статті 46 ЗУ «Про вищу освіту»). Якщо маленькі заклади вищої освіти та закладах фахової професійної освіти з програмами вищої освіти не мають можливості проводити «Базову загальну військову підготовку», то вони повинні, за згодою МОН, укласти договір про надання та оплату освітніх послуг з БЗВП з іншим ЗВО або ВВНЗ, ВНП ЗВО, який зможе забезпечити таку підготовку.

Фінансові аспекти БЗВП полягають у тому, що:

- фінансування БЗВП в межах бюджетного фінансування, коштів засновників приватних ЗВО та з інших джерел, не заборонених законодавством;
- БЗВП не є платною послугою для здобувачів освіти;
- БЗВП для контрактників передбачається в кошторисі закладу вищої освіти;
- МОН розраховує підтримати БЗВП для контрактників у державних ЗВО за рахунок резервного фонду.

Переваги у разі успішного проходження «Базової загальної військової підготовки» полягають у тому, що здобувач освіти звільняється від проходження базової військової служби. Також, залежно від результатів практичного курсу:

- здобуття військово-облікової спеціальності, набуття навичок та практики володіння зброєю;
- доступ до програми підготовки офіцерів запасу, зокрема за бюджет, і служби в силових структурах;
- виключення випробування при прийнятті на військову службу за контрактом.

Очікувані результати від введення освітньої компоненти «Базова загальна військова підготовка» полягають у:

- покращенні рівня готовності населення до оборони;
- посиленні національної безпеки;
- збільшенні числа підготовлених резервістів.

Висновки. Отже, базова загальновійськова підготовка сприятиме зміцненню національної безпеки та підвищенню обороноздатності населення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Авдеев, І. В. Військова підготовка: теорія і практика. Київ: Видавництво «Освіта», 2019.
2. Бойко, О. Г., та ін. Основи військової підготовки. Харків: ХДМА, 2020.
3. Гриценко, І. І. Військова справа: підручник. Львів: Армія України, 2018.
4. Даниленко, М. І. Національна безпека та оборона держави. Одеса: Видавництво «Моряк», 2017.
5. Єрмоленко, В. Б. Підготовка резервістів та військовослужбовців. Чернігів: Видавець, 2021.
6. Жуков, А. В. Сучасні підходи до військової підготовки. Дніпро: Видавництво «Захист», 2019.
7. Іванов, С. П. Теорія і практика військового навчання. Полтава: Видавництво «Полтавщина», 2020.

ПРО НЕОБХІДНІСТЬ ВВЕДЕННЯ НОВИХ ДОСЯГНЕНЬ ФІЗИКИ ПРИ ВИКЛАДАННІ ДИСЦИПЛІН ФІЗИКО-ТЕХНІЧНОГО ЦИКЛУ

Настасенко В.О.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Дисципліни фізико-технічного циклу у навчальних закладах вищої освіти (НЗВО) забезпечують потрібний рівень компетенцій, як здобувачів вищої освіти, так і майбутніх спеціалістів.

Актуальність і постановка задачі досліджень. В сфері спеціальних професійних дисциплін витримується сучасний рівень їх розвитку, оскільки він пов'язаний з оновленнями в морській галузі, але при викладанні технічної фізики сучасні наукові досягнення враховуються мало і залишаються на рівні минулого XX століття. Особливо важливим знання нових досягнень є для тих здобувачів і спеціалістів, які пов'язані з науковими дослідженнями і розробкою нової техніки і сучасних технологій, при цьому в технічних дисциплінах вони мають підґрунтя на основі загальних законів фізики. Тому у виконуваній роботі загострюється увага до проблем їх врахування при викладанні дисциплін технічної фізики. Пропозиції що до усунення цих недоліків складають головну мету виконуваної роботи, а їх обґрунтування – наукову новизну. Врахування цих проблем є актуальною задачею, оскільки підвищує рівень компетенції здобувачів і спеціалістів.

Нові результати роботи і їх обговорення. Фізика — одна з найбільш прогресуючих наук в сьогоdnішній час, тому слідування за ними і врахування в оновлених дисциплінах є складною і трудомісткою проблемою. Найбільш повно вона може вирішуватися в спеціальних дисциплінах для підготовки спеціалістів конкретних напрямків фізики. Тому для спеціалістів навчальних закладів відповідного профілю вони повинні бути обмежені головним напрямком їх підготовки, а їх поглиблене вивчення повинно бути введено в конкретні спеціальні дисципліни. В курсах технічної фізики викладаються лише базові природничі закони. Однак і вони теж оновлюються. Наприклад, це стосується закону Всесвітнього тяжіння Ньютона, сталої Планка і законів відбивання та переломлення світла, де в XXI столітті отримані нові наукові досягнення. Здобувачі вищої освіти повинні знати ці базові закони, оскільки жодний здобувач, який їх не знає, не відповідає рівню вимог до якості вищої освіти, що передбачають загальні знання і компетенції в сфері дисциплін природничого циклу. Відсутність цих знань обов'язково позначиться на інтелектуальному рівні та IQ спеціаліста і навпаки, ці знання підвищать їх. З урахуванням цього необхідність змін при викладанні вказаних тем в технічній фізиці була запропонована в [1]. Вони рекомендовані для всіх НЗВО, в т.ч. морського профілю.

Закон Всесвітнього тяжіння [2] впливає на рух планет, який вивчається в астрономії, а ці знання використовується в прикладних суднових вимірах орієнтації судна. Цей закон діє при осаді забруднюючих речовин в паливі та у використаних суднових водах. Стала і енергетичний закон Планка [2] використовуються у теплофізичних та термодинамічних процесах, які вивчаються у відповідних дисциплінах вищих навчальних закладів. Закони оптики і фотоніки [2] використовуються у різноманітних вимірювальних приладах. Тому новітні знання в цих сферах поглиблюють рівень компетенції здобувачів вищої освіти, не тільки в морських закладах, а й інших, що робить актуальним і важливим широке вивчення цих досягнень.

Закон Всесвітнього тяжіння Ньютона [2] встановлює зв'язок дії сили тяжіння F_G між двома крапковими фізичними об'єктами масою m_1 і m_2 , та квадратом відстані r^2 між ними в рамках залежності (1):

$$F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2} (H). \quad (1)$$

де G – гравітаційна стала: $G = 6,67430(15) \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кгс}^2}$.

Іноді гравітаційну сталу G називають константою Ньютона. Це — груба помилка, оскільки вона є константою Джоллі-Кавендіша. Кавендіш її вперше визначив у 1798 році, але він не пов'язував знайдений коефіцієнт із законом тяжіння (1), а використовував G лише для розрахунку маси M Землі в рамках Гравітаційного параметра — як комбінацію GM [2]. Окремо константа G для систематичного використання, в т.ч. в законі (1), була введена Джоллі після експериментів у 1878 році [2], з того часу закон (1) отримав сучасний вигляд.

Закон (1) був визначений Ньютоном на базі тяжіння Землі і Місяця, який рухався навколо Землі по орбіті, близької до кругової. Тому у залежності (1) радіус r був прийнятий сталою величиною. Однак рух планет Сонячної системи не є круговим, а еліптичним, згідно законів Кеплера, тому закон (1) не відповідає реальним параметрам матеріального світу.

Усунення вказаного недоліку виконане в [3]. При цьому постійність величини радіусу r усунена за рахунок використання координат x_i^2, y_i^2 поточних точок i траєкторії за законами Кеплера, що зводить закон (1) до нового вигляду (2):

$$F_G = G \frac{m_1 m_2}{x_i^2 + y_i^2} (H). \quad (2)$$

Для об'єктів з просторовою формою траєкторії додається 3-я координата z_i^2 . Новий розширений закон Всесвітнього тяжіння виражається залежністю (3):

$$F_G = G \frac{m_1 m_2}{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2} (H). \quad (3)$$

Варіанти законів (2) (3) є достовірними і не суперечать іншим законам матеріального світу і діють на всіх його рівнях, від початкового рівня - квантово-механічного, елементарних часток і атомів, до орбіт планет і зірок та до всього Всесвіту. Тому вони пропонуються для викладання даних тем у закладах освіти і введення їх в усі підручники та довідники з фізики, в тому числі в загальні і фахові енциклопедії.

Енергетичний закон М. Планка (4) був відкритий ним у 1900 році [2]. Він встановлює зв'язок між енергією випромінювання E і частотою ν в $Гц$ цього випромінювання:

$$E = h\nu \text{ (Дж)}, \quad (4)$$

де h — стала Планка,

$$h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ (exactly) Джс} = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ (exactly) } \frac{\text{кгм}^2}{\text{с}},$$

Однак при використанні закону (4) виникають протиріччя. У межах частоти ν , при якій формується максимальний квант енергії (5), вона становить величину ν_P (6), що утворюється за 1 секунду коливань:

$$E_P = \sqrt{\frac{hc^5}{G}} = 4,90317 \cdot 10^9 \text{ (Дж)}. \quad (5)$$

$$\nu_P = \frac{E_P}{h} = \frac{4,90317 \cdot 10^9 \text{ (Дж)}}{6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ (Джс)}} = 7,39982 \cdot 10^{42} \text{ (с}^{-1}\text{)}. \quad (6)$$

Секундна тривалість ν_P означає, що енергетичний закон (4) М. Планка діє лише після 1-ї секунди народження Всесвіту. Це суперечить енергіям, що виникли у Всесвіті в початковий момент після Великого Вибуху [2]. Крім того, за будь-якої частоти випромінювання ν , енергія (3) є її величиною, отриманою за 1 с, що не є її "миттєвим" значенням. Це спотворює реальну картину стану енергетики матеріального світу, особливо при взаємодії елементарних часток, час життя яких значно менший за 1 с.

Усунення вказаного недоліку виконане в [4], де замість частоти випромінювання ν пропонується використовувати його період T , який для планківських величин має значення t_P (7). У цьому випадку максимальний квант енергії E_P (5) буде отриманий із залежності (8):

$$t_p = \sqrt{\frac{hG}{c^5}} = 13,51385 \cdot 10^{-44} (c), \quad (7)$$

$$E_p = \frac{h}{t_p} = \frac{6,62607015 \cdot 10^{-34} (Джс)}{13,51385 \cdot 10^{-44} (c)} = 4,90317 \cdot 10^9 (Дж). \quad (8)$$

Аналогічно всі інші величини хвильової енергії повинні бути виражені через період T хвильових коливань матеріальних об'єктів, що дозволяє отримати новий енергетичний закон (9), який відображає миттєвий стан і процеси, що відбуваються в матеріальному світі, тому він має замінити енергетичний закон (4), який зміщується на 2-й план як додатковий:

$$E = \frac{h}{T} (J). \quad (9)$$

Новий варіант енергетичного закону Планка (9) пропонується ввести у всі підручники та довідники з фізики, в т.ч. в загальні і фахові енциклопедії, оскільки він більш точно описує параметри матеріального світу.

Основними законами оптики є закони відбиття і переломлення променів світла при їх взаємодії з поверхнями розділу різних фізичних середовищ. Початкове їх визначення було запропоновано Евклідом в II столітті до н.е., а остаточно сформульовано в XIX столітті в роботах Френеля і Гюйгенса, основаних на хвильових теоріях Юнга і далі — Максвела [2].

Однак в рамках новітніх досліджень [5] була обґрунтована нова хвильова структура фотонів, що витікає із релятивістського γ -фактору Лоренца [2], яка показана на фігурі 1.

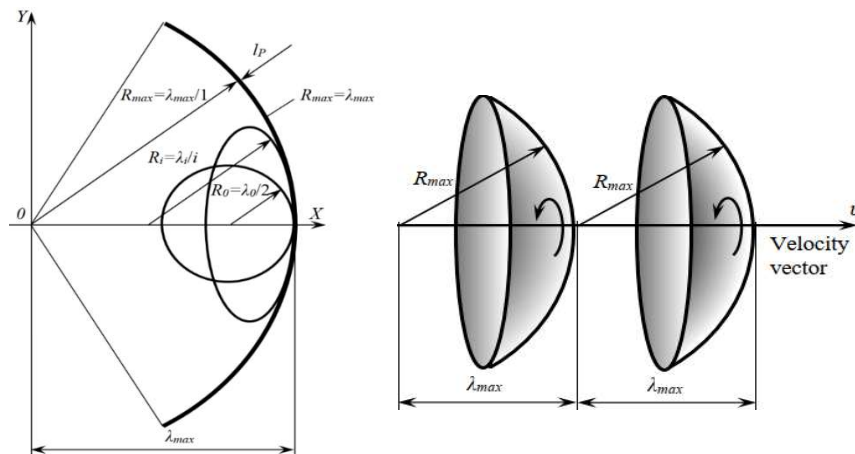


Рисунок 1. — Трансформація фотона і формування його хвиль в рамках законів релятивізму

На цій базі формування хвиль, в [6] були побудовані нові геометричні моделі відбиття і переломлення світла (рисунок 2).

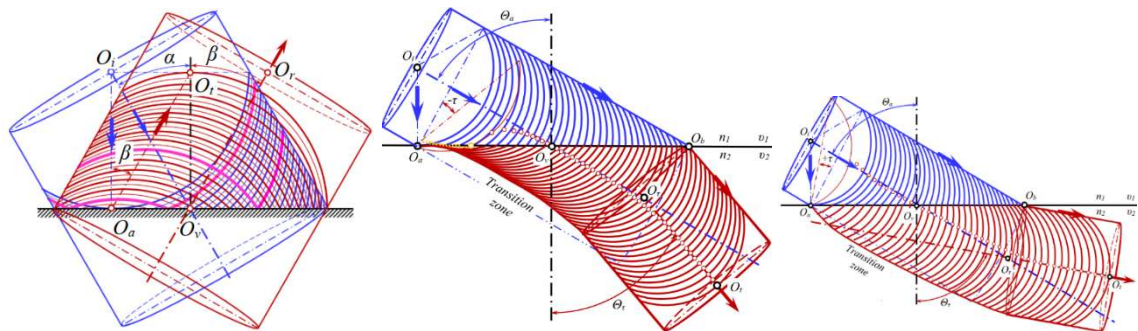


Рисунок 2. — Формування законів відбиття і переломлення світла на базі параметрів хвиль балістичних фотонів

Аналіз розроблених моделей показав, що відбиття і переломлення починається з 1-ї крапки контакту хвилі з поверхнею і завершується на останній, а не з середньої крапки, як це традиційно вважалося раніше.

Нові схеми більш точно виражають фізичний зміст процесів відбиття і переломлення світла і діють у всіх сферах їх використання, тому є універсальним у всьому діапазоні хвиль випромінювання, що відповідає законам фізики глобального рівня. Нові схеми пропонується ввести в усі підручники та довідники з фізики, в т.ч. в загальні і фахові енциклопедії, оскільки вони більш точно описують параметри матеріального світу.

Вказанні нововведення отримали схвалення на 5 міжнародних конференціях, в т.ч. — за кордоном. Пропонується обговорення вказаних проблем на даній конференції

Висновки.

1. Компетенції спеціалістів і здобувачів вищої освіти оцінюються не тільки рівнем їх професійної підготовки, а й загальним рівнем наукових знань, які складають його IQ.

2. Важливими показниками серед них є знання базових законів фізики, в т.ч. Закону Всесвітнього тяжіння Ньютона, енергетичного закону і сталої Планка, законів відбивання і переломлення світла, в яких в останні роки відбулися суттєві зміни.

3. Врахування змін в законі Всесвітнього тяжіння Ньютона, енергетичному законі Планка, законах відбивання і переломлення світла при викладанні дисциплін технічної фізики розкривають нові можливості для професійного росту здобувачів вищої освіти і спеціалістів на всіх рівнях та для проведення нових наукових досліджень аспірантами і молодими вченими, тому пропонується для введення у відповідні дисципліни ХДМА.

4. Нові варіанти законів Ньютона, Планка, відбивання і переломлення світла отримали підтримку на міжнародному рівні і рекомендуються для викладання відповідних тем у курсах фізики в усіх навчальних закладах та для введення в усі підручники і довідники з фізики, а також у відповідні розділи енциклопедій світу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Настасенко В.О. Про необхідність внесення змін при викладанні тем про закон всесвітнього тяжіння Ньютона, енергетичний закон Планка і закони для сфер Шварцшильда. Актуальні питання у сучасній науці (Категорія Б Серія «Педагогіка») 2023. № 10(16) 2023.С. 674 – 686. [https://doi.org/10.52058/2786-6300-2023-10\(16\)-673-686](https://doi.org/10.52058/2786-6300-2023-10(16)-673-686)

2. Яворський Б. М., Детлаф А. А., Лебедев А.К. Довідник з фізики для інженерів та студентів вищих навчальних закладів. – К. 2020. – 1040 с. ISBN: 966-692-818-3

3. Nastasenko V. (2023) On the Need for Correction of Newton's Law of Universal Gravity within Claddical Physics. Journal of Astrophysics & Aerospace Technology. 07 August, 2023, DOI: 10.37421/2329-6542.2023.11.261

4. Valentyn Nastasenko (2023). On The Need to Correct the Energy Law of M Planck and Physical Meaning of His Constant, J of Physics & Chemistry 1(1), 01-05. https://cskscientificpress.com/articles_file/784- article1694427798.pdf

5. Valentyn Nastasenko (2024) New Justifications for the Ballistic Structure and Motion Scheme of Photons. Journal of Physics & Optics Sciences. SRC/JPSOS-349. Volume 6(12): P. 1-8 DOI: doi.org/10.47363/JPSOS/2024(6)283

6. Valentyn Nastasenko (2025) The Laws of Reflection and Refraction of Light Waves within the Framework of a New Interpretation of Ballistic Photons Journal of Physics & Optics Sciences 7(2): 1-11. DOI: [10.47363/JPSOS/2025\(7\)296](https://doi.org/10.47363/JPSOS/2025(7)296)

SEAFARERS' TRAINING IN FOREIGN LANGUAGE WRITTEN COMMUNICATION THROUGH THE COMPETENCY-BASED APPROACH PARADIGM

Tokarieva O. V.

*Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)*

Introduction. The competency-based paradigm involves meeting the requirements for achieving communicative and professional success during business communication in a foreign language. According to the findings of modern methodological science, the content of training serves the purpose of learning and is considered as something that should be taught to students in the educational process. In the competency-based paradigm, the goal of teaching a foreign language or its aspect is the formation of a foreign language communicative competence. The goal of foreign language training for seafarers in the field of written business communication in a foreign language is the formation of a number of components of foreign language communicative competence (subcompetencies) that allow them to successfully carry out foreign language professional communication. Implemented in the process of forming foreign language professional subcompetencies, the content of training contributes to the achievement of various aspects of the learning goal.

The relevance of the study is based on the need to develop the content of maritime transport personnel training in written business communication in a foreign language using the competency-based approach regulations.

In this study, we will solve the following problem: we will clarify the purpose of training seafarers in foreign language written communication through the competency-based approach paradigm.

Research results. In the light of the new competency-based paradigm, the desire to master a foreign language as a means of communication taking into account the sociocultural characteristics of the communication partner determined the goal of training as the formation of foreign language communicative competence in students. The composition of foreign language communicative competence is quite dynamic and is subject to constant updating and complexity to solve the problems of effective interaction in the modern social environment.

The main goal of training seafarers in the field of foreign language written communication is to master business written speech in a foreign (English) language within certain genres and types of texts that make up the main body of ship discourse. From the standpoint of the competency-based approach, the goal of training is defined as the formation of foreign language professional written and speech competence among students in maritime specialties.

The study of the ship documentation as a certain type of discourse made it possible to note its following features:

- 1) the linguistic basis of the ship's written discourse is maritime, business and legal terminology (lexical component), and a certain set of grammatical constructions adopted in English-language business written communication;
- 2) the ship's written discourse is carried out in the international space in the conditions of interaction between representatives of different cultures;
- 3) the communicative field of the ship's written discourse is limited to solving problems of professional activity;
- 4) the ship's written discourse is regulated by the rules of international business communication [1, p. 68].

An analysis of the characteristics of the ship's written discourse allowed the author to come to the conclusion that the composition of foreign language professional written and speech competence as a goal of training seafarers in written communication in a foreign language must include two groups of subcompetencies reflecting the skills to be mastered: professional communication skills and cultural and business skills. Professional communicative skills are

developed with the formation of linguistic, speech, social and personal, strategic and discursive subcompetences. Students master cultural and business skills while developing their sociocultural and pragmatic subcompetencies.

Linguistic competence in the proposed learning conditions provides for the ability to understand and produce in writing an infinite number of sentences competently constructed linguistically with the help of linguistic signs and rules for their connection at all language levels, including spelling, lexical, grammatical and syntactic ones.

Speech competence is based on students mastering ways of formulating and expressing thoughts during foreign language communication, taking into account the norms, usage and traditions of the language being studied [2, p. 99].

Most scientists agree that an integral component of communicative competence is social competence, generally understood as the need for relationships with other people. In the conditions of professional communication, interaction between members of a single team or group (crew) occurs in the course of solving everyday and work problems. Interaction with colleagues implies both satisfaction of the need for communication, or obtaining necessary production information as well as a confident personal and professional position that deserves respect from other employees. In this regard, we consider it appropriate to use the term social and personal competence as a component of foreign language professional written and speech competence [3, p. 500].

Recent years research has widely considered the formation of strategic, or compensatory, competence as a necessary component of communicative competence. The basis of strategic competence is the concept of strategy, the essence of which is that the speaker (writer) has a plan of speech actions available to the student for the language means activation, and sociocultural knowledge in the course of foreign language speech communication to implement and maintain the communication process. Compensatory competence focuses on developing students' ability to compensate for lack of resources (linguistic, speech, sociocultural, experience of foreign language communication, etc.) that impede successful communication. Despite the difference in concepts, the formation of both strategic and compensatory competencies pursues the same goals: to develop in students the ability to fully communicate with insufficient language and speech means, lack of experience communication in a foreign language, ignorance of etiquette norms of speech behavior, etc. The student must develop the ability to construct communication that is adequate to the situation using the linguistic means available to him in his arsenal [4, p. 11].

The next necessary component of foreign language professional written and speech competence, which students need to master is a discursive competence. Discursive competence is defined in modern methodological literature as the ability to understand and create various types of communicative statements characterized by integrity, logic, coherence in various speech registers and functional styles, with a choice of speech means that realize the communicative intention of the speaker (writer) and corresponding to the communication situation.

The professional activities of maritime personnel take place in conditions of social and cultural interaction as part of a multinational ship crew and with various services in foreign countries, ports and at sea. That is why we consider it necessary to develop sociocultural competence among maritime personnel as a component of foreign language professional written and speech competence. The lack of developed sociocultural competence among seafarers leads to failures in professional communication on the ship due to cultural differences between crew members. Consequences of such violations may turn out to be tragic. Another aspect of cultural and business communication in the professional activities of seafarers requires pragmatic awareness of communication participants. Business correspondence and other types of foreign language written statements of maritime discourse are based on pragmatic speech actions, namely: request certain information, order or persistently ask to carry out any necessary action, refuse to perform an action, confirm facts, etc. The use of such speech actions implies influencing a communication partner to achieve a certain practical goal. Speech influence reflects the pragmatic aspect of a person's professionally oriented communicative activity. Accordingly, the next component of foreign language professional written and speech competence is pragmatic

competence. Modern researchers define pragmatic competence as follows:

- 1) ability to successfully convey the meaning of the statement to the addressee taking into account the sociocultural background and communication situation;
- 2) possession of a system of means and techniques of influencing the interlocutor ensuring successful communicative interaction;
- 3) usage of linguistic means to achieve communication goals taking into account a number of factors of professional communication, such as the communication situation, context of activity, and tasks of professional communication [5, p. 9].

Thus, the goal of training seafarers in foreign language written communication in the competency-based approach paradigm can be considered as the formation of a number of subcompetencies that make up foreign language professional written and speech competence.

Conclusions. A modern approach to learning requires the formulation of learning goals in a competency-based form. To master the ability to conduct business written communication in a foreign language among maritime students, foreign language professional written and speech competence must be developed. This competence represents the desired training goal. The study of various aspects of business written communication in maritime practice has determined a number of learning goal components presented in this study as components of the foreign language professional written and speech competence.

REFERENCES

1. Пометун О. Компетентнісний підхід — найважливіший орієнтир сучасної освіти. *Рідна школа*. 2005. № 1. С. 65–69.
2. Прийма С. Компетентнісний підхід як імператив реформування вищої освіти *Наукові записки КДПУ імені Володимира Винниченка. Серія: Педагогічні науки*. 2007. Вип. 72, ч. 1. С. 95–100.
3. Життєва компетентність особистості: від теорії до практики : Наук.-метод. посіб. / І. Г. Єрмаков та ін. Запоріжжя, 2005. 633 с.
4. Компетентнісний підхід у сучасній освіті: світовий досвід та українські перспективи: Бібліотека з освітньої політики / Бібік Н. М. та ін. Київ, 2004. 112 с.
5. Машталер А. М. Розвиток професійної компетентності офіцерів-прикордонників у системі підвищення кваліфікації засобами дистанційного навчання : авторефер. дис.канд. пед. наук : 13.00.04. Хмельницький, 2016. 16 с.

DEVELOPMENT COMPETENCIES THROUGH MODELING MICROPROCESSOR CONTROL SYSTEMS IN POWER ENGINEERING

Ushkarenko O.O., Treshniuk A.I.

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding
(Ukraine)*

Introduction. Modeling as a tool for use in the educational process and scientific research in the field of electrical engineering and power electronics has been increasingly used. The papers [1, 2] describe various modeling tools and modeling objects. When modeling ship electrical power systems and its parts, problems arise related to the accuracy of mathematical calculations, the coordination of physical and model time, and the organization of data exchange between various programs in which control objects and their control systems are modeled [3]. One of the most popular programs for modeling processes in electric power systems is Matlab Simulink [4]. This program contains a large number of models of electrical power devices that are easily adapted to specific parameters and allow researchers to solve a wide variety of problems. But still, its possibilities are not unlimited, and for many practical problems its use is accompanied by significant difficulties. One of the problems in modeling processes in the electric power industry is the lack of the ability to use microprocessor systems with their own control algorithms in Matlab Simulink. In [5], it is proposed to create a very simplified microprocessor model to solve the modeling issue. However, this approach significantly limits the range of problems to be solved, since it allows modeling the most basic capabilities of the microprocessor. The Proteus simulation software for electronic systems eliminates these shortcomings. Using special communication modules, it is possible to simulate microprocessor control systems and test their operation on a model created in another program, for example Matlab.

The aim of the research is to enhance the development of professional competencies in engineering and technical education by applying a multi-computer modeling approach that integrates Matlab Simulink and Proteus. This approach enables students and specialists to gain hands-on experience in designing, analyzing, and testing microprocessor-based control systems for power engineering. By simulating real-world scenarios, it helps improve algorithmic thinking, problem-solving skills, and the ability to work with modern digital tools, ultimately preparing professionals for the challenges of automation and control in the energy sector.

The Matlab Simulink software has limited functionality to simulate microprocessor control devices. Therefore, the important task is to create a model of power system in Matlab, which could be controlled by a microprocessor system created in another modeling system. At the same time, the control system, in fact, like a ship electric power plant, can be either virtual or real, and communication with a computer is carried out via the RS232 interface. To model a microprocessor control system, the Proteus CAD system is used, which allows researchers to accurately model and debug complex devices that may contain several microcontrollers simultaneously.

An example of creating a multi-computer model of a power plant and an automated operator's workstation was shown in [6]. In a similar way, the model of a power plant created in Matlab is paired with a model of a microprocessor control system created in Proteus. To simulate the control process, two computers were used connected via a serial port using a null modem cable. The Proteus simulation system has a COMPIM component that allows a virtual device to connect to a real computer via COM port. The model does not need to use an RS232 level converter like MAX232 chip. In Fig. 1 it is shown a diagram of a microprocessor control system that controls a DC drive motor that changes the position of the fuel rack of a diesel unit as part of a ship's electrical power system. The circuit contains a liquid crystal alphanumeric indicator, which displays the values of the diesel engine speed, the angle of rotation of the fuel rack and the active power supplied by the diesel engine.

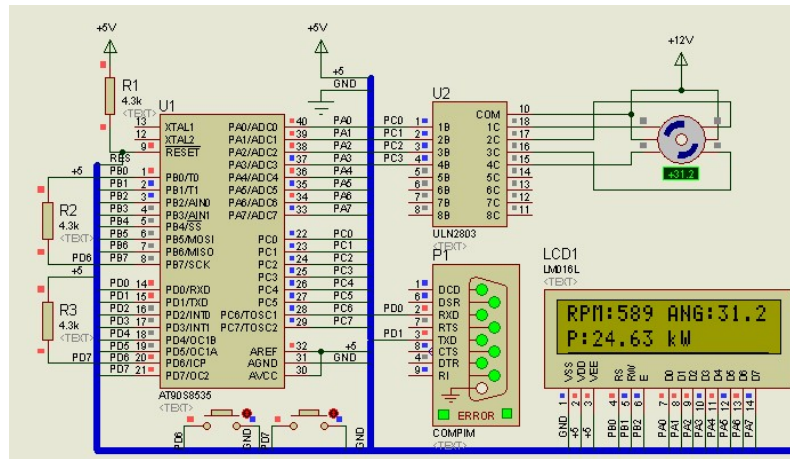


Figure 1 — The model of a diesel engine control system

In Fig. 2 a model of a microprocessor control system and an oscilloscope window in which oscillograms of voltages are shown. When the reference voltage value or the actual value on the generator buses changes, the firing angle of the thyristors changes, which will lead to a change in the value of the synchronous generator excitation current.

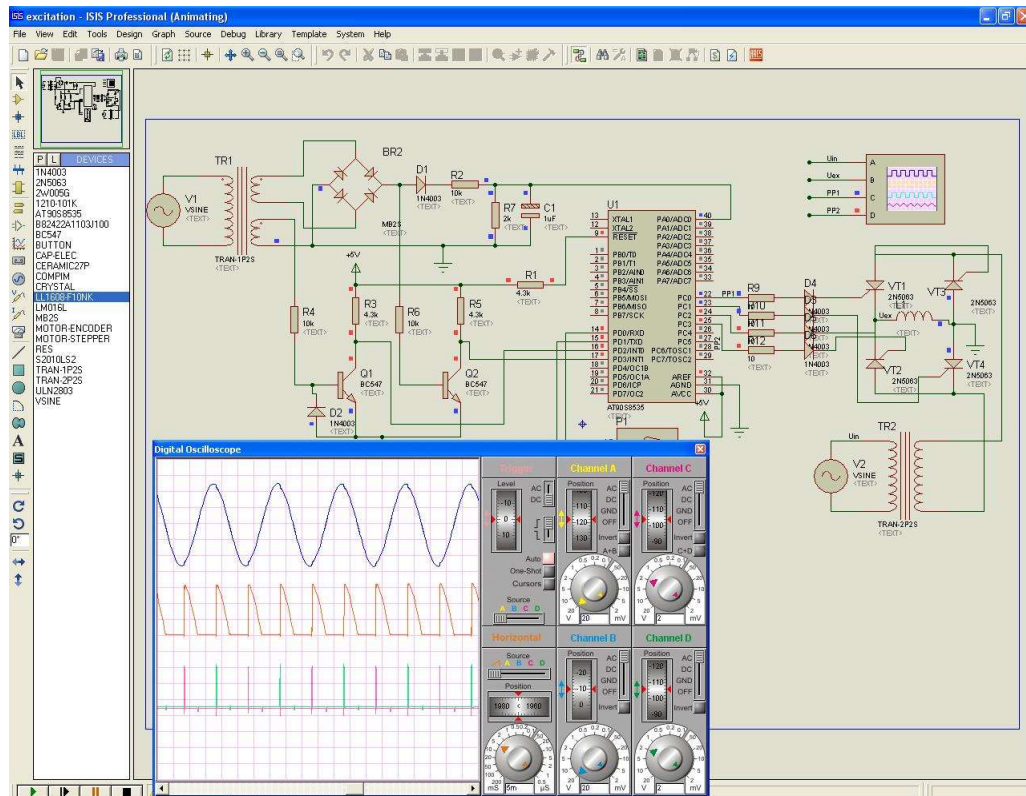


Figure 2 — The model of a synchronous generator excitation control system

When starting the simulation process, it is possible that the simulation time scale will be different for the power plant model and the control equipment. If, using Matlab, some physical object is controlled, then it must be done in real time. In this case, it is necessary to use a special block — Real Time Blockset, in which the only parameter is configured — the time interval between calculations of the next modeling iteration. However, real-time operation is possible on powerful computers.

Using the proposed approach to modeling microprocessor control systems in power engineering together with the physical modeling described in [7] allows to develop or acquire several key competencies. Technical competencies include designing microprocessor-based control systems, the ability to develop and analyze control algorithms for power systems, modeling

power engineering processes using Matlab Simulink and Proteus for building and testing complex electronic systems, and analyzing the efficiency of control systems by performing simulations and evaluating the parameters of microprocessor controllers. Engineering competencies involve the development of algorithmic thinking, the ability to create optimal control and real-time data processing algorithms, working with hardware such as microcontrollers, sensors, and other components of control systems, and integrating digital technologies into transportation systems by understanding the principles of automation in the energy and transportation sectors. Digital and software competencies include working with modern software tools like Matlab Simulink, Proteus, and other platforms for simulation and process analysis, embedded systems programming using languages such as C or C++ to develop control code for microprocessor systems, and data processing and visualization, which involve analyzing collected data and presenting results in a structured format.

Conclusion. Using the communication capabilities of the Matlab Simulink and Proteus modeling environment allows researchers to create multicomputer models with microprocessor control systems for ship power plants objects, in particular diesel-generator units. This approach allows developers to transfer microprocessor control system software to real devices without the need to change it, which reduces development time and allows all software errors to be identified in advance based on simulation results. The creation of a multicomputer model of a ship power plant will allow students and researchers to combine both power electrical engineering and microprocessor control systems, which opens up wide possibilities for modeling not only energy processes, but also control processes, which allows for a comprehensive explore the properties of the systems being studied. The use of modeling for microprocessor-based control systems in power engineering helps develop a wide range of skills that are crucial for preparing specialists in the fields of energy, automation, and transport. The combination of engineering, digital, analytical, and communication skills ensures that professionals are well-equipped to work in an innovative and technological environment.

REFERENCES

1. H. Le-Huy. Modeling and simulation of electrical drives using Matlab/Simulink and Power System Blockset / Le-Huy H. // In Proc. of The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON'01), Denver/Colorado. 2016. P. 1603–1611.
2. Рябенський В.М. Моделювання електронних, електротехнічних та електроенергетичних систем : навч. посіб. / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко, Махмуд М.С. Аль-суод. Миколаїв: Ліон, 2024. 424 с.
3. Abdullah Awwad. Simulation-Based Analysis of Dynamics of Autonomous Electric Power Systems / Awwad Abdullah, Al-Soud Mahmoud, Al-Quteimat Alaa, Ushkarenko Oleksandr // Mathematical Modelling of Engineering Problems. 2022. No. 9. P. 887–896.
4. Aiz D. Simulink Matlab applications program in power system: Study of effect of simulink matlab program acceptance in power system analysis / D. Aiz, P. Gendroyono // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. No. 1098(022104). P. 1–5.
5. Szostek Karol. Sequential processor design and simulation in MATLAB/Simulink environment / Karol Szostek // 2014. No. 90(1). P. 119–121.
6. Рябенський В.М. Моделювання мікропроцесорних систем управління газодизель-генераторними установками / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко, В.І. Воскобоєнко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Львів: НУ «Львівська політехніка». 2009. №637. С. 78–82.
7. Ushkarenko O.O. Peculiarities of usage the physical modeling of ship electric power systems in the educational process / O.O. Ushkarenko, A.I. Treshniuk // In Proc. of The XVI International Scientific and Practical Conference «Modern Information and Innovation Technologies in Transport (MINTT – 2024)», May 29–31, 2024, Odesa. Odesa: Kherson State Maritime Academy, 2024. P. 355–357.

СЕКЦІЯ:

**ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ «ЗЕЛЕНОГО»
ТРАНСПОРТУ: ДЖЕРЕЛА ТА НАКОПИЧУВАЧІ ЕНЕРГІЇ,
НОВІТНІ МАТЕРІАЛИ, БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

SECTION:

**IMPLEMENTING “GREEN TRANSPORT”: ENERGY SOURCES
AND STORAGE DEVICES, LATEST MATERIALS, OPERATIONAL
SAFETY**

ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ БАЛАСТНИХ ВОД

Бойко М.І.¹, Макогон А.В.²

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
(Україна)

²Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України
(Україна)

Вступ. Міжнародна спільнота розробила законодавчі норми, рекомендації та конвенції для суворого контролю якості баластних вод. Однією з ключових угод є Конвенція МАРПОЛ, яка регулює забруднення судноплавством, а також Конвенція про управління баластними водами (*Ballast Water Management Convention*, 2004), яка встановлює стандарти D-1 і D-2 для скидання баластних вод. Стандарт D-1 (*Ballast Water Exchange Standard*) передбачає, що судно повинно здійснювати обмін баластної води у відкритому морі, на відстані не менше 200 морських миль від найближчого берега і на глибині понад 200 метрів. При цьому обмін повинен бути ефективним не менш ніж на 95 % за об'ємом. D-1 є тимчасовим рішенням і поступово заміщується стандартом D-2. Стандарт D-2 (*Ballast Water Performance Standard*) набрав чинності для всіх нових суден у вересні 2024 року і регулює допустимий вміст мікроорганізмів у баластній воді перед скиданням. Відповідно до цього стандарту, баластна вода повинна містити: *Escherichia coli* — менше 250 КУО (КУО — колонієутворюючі одиниці) на 100 мл, *Vibrio cholerae* — менше 1 КУО на 100 мл, кишкові ентерококи — менше 100 КУО на 100 мл. Кількість живих організмів: <10 організмів на 1 м³ (для організмів розміром ≥ 50 мкм), <10 організмів на 1 мл (для організмів розміром 10–50 мкм).

Актуальність досліджень. Впровадження сучасних енергоефективних технологій обробки баластної води, щоб вони відповідали стандарту D-2, є актуальним завданням для судовласників, оскільки це є умовою виконання ними міжнародного законодавства, що в свою чергу сприятиме зменшенню екологічних ризиків і фінансових витрат, збереженню морських екосистем та запобігатиме поширенню інвазивних і патогенних організмів.

Постановка задачі. Використання сильних електричних полів з напруженістю, що перевищує 10 кВ/см, та розрядів різних видів є перспективним для багатьох електротехнологій. Щоб забезпечити дію всіх високоінтенсивних факторів розрядів (сильні електричні поля, ультрафіолетове випромінювання, активні частки плазми) під час обробки, їх слід здійснювати в газі безпосередньо біля поверхні води або в газових бульбках у ній, оскільки час життя високореактивних частинок, таких як радикалів ОН і атомарного кисню О, становить менше однієї мілісекунди.

Технології засновані на використанні високовольтних імпульсних розрядів та сильних електричних полів можуть використовуватися і для знезараження баластних вод. Перед авторами стояла задача експериментально дослідити вплив комплексу високовольтних імпульсних впливів (КВІД) [1] на мікробіологічну забрудненість води за допомогою сильного електричного поля без розрядів в робочих камерах [2] та за допомогою методу на основі високовольтних розрядів в газових бульбках у ній [3]. Дослідження проводилися в різних режимах обробки в стаціонарних і проточних робочих камерах на КВІД установці і на 3 МВт макеті з розрядами у газових бульбках у воді.

Фото працюючої КВІД установки під час проведення експериментів показано на рис. 1 А. На КВІД установці варіювали час обробки від 10 с до 30 с. На рис. 1 Б показана робоча камера з міжелектродним проміжком 22 мм.

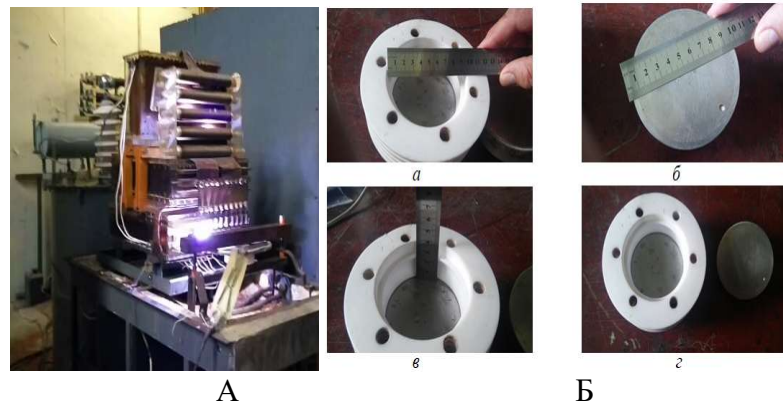


Рисунок 1 — А — Фото КВІД-установки при обробці води;
Б – Робоча камера з міжелектродним проміжком 22 мм: а — корпус із фторопласта, б — кришка, в — міжелектродний проміжок 22 мм, з — кришка біля камери

На рис. 2 представлено фото реактору-трубопроводу для обробки води в потоці з трьома вузлами обробки за допомогою розрядів у газових бульках.



Рисунок 2 — Фото трубопроводу для обробки води в потоці з трьома вузлами обробки

Результати досліджень. На рис. 3 представлена типова осцилограма імпульсної напруги на робочій камері КВІД установки з водою, що засіяна *E. coli*. Осцилограма отримана за допомогою цифрового осцилографа *Rigol 1102E*. Обробка зразків води в робочих камерах в усіх режимах проводилася імпульсами обох полярностей. За період 20 мс мережевої змінної напруги протягом напівперіоду позитивної напруги 10 мс в робочу камеру надходило приблизно 4 імпульси однієї полярності, а за напівперіод негативної напруги 10 мс в робочу камеру надходило приблизно 4 імпульси іншої полярності.

З осцилограми на рис. 3 випливає, що амплітуда напруги на робочій камері з водою ≈ 72 кВ, тривалість імпульсу по основі ≈ 1200 нс, форма імпульсу – аперіодична, однополярна. При цьому активний опір води R у робочій камері складав ≈ 54 Ом.

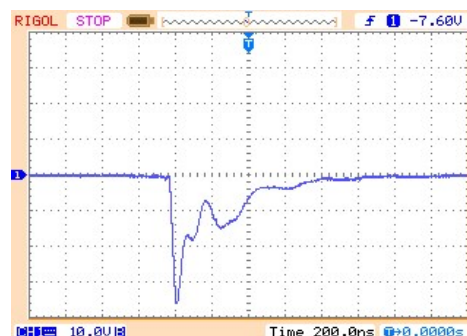


Рисунок 3 — Осцилограма імпульсу напруги на робочій камері з водою «Софія київська», всіяною *E.coli*. Ціна поділки по осі часу 200 нс/под.; по осі процесу 20 кВ/под. Проміжок в робочій камері $d=22$ мм. Використаний низькоомний резистивний дільник напруги з коефіцієнтом ділення $k_d \approx 2000$

Досліджувалася інактивуюча дія КВІД на воду. Воду «Софія київська» (як базове умовно стерильне середовище) засіювали бактеріями групи кишкової палички (*E. coli*). При кожному режимі обробки всіх досліджуваних рідин робили три повторення. Результати мікробіологічних аналізів води наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Виявлення бактерій родини *E.coli* у воді

Найменування показника (одиниці вимірювання КУО / см ³)	Результат и досліджень, КУО / см ³	Режим обробки, приблизний, (E, кВ/см)	Режим обробки, розрахунковий, (E, кВ/см)	Час обробки (t, с)
Вода стерильна. Розведення <i>E.coli</i> 10 ⁶	210	30	20,09	10
Вода стерильна. Розведення <i>E.coli</i> 10 ⁶	0	30	31,8	20
Вода стерильна. Розведення <i>E.coli</i> 10 ⁸	60	30	19,0	10
Вода стерильна. Розведення <i>E.coli</i> 10 ⁸	0	30	31,8	20

З таб. 1 випливає, що КВІД-обробка ефективно знижує кількість бактерій *E. coli* у воді, причому збільшення напруженості електричного поля та тривалості обробки підвищує її ефективність. При початковій концентрації *E. coli* 10⁶ КУО/см³ обробка електричним полем із напруженістю 30 кВ/см протягом 10 с зменшує кількість бактерій до 210 КУО/см³. Збільшення тривалості обробки до 20 с та підвищення напруженості до 31,8 кВ/см забезпечує повну інактивацію. Для початкової концентрації 10⁸ КУО/см³ обробка впродовж 10 с з напруженістю 19,0 кВ/см знижує вміст бактерій до 60 КУО/см³, а при напруженості 31,8 кВ/см і часу обробки 20 с отримано 100 % інактивацію. Отже, для повної інактивації бактерій необхідна достатня напруженість електричного поля (понад 30 кВ/см) і тривалість обробки не менше 20 секунд.

На рис. 4 представлені експериментальні осцилограми імпульсів напруги (криві 1) і струму (криві 2) у реакторі (рис. 2) при знезараженні води за допомогою високовольтних імпульсних розрядів у газових бульбках у воді:

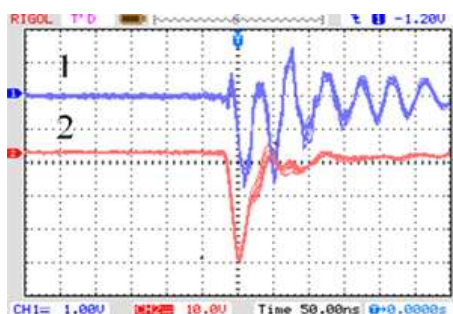


Рисунок 4 — Осцилограми імпульсів напруги (криві 1) і струму (криві 2)

Ціна поділки по осі процесу на рис. 4 для осцилограм напруги становить 7,9 кВ/под, для осцилограм струму становить 32 А/под, по осі часу 50 нс/под. Опір води R в експериментах складав ≈ 330 Ом.

Після обробки води в потоці 120 л/год розрядами в газових бульбках імпульсами, представленими на рис. 4 протягом 35 секунд при частоті повторення імпульсів $f \approx 2400$ імпульс/с досягнута повна інактивація бактерій *E. coli* з концентрацією 10⁶ КУО/см³.

Обсіменіння показовими мікроорганізмами – бактеріями *E. coli* та аналізи оброблених та контрольних зразків води проведено у спеціалізованому підприємстві

«Санепідсервіс» (м. Харків).

Досліджені методи можуть бути адаптовані для знезараження морської води. З огляду на високу провідність морської води (4,5–7,2 С/м), для прикладу візьмемо відстань між електродами 5 см і діаметр робочої зони 3 см, і оцінимо опори. У такому випадку її активний опір становить $\approx 10\text{--}16$ Ом. За фронту імпульсу 10 нс ємнісний опір сягає приблизно ≈ 160 Ом, а за 2 нс – близько 32 Ом. У паралельному з'єднанні сумарний імпеданс зменшується й утримується в діапазоні $\approx 7\text{--}15$ Ом. Тобто, при розробці промислових установок і реакторів слід врахувати вищу електропровідність солоного середовища, а також передбачити додаткові засоби захисту від більшого струму та корозійного впливу на електроди.

Висновки. Результати досліджень підтверджують ефективність електрофізичних технологій для знезараження баластних вод. Високовольтні імпульсні розряди та сильні електричні поля продемонстрували здатність ефективно інактивувати бактерії *E. coli*, і можуть забезпечити відповідність вимогам стандарту D-2 для баластних вод по мікробіологічним показникам.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко Н.І., Тур О.М., Евдошенко Л.С., Зароченцев А.І., Іванов В.М. Високовольтний генератор імпульсів з середньою потужністю до 50 кВт для обробки харчових продуктів. *Прилади і техніка експерименту*. 1998. № 2. С. 120–126
2. Бойко Н.И., Макогон А.В., Маринин А.И. Режимы работы и энергоэффективность установки для обеззараживающей обработки текучих пищевых продуктов при помощи высоковольтных импульсных воздействий. *Електротехніка і електромеханіка*. 2018. №3. С. 53–60.
3. Бойко Н.И., Макогон А.В. Високовольтна установка імпульсною потужністю 3 МВт для знезараження води у потоці за допомогою наносекундних розрядів у газових бульках. *Технічна електродинаміка*. 2020. № 5. С. 80–83.

РОЗРОБЛЕННЯ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Воробйов П.О.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Експлуатація поверхонь засобів водного транспорту передбачає контакт із водним середовищем. Це у свою чергу призводить до появи корозійного руйнування не захищених поверхонь, зменшує їх термін експлуатації та призводить до фінансових витрат пов'язаних із відновленням та ремонтом. Тому, одним із методів підвищення терміну експлуатації металевих поверхонь засобів водного транспорту є розробка нових захисних покриттів. При цьому підвищення бар'єрних характеристик захисних покриттів можливо досягнути шляхом модифікації зв'язувача: інгібіторами, інгібувальними пігментами, активними наповнювачами [1].

Результати досліджень. Для створення корозійностійких полімерних покриттів, у якості зв'язувача обрано епоксидний олігомер ЕД-20 (ISO 18280:2010), який полімеризували твердником поліетиленполіаміном ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78). Для підвищення бар'єрних характеристик захисного покриття використовували наповнювачі: волокнистий наповнювач (СДВБП) з параметрами — $l = 15 \dots 30$ мм, $d = 20 \dots 25$ мкм.; нано наповнювач рослинного походження (НРП) дисперсністю 400...600 нм.

Корозійну стійкість розроблених матеріалів досліджували за зовнішніми ознаками, тобто за наявністю дефектів на поверхні зразків, які не мали «Т» подібного надрізу.

Методика проведення експерименту передбачала дослідження корозійної стійкості розроблених полімерних покриттів у водному середовищі (р. Дніпро). Тривалість витримки у водному середовищі становила 9 місяців за температури $T = 258 \dots 303 \pm 2$ К.

Використовували наступні склади полімерних покриттів:

- матриця (олігомер ЕД-20 : твердник ПЕПА — 100 мас. ч. : 10 мас. ч.);
- КМ 1 (зв'язувач : суміш дискретних волокон на основі бавовни і поліестеру (СДВБП) : твердник — 100 : 0,100 : 10);
- КМ 2 (зв'язувач : суміш дискретних волокон на основі бавовни і поліестеру (СДВБП) : твердник — 100 : 0,50 : 10).

Візуальний аналіз поверхні покриття епоксидної матриці дозволив виявити дефект у вигляді набухання. Таке явище пов'язано із сорбцією агресивного середовища, що призводить до розтріскування захисного покриття. Додатково, зовнішній огляд покриття (епоксидна матриця) дозволив виявити осередки де спостерігали відшарування покриття. Паралельно аналізували поверхні покриттів КМ 1 і КМ 2. Для КМ 2 спостерігали глобальне відшарування поверхні покриття, що опосередковано вказує про недостатньо високі показники адгезійної міцності. Це пов'язано з перенасиченням епоксидного зв'язувача волокнистим наповнювачем, що призводить до утворення структурних дефектів. Для КМ 1 поверхневих дефектів не виявлено. Це свідчить про створення активного бар'єру до проникнення агресивних іонів і молекул води до основи, за рахунок утворення щільної структури полімеру. Таким чином розроблені покриття можливо використовувати для захисту поверхонь засобів водного транспорту.

Висновки. На основі комплексних результатів дослідження встановлено, що для захисту поверхонь устаткування водного транспорту доцільно використовувати КМ 1, який створює максимальний бар'єр для проникнення агресивного середовища до субстрату.

ЛІТЕРАТУРА

1. Zhang Y., Yu P., Wu J., Chen F., Li Y., Zhang Y., Zuo Y., Qi Y. 2017, Enhancement of anticorrosion protection via inhibitor-loaded ZnAlCe-LDH nanocontainers embedded in sol-gel coatings. J. Coat. Technol. Res., 15, pp. 303–313.

ОСОБЛИВОСТІ РАДІАЦІЙНИХ МЕТОДІВ СЕПАРАЦІЇ ВІДХОДІВ ПЛАСТИКУ ДЛЯ ЇХ ПЕРЕРОБКИ ТА ЗАПОБІГАННЯ ЗАСМІЧЕННЮ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

Донець С.Є.¹, Литвиненко В.В.¹, Мєлякова О.А.¹, Шимановський А.Р.²

¹Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України
(Україна)

²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
(Україна)

Вступ. На теперішній час відповідно даним, що наведені в роботах [1–3], з 8,3 млрд. тон пластику, який було вироблено в для різних галузей промисловості, 6, 3 млрд.т. стало відходами, і лише 9% було спрямовано на вторинну переробку. Більшість відходів вже потрапили до вод світового океану, а решта цілком очікувано перебувають в ланцюжку руху до морського середовища, через шляхи природніх скидів річкових вод або несанкціоноване зберігання поблизу узбережжя. Зважаючи на визначальну роль морських течій у регулюванні процесів тепломасообміну планети, подібна динаміка становить загрозу, наслідки якої можуть бути незворотною негативними, а масштаби матимуть катастрофічний характер. Навіть, якщо взяти до уваги те, що час деструкції пластику становить 100–150 років, потрапляння його мікрочастинок в харчові ланцюжки також може ініціювати перебіг негативних процесів, які становитимуть окрему глобальну проблему. Разом з тим первинною ланкою переробки є сортування пластику з великих масивів утворених відходів. І один з відомих підходів [3, 4], що пропонуються для процесу сортування, полягає в попередньому опроміненні електронним пучком масиву відходів з наступною сепарацією в електростатичному полі. Ефект сепарації ґрунтується на тому, що під дією опромінення в пластикових об'єктах накопичується електростатичний заряд, але після припинення опромінення час його релаксації є відмінним для різних видів пластику, відповідно при подальшому впливі зовнішнього електростатичного поля, сила електричної взаємодії буде залежати від величини залишкового заряду.

Постановка задачі. З огляду на те, що проблема засмічення пластиком морських та океанічних вод набуває все більшого загострення та обговорюється на міжнародних форумах, Міжнародне агентство з ядерної енергії виступило з ініціативою «Нутек пластікс» [2], яка містить в собі низку наступних заходів:

- застосування ізотопних методів для вивчення механізмів інтеграції мікро- та наночастинок розкладеного пластику в харчові ланцюжки;
- застосування ізотопних методів для відслідковування шляхів поширення пластику в морському середовищі;
- розробка технологій на основі джерел іонізуючого випромінювання для переробки пластикових відходів;
- розробка системи заходів з організації виробничих ділянок на основі джерел іонізуючого випромінювання для сортування та переробки пластикових відходів та створення замкнених технологічних циклів.

Зважаючи на те, що міжнародна ініціатива із застосування ядерних та радіаційних технологій ґрунтується як на поглибленому опрацюванні основ фізичних процесів, так і на урахуванні регіональних особливостей, де плануються впровадження цих методів (країни Азії, Африки, Антарктида) [5–7], нами була поставлена задача адаптації наявного прискорювального парку та здобутих на ньому результатів до можливого застосування для сортування і переробки пластикових відходів. Для цього є необхідним проаналізувати в тому числі фізико-хімічні та електрофізичні процеси та явища, які супроводжують взаємодію електронних пучків з полімерами.

Застосування електронних пучків для сортування пластику. Серед базових процесів, що супроводжують взаємодію випромінювання з полімерами, є утворення вільних радикалів, які в свою чергу, стають ініціаторами як утворення зв'язків між

сусідніми молекулами, так і розриву в існуючих молекулах. Слід зазначити, що це є конкурентний одночасний процес з переважаючим балансом в ту або іншу сторону, знак якого залежить від інших фізичних чинників (температура, тиск, механічне напруження). Разом з тим іонізуюче випромінювання застосовують для переробки певних видів пластику, підбираючи для цього необхідні режими опромінення [2, 8]. Переробці або повторному використанню має передувати процес розділення пластикових відходів, для чого застосовуються різноманітні методи [8, 9], але серед найбільш важких задач є розділення поліетилену і поліпропілену — найбільш поширених пластиків з близькими фізичними характеристиками, що унеможливило застосування більшості фізичних методів сепарації. В основу сепарації видів пластику, опроміненого пучком електронів лежить явище відмінності часу релаксації накопиченого електричного заряду, який залежить від власних електрофізичних характеристик діелектрика.

Динаміка накопичення електричного заряду та розподілу електричного потенціалу під опроміненням електронним пучком визначається з виразу, який одержано в роботах В.В. Громова:

$$\varepsilon\varepsilon_0 \nabla^2 \left(\frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) + \sigma \nabla^2 \varphi + \varepsilon \nabla \varphi \left(\frac{\partial}{\partial \varepsilon \varepsilon_0} \right) + \frac{\partial q}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

де ε — діелектрична проникність, σ — електрична провідність, q — густина об'ємного заряду, φ — скалярний потенціал.

Сумарно (нехтуючи зворотнім розсіюванням пучка поверхнею гранули) значення об'ємного електричного заряду в опромінюваній гранулі визначатиметься виразом

$$q = \frac{t \cdot J}{S \cdot l}, \quad (2)$$

де J струм пучка, поглинутий в мішені. l — глибина проникнення електрона, t — час опромінення, S — площа перетину опромінюваної гранули. Просторове накопичення заряду в об'ємі гранули пластику відбуватиметься в певній кореляції з іонізаційними втратами енергії електрону при проходженні одиниці шляху. Релаксація відбуватиметься за нелінійним законом

Відмінність у будові обох полімерів (полярних та неполярних) зумовлює істотну відмінність в їх електрофізичних характеристиках, перш за все у значенні електричної провідності, діелектрична провідність може відрізнятися при високих частотах прикладеного електромагнітного поля.

Час релаксації електричного заряду визначається з рівняння безперервності

$$\begin{aligned} \vec{\delta} &= \sigma \vec{E}; \quad \sigma \nabla \vec{E} = -\frac{\partial q}{\partial t}; \\ \frac{\sigma}{\varepsilon \varepsilon_0} q &= -\frac{\partial q}{\partial t}; \quad q = q_0 \exp \left(-\frac{\sigma}{\varepsilon \varepsilon_0} t \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Як бачимо з виразу (3), густина заряду зменшується з часом за експоненціальним законом згідно значень електрофізичних характеристик. Разом з тим, зважаючи на певний ефект «чорної скриньки» щодо дійсного перебігу фізичних процесів, що супроводжують процес релаксації заряду і фактично переходу діелектрика в рівноважний стан, вираз (3) можна замінити виразом (4) [10].

$$q = q_0 \exp \left(-\frac{t}{\tau} \right)^\beta, \quad 0 \leq \beta \leq 1 \quad (4)$$

Відповідно даним роботи [3], після опромінення поліетилену та поліпропілену дозою в 7,5 кГр та після витримки протягом доби значення накопиченого електричного заряду в поліпропілені більш як на порядок вищий ніж у поліетилену. Як випливає з виразу (4) та експериментальних даних [3], динаміка релаксації є нелінійною. Одним зі шляхів

з'ясування значень матеріальних параметрів, відповідальних за цей процес може бути дослідження зразків прозорих полімерів, в яких імпульсний струм електричного пробоя залишив відбитки траєкторій і відповідно дозволяє зрозуміти особливості просторового накопичення електричного заряду. Такі зразки нами були одержані на прикладі модельних зразків опроміненого поліметилметакрилату в якому електричний пробій ініціювався точковим імпульсним ударним впливом. Для прогнозування динаміки релаксації заряду в полімерах запропоновано модель на основі теорії фазових переходів другого роду з використанням термодинамічного потенціалу.

Для реалізації подібних технологічних процесів рекомендуються прискорювачі електронів з енергіями 1–5 МеВ та струмом пучка в діапазоні 0,5–1 мА, оскільки такі моделі є доступними для виготовлення та модернізації в Україні.

Висновки. При розробці основ радіаційних технологій обробки полімерних відходів необхідно брати до уваги низку чинників. Оскільки процес сепарації відходів є конкурентним між силою тяжіння умовної гранули пластику та силою електростатичного впливу на неї, необхідно обґрунтовувати розмір гранул, щільність їх засипки в потік, що піддається сепарації. У розвиток цієї тези лягає необхідність узгоджено вибирати значення енергії електронів, оскільки нею буде визначатись просторовий розподіл об'ємного заряду в гранулі.

При обґрунтуванні доцільності застосування даного методу обробки серед його додаткових переваг слід вказувати, що такий вид обробки є одночасно знезаражуючим, що набуває додаткової гостроти з огляду на відомі приклади спалахів епідемій та пандемій.

ЛІТЕРАТУРА

1. World economic forum, Ellen MacArthur Foundation, McKinsey Center for Business and Environment, The New Plastics Economy Rethinking the Future of Plastics, WEF, Cologny (2016).
2. NUTEC Plastics IAEA Flagship Initiative, <https://www.iaea.org/services/key-programmes/nutec-plastics>
3. Albrecht V., Simon F., Gohs U., Kretzschmar B., Reinsch E., Schunemann R., Peuker U.A. // Recovery: Recycling Technology Worldwide, 2016. V. 2. P. 36. <http://www.recovery-worldwide.com>
4. Albrecht V., Gohs U., Husemann K., Reinsch E., Schunemann R., Simon F. // Patent DE 10 2007055765 B4 2010.04.29.
5. NUTEC Plastics Roundtable for the Africa region, https://www.iaea.org/sites/default/files/22/09/tc_nutec_africa_final-web.pdf
6. NUTEC Plastics Roundtable for the Asia and the Pacific region, https://www.iaea.org/sites/default/files/21/08/nutec_rt_asiapacific.pdf
7. IAEA Experts Find Evidence of Microplastic Pollution in Antarctica from NUTEC Plastics Research Mission, <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-experts-find-evidence-of-microplastic-pollution-in-antarctica-from-nutec-plastics-research-mission>
8. Ponomarev, A.V. Radiolysis as a Powerful Tool for Polymer Waste Recycling. High Energy Chem 54, 194–204 (2020). <https://doi.org/10.1134/S00181439200301215>.
9. S. Serranti, G. Bonifazi / Techniques for separation of plastic wastes // Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering.- 2019, Pages 9–37 <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102676-2.00002-5>
10. Ngai K. L. Relaxation and diffusion in complex systems / K. L. Ngai. — New York : Springer, 2011. — 835 p.

ТЕНДЕНЦІЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ СВІТОВОГО РИНКУ ПРАЦІ МОРСЬКИХ ОФІЦЕРІВ В КОНТЕКСТІ «ЗЕЛЕНОГО» ТРАНСПОРТУ

Кузьмич І.С., Стовба Т.А.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Морська індустрія є основою глобальної економіки, забезпечуючи перевезення понад 80% обсягу товарів для світової торгівлі. Постійне зростання обсягів морських перевезень та впровадження нових технологій у судноплаванні впливають на ринок праці морських офіцерів.

Морський транспорт залишається джерелом забруднення морських екосистем: судна продукують викиди CO₂, оксидів азоту й сірки та ін. У зв'язку з цим більшої актуальності набуває концепція «зеленого» судноплавання (Green Shipping), яка полягає у впровадженні енергоефективних технологій, альтернативних джерел енергії, безпечних експлуатаційних матеріалів, цифрових систем моніторингу тощо.

Актуальність дослідження. Важливим фактором успішного переходу до «зеленого» транспорту є наявність висококваліфікованих морських офіцерів, здатних керувати екологічно чистими суднами. Зростання обсягів світової торгівлі призводить до підвищення попиту на кваліфікованих морських офіцерів, що створює виклики та можливості для країн, які готують фахівців у цій галузі.

Постановка задачі. Метою дослідження є аналіз поточного стану світового ринку праці морських офіцерів та прогнозування напрямів його трансформації внаслідок впровадження «зеленого» транспорту для його безпечної експлуатації.

Результати досліджень. Протягом останніх десятиліть збільшується попит на кваліфікованих морських офіцерів, що обумовлено розширенням світової торгівлі та зростанням тоннажу світового флоту. За даними Державного підприємства «Адміністрація морських портів України», у 2024 р. українські порти попри війну в країні обробили 97,2 млн. т вантажів, що на 56,8% більше обсягу перевалки за 2023 рік [1].

Світовий ринок праці морських офіцерів характеризується постійним попитом на кваліфікованих спеціалістів. Відповідно до звіту BIMCO (Baltic and International Maritime Council) прогнози розвитку ситуації на світовому ринку праці моряків підтверджують подальше збільшення дефіциту командного складу. За даними BIMCO та ICS (International Chamber of Shipping) у 2026 р. очікується дефіцит додатково 89 510 суднових офіцерів; для порівняння: у 2021 р. не вистачало понад 26 тис. сертифікованих офіцерів [2].

Україна має значний досвід і потенціал щодо підготовки та постачання українських морських офіцерів для світового ринку праці. За даними UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development) у 2015 р. Україна посідала 6-те місце за кількістю офіцерів та 4-те місце за кількістю рядового складу, які працювали на морських суднах у світі. Основні тенденції, які спостерігаються на світовому ринку праці моряків, наступні:

- нестача кваліфікованих працівників, особливо на посади старших офіцерів і капітанів. Щороку ситуація загострюється. Зростання світового торгового флоту збільшує попит на кваліфікованих офіцерів. Водночас багато старших офіцерів і капітанів досягають похилого віку і списуються на берег, а заміщення їхніх посад новими фахівцями відбувається повільно, тому що у судноплавних компаніях підвищуються вимоги до моряків під гаслом «High Standard Company». Також, часто судовласники наймають на роботу старших помічників або капітанів ззовні, не зважаючи на те, що власні фахівці чекають на цю посаду в компанії роками, маючи достатньо необхідних знань, навичок та promotions;

- досвідчені моряки у поважному віці переходять працювати до закладів вищої освіти, підприємств морської галузі та ін.;

- інноваційні технології та автоматизація змушують офіцерів опановувати додаткові навички. Молоде покоління менш зацікавлене у морській кар'єрі через тривалі

контракти (6 – 9 місяців), віддаленість від родини та великі психологічні навантаження [3];

- сучасні міжнародні стандарти (STCW, ISM Code) вимагають від моряків поглиблених знань. Тому перебуваючи у відпустці, їм доводиться багато часу приділяти проходженню додаткових тестів та тренінгів для опанування нових компетентностей, що ускладнює процес навчання та сертифікації.

Найбільшими країнами-постачальниками суднових офіцерів для світового торгового флоту були Філіппіни, Китай, Україна [3].

Санкції, конфлікти та зміни у міжнародних відносинах впливають на зайнятість морських офіцерів. Війна в Україні обмежила можливості працевлаштування вітчизняних моряків. Морська галузь є висококонкурентною, і багато судноплавних компаній, не маючи можливості чекати на повернення українських моряків, почали активно шукати нові ринки для залучення робочої сили. Судновласники звертають увагу на моряків з країн Африки та Південної Америки не лише з метою зменшення глобального дефіциту кадрів, але й задля оптимізації витрат на оплату праці, оскільки вони погоджуються на нижчу оплату порівняно з європейськими та азіатськими офіцерами.

Попри те, що обсяги перевезень та вартість фрахту зростають, деякі судноплавні компанії намагаються економити не лише на оплаті праці моряків, але й на їхньому харчуванні, постачанні. До того, зміни екіпажу намагаються відкласти на пізніший термін задля отримання економії, пояснюючи «незручностями» порту.

Розвиток автоматизованих систем управління судном вимагає від морських офіцерів опанування нових цифрових компетентностей для роботи з бортовими системами. Судна майбутнього, оснащені системами автономного керування, суттєво вплинуть на структуру зайнятості у галузі: потреба в офіцерах і рядовому складі буде мінімальною. Деякі моряки зможуть перекваліфікуватися для роботи у берегових службах моніторингу та управління флотом.

Однак відсутність нормативних документів щодо міжнародного регулювання експлуатації повністю безекіпажних суден уповільнює впровадження автономного морського транспорту. Тому перехід до автономного флоту відбуватиметься поступово, протягом наступного десятиліття (враховуючи розвиток і внесок штучного інтелекту), зайнятість моряків залишатиметься відносно стабільною. Автономні судна змінять ринок праці моряків, але повне зникнення традиційних посад відбудеться не одразу. Збережуться робочі місця для офіцерів та технічних спеціалістів, проте їх кількість буде меншою. Виникнуть нові професії у сфері дистанційного управління морськими суднами та кібербезпеки. Ключовим викликом для моряків буде рескілінг та адаптація до інноваційних технологій, щоб залишатись конкурентоспроможними на світовому ринку праці.

Судноплавні компанії почали замінювати українських моряків працівниками з Гани, Нігерії, Бразилії, Перу, Південної Африки, які активно інвестують кошти в освіту та відкривають нові морські академії. Міжнародна морська організація (ІМО) підтримує розвиток морських навчальних закладів у цих країнах. Варто додати, що країни Африки та Латинської Америки мають великі порти та стратегічне розташування на основних судноплавних лініях. Тому вихідці із цих регіонів стають зручними кандидатами для місцевих та міжнародних судноплавних компаній, що створює ризик втрати Україною своїх позицій на світовому ринку праці моряків та, відповідно, зменшення валютних надходжень до країни (до війни вітчизняні моряки забезпечували 3–4 млрд дол. надходжень валюти щороку до національної економіки) [2].

Для подолання дефіциту офіцерів необхідні інвестиції в морську освіту. Впровадження нових навчальних програм, адаптованих до цифрових технологій та екологічних вимог, дозволить підготувати морських фахівців нового покоління. Покращення практичної підготовки можливе завдяки використанню тренажерів, симуляторів, стажуванню на сучасних судах. Уніфікація вимог між країнами для спрощення процедури працевлаштування може суттєво вплинути на світовий ринок праці морських офіцерів.

ІМО оголосила скорочення викидів парникових газів на 50% до 2050 р. порівняно з 2008 р. [4]. Тому судноплавні компанії змушені активно інвестувати у впровадження новітніх технологій: двигунів, які працюють на LNG (скрапленому природному газі), метанолі, аміаку, водні, гібридних та електричних установок та ін. Так, судна, які працюють на LNG, забезпечують скорочення до 25% викидів CO₂ та близько 95% викидів оксидів азоту (NO_x) порівняно з традиційним нафтовим паливом. Використання LNG може бути економічно вигідним через його нижчу вартість та відповідність суворим екологічним стандартам без додаткових витрат на очищення викидів шкідливих речовин із суден.

Посилення екологічних стандартів у суднопластві стимулює розвиток нових технологій, що потребують спеціально підготовлених офіцерів для роботи з LNG-суднами, електрифікованими суднами тощо [5]. Керування такими екологічними суднами вимагає від офіцерів не лише знань із навігації та механіки, але й розуміння принципів роботи альтернативних енергосистем, опанування знаннями з енергоменеджменту, спеціальної підготовки щодо безпеки експлуатації суден, які працюють на альтернативних видах пального задля запобігання ризику вибухонебезпечності, обізнаності у сферах екологічного моніторингу та міжнародного екологічного права [6].

Завдяки використанню бенчмаркінгу визначені ефективні практики, які сприятимуть отриманню досконаліших результатів освітньої підготовки майбутніх морських офіцерів в Україні: інтегровані симулятори екологічних сценаріїв (досвід Японії, Норвегії), екологічна сертифікація моряків (додатково до стандартного диплома, впроваджено в Сінгапурі), міждисциплінарні курси, які охоплюють екологію, інженерію, право.

Морські академії мають актуалізувати освітньо-професійні програми з урахуванням вимог Європейського зеленого курсу, що передбачає: впровадження енергоефективного судноводіння (Energy Efficient Operation), вивчення особливостей використання альтернативних видів пального (LNG, метанол, водень, аміак тощо); використання симуляцій для тренування реагування на екологічні інциденти із підтвердженням (на кшталт сертифікату з екологічної відповідальності моряка у Сінгапурі); розвиток цифрових навичок (робота з Energy Monitoring Systems та ін.); психологічна підготовка до роботи в умовах непередбачуваних змін та постійного оновлення технологій.

Очікується, що впровадження екологічних стандартів змінюватиме не лише технології, але й організацію праці на судні. Зокрема, екологічно чисті судна потребуватимуть більшої кількості технічного персоналу із вузькоспеціалізованими знаннями: інженерів з управління енергоефективністю, фахівців з експлуатації паливних елементів та систем очищення газів, операторів дистанційного моніторингу судових систем тощо. Змінюватиметься модель обслуговування флоту – зростатиме частка берегових фахівців, які здійснюють супровід автономних суден, що створить можливості для перекваліфікації досвідчених морських офіцерів.

Варто додати, що перехід до екологічного флоту відбувається на тлі зростання вимог до професійної мобільності, стресостійкості та навичок безперервного навчання. Довгі контракти, відповідальність, швидкість зміни технологій та ін. підвищують психологічне навантаження на членів екіпажу. За даними ITF понад 30% моряків повідомляють про високий рівень стресу, що пов'язаний із новими цифровими обов'язками та екологічним аудитом [7]. Разом з тим, розвиток програм ментального здоров'я, які впроваджують провідні судноплавні компанії (Anglo-Eastern, Maersk та ін.), демонструє, що «зелений» флот має бути не лише технологічно, але й соціально сталим.

Висновки. Глобальна судноплавна індустрія постійно зростає, що створює високий попит на кваліфікованих морських офіцерів задля їхньої безпечної експлуатації. Світовий ринок праці морських офіцерів зазнає трансформацій, в т. ч. пов'язаних із потребою у нових знаннях та компетентностях, адаптацією до цифрових систем та зміною структури флоту.

Для збереження конкурентоспроможності морські офіцери мають постійно вдосконалювати навички та адаптуватися до змін у галузі. Розвиток «зеленого» суднопластва формує нову структуру попиту на ринку праці морських офіцерів. Професія

морська стає дедалі більш технологічною, мультидисциплінарною та гнучкою.

Для стабілізації світового ринку праці необхідно інвестувати в освіту, покращувати умови праці та адаптувати морських офіцерів до нових технологічних реалій. Для забезпечення сталого розвитку морської галузі необхідно: реформування освітніх програм з акцентом на екологічну безпеку й енергоефективність; збільшення інвестицій у тренажерну базу та цифрову освіту; виховання навичок із стресостійкості задля швидкої психологічної адаптації моряків до нових викликів; розвиток механізмів рескілінгу та соціального захисту моряків.

Екологічна складова підготовки морських офіцерів стає критично важливою для досягнення цілей сталого розвитку, безпеки морського транспорту та міжнародного партнерства. Запропоновано для закладів морської освіти України запозичити найкращі практики країн-лідерів, які дозволять формувати нову генерацію екологічно свідомих морських професіоналів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вантажообіг портів України у 2024 році досяг рекордного показника 97,2 млн. т. *uspa.gov.ua* : веб-сайт. URL: <https://www.uspa.gov.ua/news/vantazhoobig-portiv-ukrayiny-u-2024-rocz-dosyag-rekordnogo-pokaznyka-972-mln-tonn> (дата звернення 18.04.2025).
2. Морські кадри: Чи вистачає світові моряків та яке місце посідають українці на цьому ринку. *cfts.org.ua*: веб-сайт. URL: https://cfts.org.ua/articles/morski_kadri_chi_vistachae_svitovi_moryakiv_ta_yake_mistse_posidayut_ukrantsi_na_tsomu_rinku_2079 (дата звернення 28.03.2025).
3. Торговий флот страждає від тотального дефіциту комскладу: звідки чекати на порятунк? *seafarersjournal.com* : веб-сайт. URL: <https://www.seafarersjournal.com/opinions/torgovyj-flot-stradaet-ot-totalnogo-defitsita-komsostava-otkuda-zhdat-spaseniya> (дата звернення 18.03.2025).
4. Комітет ІМО схвалив стратегію скорочення викидів парникових газів у судноплаванні до нуля. *Порти України* : веб-сайт. URL: <https://ports.ua/komitet-imo-shvaliv-strategiyu-skorochennya-vikidiv-parnikovih-gaziv-u-sudnoplavstvi-do-nulya/> (дата звернення 18.03.2025).
5. Морской бюллетень: моряки в центре справедливого перехода к экологическому будущему. *itfseafarers.org* : веб-сайт. URL: https://www.itfseafarers.org/sites/default/files/node/resources/files/SeafarersBulletin_Russian_Web.pdf (дата звернення 18.03.2025).
6. Обзор морского транспорта: к экологически чистому судоходству на справедливых условиях. *unctad.org* : веб-сайт. URL: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2023overview_ru.pdf (дата звернення 18.04.2025).
7. Мельник О.М., Бичковський Ю.В. Урахування фактора стресу в системі забезпечення безпеки мореплавства : *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. 2021. Том 32 (71). №4. С. 252 – 256. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.4/39>.

СТУПІНЬ КАРБОНІЗАЦІЇ ПАЛИВА

Личко Б.М., Шостак В.П.

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)*

Вступ. Досягнення поставлених Міжнародною морською організацією (ІМО) цілей по скороченню викидів парникових газів (GHG) і декарбонізації флоту зумовлює оптимізацію енергоспоживання на суднах і перехід від широкого використання викопного палива до джерел енергії з нульовим або низьким вмістом вуглецю.

Нижче пропонується, виходячи із хімічного складу палива, показник, який дозволить оцінювати використовуване паливо в аспекті його впливу на довкілля.

Актуальність дослідження. Як відомо, найпоширенішим паливом на даний час є вуглеводні – природний газ метан і нафтопродукти. При спалюванні вуглеводнів з відхідними газами в атмосферу викидається так званий парниковий газ (ПГ). До парникових газів в атмосфері Землі відносяться: вуглекислий газ (CO_2), озон (O_3), оксиди азоту (NO_x), метан (CH_4), хлорофлуоровуглеводні та пари води (H_2O). Основною складовою ПГ, що утримує тепло, яке йде з променями Сонця, являється CO_2 . Отже, викиди парникових газів, спричинених людською діяльністю, а саме використанням палива, підвищують глобальну температуру, що є ключовою причиною зміни клімату.

У зв'язку з цим останнім часом багато уваги приділяється декарбонізації в енергетичній сфері. Декарбонізація, з одного боку, – це заходи, покликані скоротити викиди ПГ, з іншого — це процес зменшення викидів CO_2 шляхом переходу від викопного палива до безвуглецевих джерел енергії [1]. Тому держави та компанії, після підписання Паризької кліматичної угоди у 2015 році щодо декарбонізації, прагнуть зменшити, або зовсім уникнути викидів CO_2 . Але їх прагнення не підтверджуються відповідними діями, і викиди CO_2 збільшуються щорічно.

За нинішнього стану речей, у 2030 році очікується обсяг викидів парникових газів таким, що обумовить підвищення температури на планеті на $1,5\text{ }^\circ\text{C}$ [2].

Таким чином, надзвичайно важливо мати об'єктивну оцінку різних видів палива в аспекті їх впливу на довкілля внаслідок викидів CO_2 за допомогою формалізованого показника, наприклад, по відношенню до екологічно чистого палива — водню (H_2).

Викладення основного матеріалу. За визначенням, горіння (англ. burning, нім. Brennen) – це екзотермічна реакція окислення речовин, яка супроводжується виділенням теплоти (полум'я і/або світіння) та відхідних газів. При повному згорянні вуглеводнів у повітряному середовищі до складу відхідних газів входить азот, вуглекислий газ, пара води та деяка кількість оксидів азоту (при $t > 1300\text{ }^\circ\text{C}$) [3, 4] і сірки (при наявності її як домішок) [5]. Нейтралізація впливу на атмосферу оксидів азоту та сірки досягається відомими способами. Кожний вид застосованого палива по-різному впливає на карбонізацію довкілля. Як відмічалось, серед палив домінують вуглеводні. Ступінь їх карбонізації може бути розрахований за наступною формулою:

$$\bar{C} = \frac{n_C}{n_C + n_{\text{H}_2} - 2n_{\text{O}_2}} \cdot 100\%,$$

де $n_C, n_{\text{H}_2}, n_{\text{O}_2}$ — кількість атомів відповідно вуглецю, водню і кисню у молекулі палива.

Формула придатна як для «чистих» вуглеводнів, так і для таких, що містять у молекулі кисень. Вона виходить з того, що при повному згорянні палива утворюється вуглекислий газ (діоксид вуглецю CO_2) та вода (H_2O).

У таблиці для характерних видів палива наведено склад молекул і розрахований за вказаною вище формулою ступінь карбонізації. Крім вуглеводнів, для порівняння вказаний ступінь карбонізації і для водню, антрациту та деревини.

Очевидно, що чим вищий ступінь карбонізації палива, тим більше викидів вуглекислого газу. Для наочності на рисунку наведена шкала ступеня карбонізації для певних вуглеводнів і деревини (целюлози), вугілля (антрациту) та водню. Крім того, поряд з воднем

розташований уран-235 як основа ядерного палива для енергетичних реакторів. Підкреслимо, що вплив на атмосферу (в аспекті CO₂) цього палива відсутній.

Таблиця 1. — Ступінь карбонізації палива $\bar{C}$

Паливо	Формула	$\bar{C}$, %
Водень	H ₂	0
Метан	CH ₄	20
Етан	C ₂ H ₆	25
Пропан	C ₃ H ₈	27
Бутан	C ₄ H ₁₀	29
Високооктановий бензин 92, 95, 98	C ₈ H ₁₈	31
Нафта (очищена)	C _n H _{2n+2} C _n H _{2n}	27...32 33
Метанол	CH ₃ OH	33
Етиловий спирт	C ₂ H ₆ O	33
Ацетилен, бензин	C ₂ H ₂ , C ₆ H ₆	50
Вугілля – антрацит	95 % – C; 5 % – домішки	99
Деревина (целюлоза)	C ₆ H ₁₀ O ₅	100

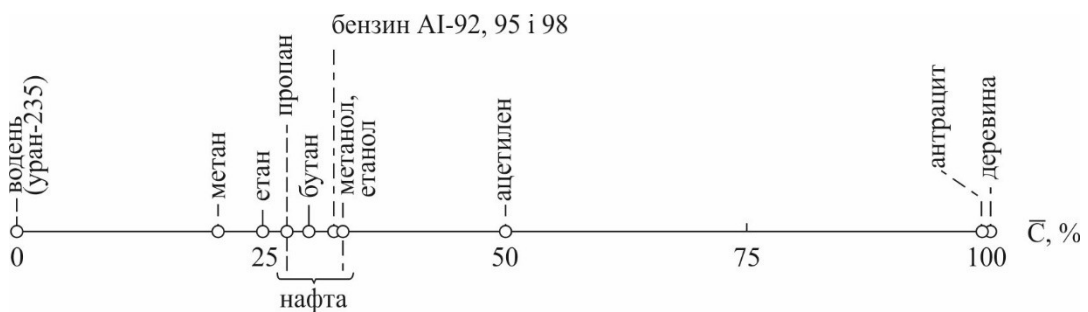


Рисунок 1 — Ступінь карбонізації різних видів палива (по відношенню до водню)

Висновки.

1. Використання показника карбонізації палива сприятиме доцільному застосуванню того чи іншого палива вже на стадії прийняття проектних рішень стосовно енергетичних об'єктів.

2. З огляду на проблему декарбонізації різниця між вуглеводнями (природним газом, нафтою, нафтопродуктами) не така вже й суттєва: ступінь їх карбонізації лежить у межах 20 – 33 %, за винятком ацетилену та низькоякісного бензину, де вона сягає 50 %.

3. Зменшення вуглекислого газу в атмосфері Землі, що на думку багатьох вважається доцільним, лежить через широке впровадження в антропогену енергетичну діяльність людини ядерної енергетики, електричний струм від якої, до речі, дозволить одержувати дешевий водень як безкарбонне паливо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дячок, В.В., Гулич, С.І., Катишева, К., Мандрик, С. Поглинання вуглекислого газу із суміші повітря з діоксидом сірки [Текст] / В.В. Дячок, С.І. Глич, К. Катишева, С. Мандрик [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://bioopt.com.ua>
2. Що таке декарбонізація – чому вона настільки важлива [Текст] / [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.myclimate.org>
3. Abbasi, T., Abbasi, S.A., "Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. [Text] / T. Abbasi, S.A. Abbasi — Renewable and

- Sustainable Energy Reviews, vol. 14, No. 3, 2010 – 919–937.
4. [4]. IMO “Nitrogen Oxides (NOx) — Regulation 13” [Text] / Available online: [http://www.imo.org/en/OurWork/environment/pollutionprevention/airpollution/pages/nitrogen-oxides-\(nox\)---regulation-13.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/environment/pollutionprevention/airpollution/pages/nitrogen-oxides-(nox)---regulation-13.aspx)
 5. [5]. Kažimírová, V., Opáth, R. Biomass combustion emissions [Text] / V. Kažimírová, R. Opáth. — Research in Agricultural Engineering: Vol. 62, 2016, Special Issue — 61–65.

IMPROVEMENT OF CORROSION RESISTANCE OF ALUMINUM ALLOYS USED IN SHIPBUILDING BY MEANS OF PULSED ELECTRON BEAM IRRADIATION TREATMENT

Myla D.E.¹, Rak O.L.², Bryukhovetsky V.V.¹, Pogrebniak P.S.¹

*¹ Institute of Electrophysics & Radiation Technologies NAS of Ukraine
(Ukraine)*

*² NSC «Kharkiv Institute of Physics and Technology»
(Ukraine)*

Introduction. Corrosion causes irreparable damage to the hull, pipelines, and other ship structures, as the metal is thinned out in areas subject to corrosion, which reduces the strength and density of structures and the hull as a whole. Expensive repairs are required to eliminate the effects of corrosion. It should be noted that most parts of ship mechanisms and hull elements are exposed to simultaneous mechanical stresses and stress corrosion destruction. Corrosion destruction to ships causes significant loss of metal and, as a result, high economic costs to eliminate these damages. Study [1] shows that the share of corrosion destruction elimination works accounts for 20–30 % of the total ship factory repair costs.

Aluminum alloys are increasingly being used in shipbuilding, particularly for constructing ship hulls and components. Various ship equipment, pipelines, and other structures are made of aluminum alloys. Ships with aluminum hulls are lighter and use less fuel than steel ships. Owners of aluminum ships also do not have to bear the life-cycle maintenance costs associated with painting. When an aluminum ship ends its service life, the high value of recycled secondary raw materials would be a significant advantage. Taking into account the technologies and methods that are already available for aluminum shipbuilding, we can confidently say that in the future aluminum alloys will be able to become the main structural material in shipbuilding instead of steel.

High plasticity and strength, as well as high reliability of welded joints made of alloys intended for the manufacture of welded structures, are among the main requirements for aluminum alloys used for shipbuilding. However, good corrosion resistance in sea and river water or in other environments where the structure made of aluminum alloy will operate is perhaps the most important of all the requirements for aluminum alloys used for shipbuilding.

As already mentioned, corrosion resistance of materials is the primary requirement, given the peculiarities of product operation. Saltwater can be detrimental to several high-strength aluminum alloys. Therefore, the main aluminum alloys used for shipbuilding in world practice are based on aluminum-magnesium and aluminum-silicon-magnesium alloying systems, which are medium-strength alloys. Al-Mg alloy type 5xxx for plates and Al-Mg-Si alloys type 6xxx for extrusions are traditional and most commonly used aluminum alloys used for shipbuilding. These alloys meet or exceed the minimum strength requirements for normal strength steels and can even compete with high-strength steels.

Relevance of Research. The use of pulsed relativistic electron beam irradiation is one of the methods of increasing corrosion resistance and surface strength of aluminum alloy parts [2]. The study of the interaction of high-current relativistic electron beams with metals and alloys is essential for both fundamental and applied science. Concentrated energy fluxes are a tool for studying the behavior of solids under the influence of external factors with extreme load values, which is crucial both for the development of technologies for modifying surfaces to improve their physical and mechanical properties, in particular, corrosion and erosion resistance, as well as for obtaining new knowledge about the behavior of matter under critical conditions.

Problem Statement. In this study, aluminum alloy plates of the Al-Mg-Si system (Mg (0.5–1.0% wt.), Cu (0.5–0.9%wt.), Si (0.7–1.1%wt.), Mn (0.1–0.45%wt.), Zn (0.15%wt.), Cr (0.1%wt.), Ti (0.1%wt.), Fe (0.4%wt.), Al base) were irradiated to improve the strength and corrosion properties of the Al-Mg-Si alloy. For irradiation, plates with dimensions of 100'100 mm² were made of 1.1 mm thick alloy sheets. Before irradiation, the surface cladding layer of the

plate was sandpapered and the plate surface was polished. Irradiation of alloy sheets was performed by a high-current pulsed relativistic electron beam at the TEMP-A accelerator in the NSC KIPT of the NAS of Ukraine [3]. The energy flux density at the W target is approximately 109 W/cm² (beam energy is $E \sim 0.35$ MeV, the current is $I \sim 2000$ A, the pulse duration is $\tau_i \sim 5 \cdot 10^{-6}$ s, the beam diameter is $D \sim 3$ cm). Irradiation was produced by a single impulse in a vacuum at $1.3 \cdot 10^{-3}$ Pa.

Research Results. Corrosion studies have shown that the chemical composition (i.e., Mg/Si ratio, Cu concentration) and aging regime affect their corrosion resistance. Pitting corrosion, which in some cases leads to intercrystalline corrosion, occurs in Al-Mg-Si systems by two mechanisms. Intercrystalline corrosion occurs when the Cu concentration in alloys is greater than 0.1% wt% or when there is an excess of Si compared to its stoichiometric content in the Mg₂Si phase. In the presence of copper in Al-Mg-Si alloys, corrosion develops as a result of the formation of a galvanic couple between the zone free of emissions and grain boundary emissions containing Cu, for example, the Q-phase (Al₄Cu₂Mg₈Si₇) or its metastable modification. And as a result of the formation of grain boundary separation of the β -phase or its metastable modifications for alloys that do not contain copper in their composition. The Mg/Si ratio also affects the corrosion resistance of Al-Mg-Si alloys. However, the degree of influence of this factor is less than the effect of Cu [4]. Coarse intermetallics containing Al, Mg, Si can also be a source of pitting corrosion [5].

When a material is treated with pulsed electron beams, the surface of the material is rapidly heated and melted, followed by quick hardening. This can lead to the formation of metastable microstructures such as supersaturated solid solution and nanograins or nanodomains [6]. Meanwhile, a sudden change in temperature causes dynamic and thermal stresses directed from the surface to the center of the material, leading to plastic deformation and deep hardening below the surface [2].

Irradiation of an Al-Mg-Si alloy with a pulsed electron beam leads to the formation of a melted surface layer up to 200 μ m thick with a modified structural and phase state. The structural state of this layer is characterized by the presence of a submicrocrystalline structure with an average grain size of 0.7 μ m, while in the initial state of the alloy, the grain size is 40 μ m.

The analysis of the chemical composition of the alloy shows that the main alloying elements in it, which form eutectic state diagrams with aluminum in the aluminum angle, are Mg, Cu, Zn, and Si. These elements shall almost completely dissolve in the aluminum matrix. However, since the samples for the study were cut from a cold-rolled sheet of a semi-finished Al-Mg-Si alloy that was not subjected to thermomechanical treatment, they could quite likely contain phases containing Mg, Cu, Zn, which are usually present in Al-Mg-Cu-Si alloys (Al₃Mg₂, Al₂Cu, Al₂CuMg, etc.). X-ray diffraction studies have shown that, in addition to the above phases, the diffractogram of an unirradiated sample of the Al-Mg-Si alloy is also characterized by the presence of peaks of the Al₂Fe₃Si₄ phase (33.3Fe, 44.4Si, at.%) and the Al₄Cu₂Mg₈Si₇ phase (9.5Cu, 38.1Mg, 33.3Si, at.%).

A new solid solution based on aluminum is formed in the melted layer after treatment with a pulsed electron beam. In the irradiated layer, the number of Mg atoms decreases in the aluminum-based solid solution, and the concentration of Si, Cu, Fe, and Mn atoms, on the contrary, increases. The combination of the melt heated in a vacuum with the most volatile components, which primarily include Mg, as well as the dissolution or melting and mixing of intermetallic phase particles present in the initial state of the alloy are the reasons for this change. The phases Al₂Fe₃Si₄ and Al₄Cu₂Mg₈Si₇, which were present in the initial state of the alloy, were not detected by X-ray diffraction methods in the layer modified by a pulsed electron beam.

The yield strength and plasticity of the surface layer of an Al-Mg-Si alloy modified by the action of a pulsed electron beam were determined according to microhardness data. It was established that the irradiated layer becomes much stronger, but its plasticity decreases. The microhardness of the irradiation-modified layer was found to be 101HV0.50, while in the initial state, it was 60HV0.50. Structural-phase transformations in the alloy caused by the action of a

pulsed electron beam lead to the strengthening of the surface layer of the aluminum alloy of the Al-Mg-Si system, characterized by an increase in yield strength by more than 100 MPa. The strengthening of the treated layer is due to grain refinement, increased dislocation density, and increased concentration of silicon and copper in the aluminum-based solid solution.

Many studies, in particular [7], show that an increase in copper atoms in the Al matrix increases the corrosion potential of the aluminum matrix. As noted above, a 200–10 µm thick melted layer with an enriched Cu content was formed in the irradiated layer of the Al-Mg-Si alloy due to the dissolution of various constituent particles of intermetallic phases. In addition, the layer melted by the pulsed electron beam has fewer dislocations than the initial cold-rolled state of the Al-Mg-Si alloy. These various factors have led to an overall improvement in the corrosion resistance of the surface layer. However, it should be noted that the corrosion resistance of treated samples is also affected by hardening defects, such as cavities and surface cracks, as they can become a site of initiation of localized corrosion.

Conclusions. The action of a pulsed electron beam on an Al-Mg-Si alloy plate leads to the melting of its surface layer and changes in the topographic pattern of the surface. As a result of the action of a pulsed electron beam, a decrease in the number of Mg atoms is observed in the melted layer, and the number of Si, Cu, Fe, and Mn atoms, on the contrary, slightly increases. This redistribution of alloying elements is caused by the evaporation of the most volatile components in a vacuum and the dissolution and mixing of intermetallic phase particles in the melt. The use of the analysis of the spectrum of polarization bremsstrahlung radiation may be a promising direction for determining the spatial orientation of intermetallic phases. The yield strength and plasticity of the surface layer of an Al-Mg-Si alloy modified by the action of a pulsed electron beam were determined using microhardness data. It was determined that the irradiated layer becomes much stronger, but its plasticity decreases. The increase in copper atoms in the Al matrix and the decrease in dislocation density leads to an overall improvement in the corrosion resistance of the surface layer of the Al-Mg-Si alloy.

REFERENCES

1. Wei, C., Wang, G., Cridland, M., Olson, D. L., & Liu, S. (2018). Corrosion protection of ships. In *Handbook of Environmental Degradation of Materials* (pp. 533-557). William Andrew Publishing.
2. V.V. Bryukhovetsky, V.F. Klepikov, V.V. Lytvynenko, D.E. Myla, V.P. Poyda, A.V. Poyda, V.T. Uvarov, Yu.F. Lonin, A.G. Ponomarev The features of the structural state and phase composition of the surface layer of aluminum alloy Al-Mg-Cu-Zn-Zr irradiated by the high current electron beam // *Nuclear Inst. and Methods in Physics Res. B*, 2021 Vol. 499, P 25-31.
3. A.G. Kobets, P.R. Horodek, Yu.F. Lonin, V.V. Lytvynenko, A.G. Ponomarev, O.A. Startsev, V.T. Uvarov, Melting effect on high current electron beam on aluminum alloy 1933, *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, V.51, №5 (2015) 478-482.
4. Liang W.J., Rometsch P.A., Cao L.F. General aspects related to the corrosion of 6xxx series aluminium alloys: Exploring the influence of Mg/Si ratio and Cu // *Corrosion Science*. V. 76. 2013. P. 119-128.
5. Guillaumin V., Mankowski G. Localized corrosion of 605 6 T6 aluminium alloy in chloride media // *Corrosion Science*. 2000. V. 42. P. 105-125.
6. V.V. Bryukhovetsky, V.F. Klepikov, V.V. Lytvynenko, D.E. Myla, Yu.F. Lonin, A.G. Ponomarev. The Structural Phase State and Strength Properties of the Surface Layer of AA6111-T4 Aluminum Alloy Irradiated by the High-Current Electron Beam, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research B* 519 (2022) 1-8.
7. Z. Liu, P.H. Chong, A.N. Butt, P. Skeldon, G.E. Thompson, Corrosion mechanism of laser-melted AA 2014 and AA 2024 alloys, *Appl. Surf. Sci.* 247 (2005) 294–299.

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ

Мосьян В. М.

*Херсонський національний технічний університет
(Україна)*

Вступ. Електромобільність є одним із найперспективніших напрямів розвитку транспортної галузі в умовах глобальних викликів, зумовлених зміною клімату, енергетичною кризою та урбанізацією. В Україні цей сегмент мобільності набуває дедалі більшого значення завдяки державним ініціативам, зростанню екологічної свідомості населення та поступовому переходу до сталої мобільності. Відповідно до даних офіційного сайту Міністерства внутрішніх справ України [1], станом на 1 січня 2023 року в країні було зареєстровано 46 830 електричних легкових автомобілів, що демонструє значний прогрес порівняно з попередніми роками.

Однією з ключових переваг розвитку електромобільності є зменшення кількості викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел. Також слід зазначити, що електромобільність значно сприяє зниженню рівня шумового забруднення.

Окрім вищевказаних переваг, розвиток електромобільності сприяє зміцненню енергетичної незалежності країни, зменшуючи залежність від імпортованих нафтопродуктів та стимулюючи розвиток відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергетика.

Актуальність досліджень. Дослідження розвитку електромобільності в Україні є актуальним з кількох причин. По-перше, транспортний сектор залишається одним із найбільших джерел викидів парникових газів, що потребує переходу до екологічно чистих технологій для виконання міжнародних зобов'язань, зокрема Паризької угоди. По-друге, зростання цін на викопні види палива та нестабільність ринку підкреслюють важливість енергоефективних рішень, таких як електромобільність. По-третє, розвиток електромобільності сприяє економічному зростанню через створення нових робочих місць, залучення інвестицій та можливості експорту. Кількість функціонуючих в Україні електромобілів свідчить про потребу в розширенні інфраструктури та підтримці даного сегменту [2]. Таким чином, аналіз перспективних напрямків розвитку електромобільності є необхідним для формування стратегії сталого розвитку транспортної системи країни.

Постановка задачі. Метою даного дослідження є оцінка перспективних напрямків розвитку електромобільності в Україні та визначення ключових факторів, які сприятимуть її масштабуванню. Відповідно, до основних задач даного дослідження віднесено:

1. Аналіз поточного стану інфраструктури зарядних станцій та перспектив її розширення.
2. Вивчення можливостей розвитку власного виробництва електромобілів в Україні.
3. Дослідження потенціалу інтеграції електромобільності з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ).

Результати досліджень. Дослідження перспективних напрямків розвитку електромобільності в Україні дозволило детально проаналізувати сучасний стан даного сегменту мобільності та визначити ключові аспекти, які сприятимуть його масштабуванню. Нижче представлено результати аналізу трьох основних напрямків: розвитку інфраструктури зарядних станцій, стимулювання національного виробництва електромобілів та інтеграції електромобільності з ВДЕ.

Інфраструктура зарядних станцій є основою для розвитку електромобільності в Україні. Станом на 1 січня 2023 року в Україні було зареєстровано 46 830 електричних легкових автомобілів, що підкреслює гостру потребу в розширенні мережі зарядних пунктів [1, 2]. У 2022 році Укравтодор затвердив «План заходів з підтримки електромобільності», розроблений у співпраці з британськими консультантами та Європейським банком

реконструкції та розвитку (ЄБРР). Цей документ передбачає створення мережі зарядних станцій уздовж доріг державного значення, що має полегшити доступ до електротранспорту в різних регіонах країни, включаючи сільські території [2].

До розвитку мережі зарядних станцій також активно долучається приватний сектор. Наприклад, компанія ECO SPHERE INNOVATIONS розробляє інженерні рішення для інтеграції зарядних станцій у міське середовище, пропонуючи модульні конструкції та інноваційні підходи до їх розміщення в густонаселених районах [3].

Додатковим фактором розвитку зарядних станцій є необхідність стандартизації зарядних пристроїв і підвищення їхньої потужності. Сьогодні в Україні переважають станції середньої потужності, тоді як швидкісні зарядні станції зустрічаються рідше. Розвиток таких об'єктів, особливо на автомагістралях, сприятиме комфорту користувачів і скоротить час зарядки, що є критичним для масового розвитку електромобільності. Перспективи цього напрямку також пов'язані з впровадженням «розумних» мереж або smart grids, які оптимізують розподіл електроенергії та зменшують навантаження на енергосистему.

Розвиток власного виробництва електромобілів є стратегічно важливим для економічного зростання України та зменшення залежності від імпорту. В Україні вже є приклади успішного виробництва електротранспорту. Наразі львівське підприємство «Електрон» має успішний досвід виготовлення електробусів. У 2021 році представниками органів місцевого самоврядування Львова було оголошено плани про закупівлю 250 електробусів українського виробництва для потреб міста, що стало значним мотиваційним кроком до підтримки місцевих виробників і демонстрації їхнього потенціалу.

Державна політика також відіграє ключову роль у цьому процесі. На державному рівні розробляються законопроекти, спрямовані на створення сприятливих умов для вітчизняних компаній через надання податкових знижок, субсидій та спрощення сертифікаційних процедур. Такі заходи мають стимулювати не лише виробництво електробусів, але й розробку легкових електромобілів та спеціалізованого транспорту, наприклад, електричних вантажівок.

Результати проведеного дослідження також свідчать, що підтримка виробництва є ключовим елементом інтеграції електромобільності в концепцію сталої міської мобільності. Перспективи цього напрямку значною мірою залежать від залучення іноземних інвестицій та технологій. Наприклад, співпраця з європейськими автовиробниками могла б сприяти трансферу знань і створенню спільних підприємств. Крім того, конкурентоспроможність українських електромобілів на європейських ринках може стати реальністю завдяки нижчим витратам на робочу силу та наявності сировинної бази, зокрема літію, який є важливим компонентом акумуляторів. Таким чином, розвиток виробництва не лише задовольнить внутрішній попит, але й відкриє експортні можливості, зміцнюючи позиції України на міжнародному ринку.

Поєднання електромобільності з ВДЕ є перспективним напрямком, який може зробити транспортну систему України більш екологічною та сталою. Сектор сонячної та вітрової енергетики в країні активно розвивається. Так у 2022 році внесено зміни до Закону України «Про альтернативні джерела енергії», які розширили можливості використання комбінованих вітро-сонячних систем для домогосподарств і малого бізнесу [4]. Це створює передумови для децентралізованого енергозабезпечення транспортних засобів, особливо в приватному секторі.

Додатковим аспектом є потенціал використання технології «vehicle-to-grid» (V2G), яка дозволяє транспортним засобам не лише споживати енергію, але й повертати її в мережу в періоди пікового навантаження. Це може стати важливим інструментом для стабілізації енергосистеми, особливо враховуючи нестабільність, спричинену війною та пошкодженням інфраструктури.

У довгостроковій перспективі інтеграція з ВДЕ підвищить енергоефективність і сприятиме досягненню цілей декарбонізації, закріплених у міжнародних угодах. Перспективи цього напрямку також пов'язані з можливістю створення «зелених» кластерів,

де зарядні станції, ВДЕ та електротранспорт функціонуватимуть як єдина екосистема.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що розвиток електромобільності в Україні має значний потенціал у трьох ключових напрямках: розбудова інфраструктури зарядних станцій, стимулювання власного виробництва та інтеграція з ВДЕ. Інфраструктурні проекти, за підтримки держави та міжнародних партнерів, є основою для масштабування електромобільності. Вітчизняне виробництво, підкріплене пільгами та попитом, може стати економічним драйвером і відкрити експортні можливості. Комплексний підхід до реалізації цих напрямків дозволить Україні не лише відповідати глобальним трендам, але й стати регіональним лідером у сфері сталої мобільності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Міністерство внутрішніх справ України. В Україні вже зареєстровано понад 46,8 тисяч легкових електромобілів [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://mvs.gov.ua/news/v-ukrayini-vze-zarejestrovano-ponad-468-tisiac-legkovix-elektromobiliv> — Дата доступу: [11.03.25].
2. Кабінет Міністрів України. Укравтодор затвердив План заходів з підтримки електромобільності [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/ukravtodor-zatverdiv-plan-zahodiv-z-pidtrimki-elektromobilnosti> — Дата доступу: [14.03.25].
3. ECO SPHERE INNOVATIONS. Тенденції розвитку ринку виробництва електроенергії в Україні [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://e-si.energy/tendentsiyi-rozvytku-rynku-vyrobnytstva-elektroenergiyi-v-ukrayini/> — Дата доступу: [17.03.25].
4. Центр Разумкова. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny> — Дата доступу: [20.03.25].

ТЕНДЕНЦІЇ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ КОНТЕЙНЕРНИХ СУДЕН

Піхуля М.Ю., Стовба Т.А.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. В епоху, коли глобалізація стрімко розвивається, а технологічний прогрес прискорюється з безпрецедентною швидкістю, галузь вантажних перевезень опиняється в центрі змін. Саме морські перевезення є важливим видом транспортування, що забезпечує зв'язок між державами та материками через ефективне перевезення великих обсягів вантажів. Близько 80% вантажів у світі перевозять морем.

Морські контейнерні перевезення набули поширення та стали невід'ємною ланкою в ланцюгу міжнародної торгівлі. З моменту свого створення транспортні контейнери відіграли ключову роль у переосмисленні секторів логістики та транспорту. Їхні стандартизовані конструкції зробили глобальну торгівлю ефективнішою, ніж будь-коли. З роками ці контейнери еволюціонували, адаптуючись до мінливих вимог торгівлі та відкриваючи нові можливості, зокрема, для автомобільного транспорту.

Актуальність досліджень. Контейнеровози — це тип морських суден, який швидко поширюється у світі. Контейнерний флот є основою міжнародної морської торгівлі та глобальної логістики завдяки великій місткості та порівняно високій швидкості перевезення.

Постановка задачі. Метою дослідження є визначення світових тенденцій інноваційного розвитку контейнеровозів, які революціонізують індустрію вантажних перевезень в умовах цифрової економіки.

Результати досліджень. Наразі доволі часто можна побачити новини про те, як певні країни світу планують почати будівництво атомних контейнеровозів. Хоча концепція атомних контейнеровозів ще не реалізована на практиці, але існують дослідження щодо використання атомних енергетичних установок на морському транспорті.

Так, атомна рушійна установка компанії China State Shipbuilding Corporation (CSSC) привертає багато уваги в морській галузі в рамках пошуку суден із майже нульовим рівнем викидів відповідно до постійно жорстких амбіцій щодо декарбонізації до 2050 року. Використовуючи потенціал чистої ядерної енергії, оприлюднена конструкція матиме місткість до 24 000 TEU та базуватиметься на застосуванні технології реактора на розплавах солей четвертого покоління (рідкосольовий реактор, PCP, MSR), яка вважається передовою в глобальному масштабі. Вони працюють за умов високої температури та низького тиску, що зменшує ризик розплавлення реактора із самого початку. Зокрема, у разі аварії реактор може бути швидко зупинений, щоб запобігти подальшій ескалації, що підкреслює прихильність стандартам безпеки при розробці цього надвеликого атомного контейнеровоза. Проєкт отримав схвалення класифікаційного товариства DNV [1, 2].

Основним джерелом енергії є генератор надкритичного вуглецевого газу, а ядерна енергетична система використовує компактну модульну конструкцію, що забезпечує високу ефективність. Крім того, використання саме атомної системи є більш компактним порівняно із традиційними типами суден, що створює додаткові вантажні приміщення для контейнерів. Відділення атомної системи розташоване на міделі, що підвищує комфорт і безпеку завдяки збільшеному простору вантажних приміщень [1].

Порівняно із нафтою із низьким вмістом сірки та різними альтернативними джерелами енергії, цей тип судна пропонує меншу довжину, збільшений контейнерний простір, а також покращене використання простору та енергії і справжні «нульові» викиди.

Цей розвиток відображає ширшу тенденцію в галузі, де кілька суднових верфей у Південній Кореї та США активно досліджують потенціал ядерної енергії як для двигунів, так і для виробництва альтернативного пального.

Отже, плани будівництва атомних контейнеровозів, зокрема китайського проєкту із торієвим реактором на розплаві солей, відображають глобальні зусилля щодо декарбонізації

морського транспорту [2]. Проєкт отримав схвалення DNV, що вказує на його технічну реалізацію. Паралельно інші країни (Південна Корея, США) вивчають можливості використання ядерної енергетики для суден, що свідчить про зацікавленість цією технологією в рамках глобальної стратегії декарбонізації.

Навесні 2022 р. норвезька компанія Yara ввела в комерційну експлуатацію в Порсгрунні перше у світі автономне вантажне судно із нульовими викидами вуглеводнів. Yara Birkeland є доказом концепції повністю автономного судна, здатного подорожувати по всьому світу та виконувати багато функцій від промислових до портових операцій [3].

Судно може перевозити 120 контейнерів і розвивати максимальну швидкість у 15 вузлів, використовуючи батарею на 6,8 МВт, яка майже в тисячу разів потужніше, ніж у електромобіля [3, 4]. Yara International дотримується стратегії нульових викидів за допомогою рішення із повністю електричним приводом: робота судна замінить приблизно 40 000 рейсів вантажівок на рік і пов'язані з цим викиди NO_x і CO₂, а також зменшує шум і забруднення повітря під час перебування в порту. Акумулятори автоматично заряджаються електроенергією із відновлюваних джерел [5].

Коли мова йде про акумуляторні системи для морських суден, ефективний захист від перегріву є незамінним. Щоб запобігти пожежі у відкритому морі кожна батарея містить детектори газу та диму, резервний контроль тепла та систему охолодження для запобігання перегріву та виникненню теплових інцидентів. У разі виникнення термічного інциденту спрацьовує система пожежогасіння Fifi4Marine, яка використовує екологічно чисту піну, котра швидко й ефективно охолоджує та гасить пожежу.

У 2019 р. Yara Birkeland став фіналістом щорічного конкурсу Nor-Shipping Next Generation Ship [6]. Завдяки Yara морська галузь увійшла до нової ери, коли автономне судноплавство продемонстровано як життєздатне рішення для великої кількості суден.

Отже, Yara Birkeland став доказом концепції стабільного судноплавства, що сприяє впровадженню екологічних рішень на вантажних суднах. Хоча повноцінна автономність на далеких маршрутах залишається складною через юридичні та технічні виклики, цей проєкт відкрив шлях до інтеграції штучного інтелекту у судноплавство.

Процедура збільшення суден шляхом розрізання його навпіл не є новою (виникла у 1970-ті рр.), але тоді вона використовувалась на круїзних лайнерах. Але останніми роками деякі суднові компанії почали використовувати такі методи на торгових суднах.

Судноплавним компаніям по всьому світу потрібні контейнерні судна великих розмірів для одержання ефекту масштабу. Побудувати нове судно недешево, тому суднобудівники вигадали дешевший і швидший спосіб збільшення довжини судна методом його розрізання для зростання обсягів перевезення. Подовження суден шляхом розрізання їх навпіл, відоме як jumboization або stretching, є економічно ефективним методом збільшення місткості та модернізації суден [7].

Розглянемо цей процес на прикладі поромного судна Begonia Seaways (раніше Tor Begonia), що належить компанії DFDS TOR LINE. Судно довжиною 200 м збільшено на 30 метрів за кілька тижнів у Бремерхафені на верфі «MWB Motorenwerke», де подовжено кілька суден за останні чотири роки. Цей процес складається з підготовки, розробки та самої трансформації [8]. До моменту перетворення вантажопідйомність судна Tor Begonia становила 32 280 тон, але на думку датської судноплавної компанії, це невигідно, тому керівниками було прийнято рішення наростити довжину корпусу, щоб не будувати нове судно: побудова нового судна коштує власникам 50 мільйонів євро, а трансформація судна від 10 до 14 мільйонів євро.

Збільшення довжини корпусу судна має низку переваг — воно дозволяє підвищити вантажопідйомність теплоходу. Зокрема, для судноплавної компанії DFDS TOR LINE це означає збільшення вантажного простору судна на 25% і можливість перевозити на 6 тис. тонн більше вантажу. Крім того, судноплавна компанія очікує зниження поточних витрат, оскільки подовжені судна можуть перевозити більше вантажів при спалюванні тієї ж кількості пального. Нарощування довжини корпусу особливо актуальне для суден, що

працюють на лінії та довгостроковим фрахтом [8].

У Європі є двадцять верфей, які практикують нарощування довжини судна. Оскільки попит на використання морського транспорту для перевезення вантажів у світі зростає, подовжити судно набагато швидше та економніше, ніж купити нове, а також екологічно безпечніше. Збільшивши вантажний простір судна на 25% кожен четвертий рейс стане додатковим джерелом прибутку для судноплавної компанії, яка вибрала цей спосіб розвитку перевезень.

Економічна ефективність є головним аргументом: трансформація судна коштує в 3–5 разів менше, ніж будівництво нового (10–14 млн. євро проти 50 млн. євро). Екологічні та логістичні переваги також важливі: подовжені судна перевозять більше вантажу на одну одиницю пального, що знижує витрати та екологічний слід. Для компаній із постійними маршрутами та довгостроковим фрахтом цей метод є оптимальним вибором, що поєднує економію, швидкість та екологічну безпеку.

Висновки. На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що індустрія контейнерних перевезень стоїть на порозі значних змін, які визначаються прагненням до забезпечення екологічності, ефективності та автоматизації.

Розглянуті інноваційні напрямки, а саме атомні контейнеровози, повністю електричні та автономні судна, а також методи подовження існуючих суден, демонструють різноманітність підходів до модернізації флоту задля оптимізації логістичних процесів.

Розробка атомних контейнеровозів і повністю електричних суден свідчить про серйозний намір галузі зменшити викиди парникових газів та перейти до більш стійких методів транспортування вантажів.

Впровадження автономних технологій (приклад Yara Birkeland) відкриває нові можливості для оптимізації операцій, зниження витрат і підвищення безпеки морських перевезень.

Метод подовження суден шляхом розрізання навпіл є економічно ефективним способом підвищення вантажопідйомності та продовження терміну служби існуючих суден, що особливо актуально в умовах зростаючого попиту на контейнерні перевезення.

Варто зазначити, що кожен з цих напрямків має свої виклики, умови застосування та перспективи. Атомні контейнеровози вимагають значних інвестицій у безпеку та інфраструктуру, електричні судна потребують розвитку мережі зарядних станцій та вдосконалення технологій акумуляторів, а збільшення суден потребує ретельного планування та інженерних розрахунків.

У цілому, інноваційні напрямки розвитку контейнеровозів відображають прагнення галузі до більш ефективних, екологічно чистих та безпечних методів перевезення вантажів, що сприятиме подальшому розвитку світової торгівлі та економіки, а також відповідної адаптації до них судових офіцерів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Jiangnan Shipyard unveils design for the ‘world’s largest’ nuclear-powered containership. *Offshore-energy.biz* : веб-сайт. URL: <https://www.offshore-energy.biz/jiangnan-shipyard-unveils-design-for-the-worlds-largest-nuclear-powered-containership/> (дата звернення: 11.04.2025).
2. Maritime / China Unveils Plans For «Largest Ever» Container Ship, Powered By Thorium Reactor. *Nucnet.org* : веб-сайт. URL: <https://www.nucnet.org/news/china-unveils-plans-for-largest-ever-container-ship-powered-by-thorium-reactor-1-5-2024> (дата звернення: 10.04.2025).
3. Yara Birkeland. *Yara.com* : веб-сайт. URL: <https://www.yara.com/news-and-media/media-library/press-kits/yara-birkeland-press-kit/> (дата звернення: 15.04.2025).
4. Майбутнє морських перевезень. Норвегія спускає на воду перше автономне вантажне судно. *Dsnews.ua* : веб-сайт. URL: <https://www.dsnews.ua/ukr/future/budushchee-morskih-perevozok-norvegiya-spuskaet-na-vodu-pervoe-avtonomnoe-gruzovoe-sudno->

[03092021-435366](#) (дата звернення: 15.04.2025).

5. MV Yara Birkeland. *en.wikipedia.org* : веб-сайт. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/MV_Yara_Birkeland (дата звернення: 14.04.2025).

6. Yara Birkeland, World's First 100% Electric and Autonomous E-Container Ship, Fully Powered by a Leclanché Battery System, Prepares for Commercial Operation. *Leclanche.com* : веб-сайт. URL: <https://www.leclanche.com/yara-birkeland-worlds-first-100-electric-and-autonomous-e-container-ship-fully-powered-by-a-leclanche-battery-system-prepares-for-commercial-operation/> (дата звернення: 16.04.2025).

7. Expanding A 755 Foot Ship By Cutting It In Half | How Ships Grow | Spark. *Youtube.com* : веб-сайт. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=D1W-9bAALP4&t=10s> (дата звернення: 21.04.2025).

8. DFDS Ferry to be lengthened by 30 metres. *Safety4sea.com*: веб-сайт. URL: <https://safety4sea.com/dfds-ferry-to-be-lengthened-by-30-metres/> (дата звернення: 20.04.2025).

CHANGES IN THE COEFFICIENTS OF SPUTTERING OF SURFACE OF TUNGSTEN WHEN HIS USED IN FUSION REACTORS

Prokhorenko E.M.¹, Manuilenko O.V.^{2,4}, Pavlii K.V.², Zajtsev B.V.², Soshenko V.A.², V.I. Butenko², Prokhorenko T.G.³

*¹Institute of Electrophysics and Radiation Technologies NAS of Ukraine
(Ukraine)*

*²NSC «Kharkov Institute of Physics and Technology»
(Ukraine)*

*³Kharkiv National Automobile and Highway University
(Ukraine)*

*⁴V.N.Karazin Kharkiv National University
(Ukraine)*

Introduction. When creating thermonuclear power plants, the issue of the first wall of the thermonuclear reactor is very important. The trouble-free operation of the thermonuclear reactor, its service life and efficiency depend on the material of the first wall. The material of the first wall is affected by a significant number of unfavorable factors. The most critical of them are: a) significant thermal impact and high (>1200 K) temperatures, b) strong radiation impact of nuclear fusion products and charged particle beams, c) contact of plasma with the surface of wall. All these effects change the structure of material of the first wall. Point destruction of the walls, material release and its sputtering into the working chamber occur.

Various materials are used to make the first wall. Tungsten is a perspective material. Tungsten has a high melting point and changes little when exposed to radiation. Tungsten has high residual strength after cooling. Tungsten weakly retains tritium, which reduces residual radioactivity. Therefore, it meets the basic requirements for materials of the divertor or first wall of a thermonuclear reactor. As a result of radiation exposure, the characteristics and properties change of tungsten. In this case, various processes may occur. Sputtering of the surface occurs.

Purpose of work. The aim of the work was to find the sputtering coefficients from the surface of tungsten when it is in the active zone of a thermonuclear reactor.

Experimental part. The emergence and development of structural defects of the first wall materials is a long process. Therefore, we used methods of physical and mathematical modeling of processes that occur during reactor operation. For practical measurements, it is possible to use beams of contaminated particles. In our studies, we used helium ion beams. Helium ions have a large mass, and they can be accelerated to high energies. Therefore, when exposed to tungsten, they lead to strong lattice defects. Also, helium ions are weakly soluble in tungsten. This allows us to work without induced radioactivity. As a result of exposure to ion beams, we obtain such changes in the crystal lattice that in real conditions are developed over several years.

A helium ion accelerator was used in the studies [1]. It had the following characteristics: pulse current $700\text{ }\mu\text{A}$, pulse length $500\text{ }\mu\text{s}$, average current $0.7\text{ }\mu\text{A}$, repetition frequency $2\ldots 5\text{ imp./s}$, current density $(0.15\ldots 0.44)\times 10^{13}\text{ part./cm}^2$. This accelerator operates in two modes. It can produce ion beams with energies of 0.12 MeV (in injection mode) or 4 MeV (in acceleration mode). The use of this accelerator made it possible to conduct experiments in both «cold» and «hot» modes.

In the «cold» mode, thermal effects are not taken into account. In the «cold» mode, damage and structural damage to the tungsten surface that arose as a result of radiation exposure are studied. Damage to the tungsten surface that arose as a result of thermal effects are studied separately.

As a result of reactor operation, various lattice defects are formed in tungsten. «Peeling» occurs on the tungsten surface. Also, tungsten atoms are squeezed out from the surface into threads — «fluff». This occurs due to the extrusion of helium ions, which also squeeze out tungsten atoms.

Tungsten with a purity of 99.5% (W -1) was used in the experiments. A small amount of impurities allows obtaining results without distortions. An ion beam with an energy of 4 MeV was

used for irradiation. With such energy, we obtain a radiation dose equal to $1,62 \times 10^{18}$ ion/cm², and a radiation damage dose equal to 8.19 dpa.

One of the effects that occur as a result of exploitation is the sputtering of the material surface. The sputtering of the surface is described by the «sputtering yield», which is defined as the average number of sputtered target atoms per incident ion. To determine the sputtering coefficients of the W-1 samples, calculations were made using the SRIM program [2]. The numerical values of the sputtering coefficients were obtained using mathematical modeling methods. Table 1 shows the atom sputtering coefficients depending on the sample thickness [3]. W-1 samples were used. The helium ion energy was 4 MeV.

Table 1. Coefficients of sputtering of sample W — 1, ($k \cdot 10^{-5}$ atom/ion, $E_{He^+} = 4$ МэВ, density = 19,275)

Material		Target thickness, Å											
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
		k											
W		21.1	57.8	73.1	74.3	77.2	81.1	93.5	97.0	103.4	103.9	111	111

Of considerable interest is how the total sputtering coefficients change over the depth of the sample. Figure 1 shows the dependences of the change in the total sputtering coefficients (Σ) over the depth of the W–1 samples, at a helium ion energy of 4 MeV [3].

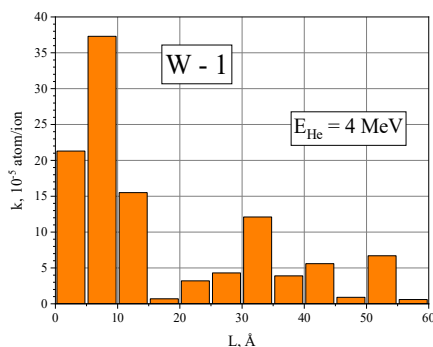


Figure 1 — Change in the total sputtering coefficient (Σ) by the depth of the W — 1 sample when irradiated with helium ions with an energy of 4 MeV

The maximum number of tungsten atoms is sputtered from the surface layer. The main contribution to the sputtering processes is made by tungsten atoms from depths of up to 15 . There is no sputtering of tungsten atoms from depths greater than 60 Å. The maximum evaporation depth depends on the penetration depth of helium ions into the tungsten sample. A special feature is that another layer appears, which affects the sputtering coefficient (4 MeV). This layer is located at a depth of 30-35 Å. Energy transfer is achieved by reflecting ions from atoms located in deeper layers.

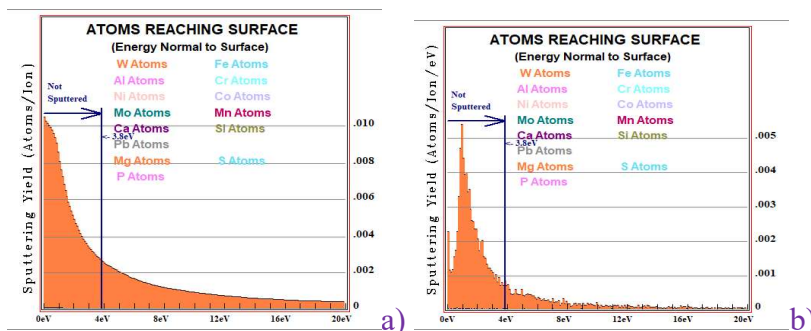


Figure 2 — «Integral» (a) and «Differential» (b) characteristics of sputtering of sample W — 1. Irradiation with helium ions with energy 4 MeV

The graph (Fig. 2, a) shows the energy of the recoil atoms that reach the sample surface.

The vertical axis shows the number of recoil atoms that reached the surface. The number of recoil atoms is given per helium ion. The straight line on the graph (3.8 eV) shows the average surface binding energy for this sample (W-1). The region to the left of this line (the Not Sputtered region) contains atoms with energies below 3.8 eV. Therefore, they cannot be sputtered from the sample surface. The region to the right of the 3.8 eV line contains atoms with energies greater than the binding energy. These atoms are sputtered from the surface and contribute to the sputtering coefficient. From the graph (Fig. 2,b), we can find the energy of the atoms on the sample surface (tungsten W — 1). It is evident that no more than 0.0025 atoms are sputtered from the surface for each ion. The sputtering coefficient depends on the path length of helium ions (Fig. 3) [3].

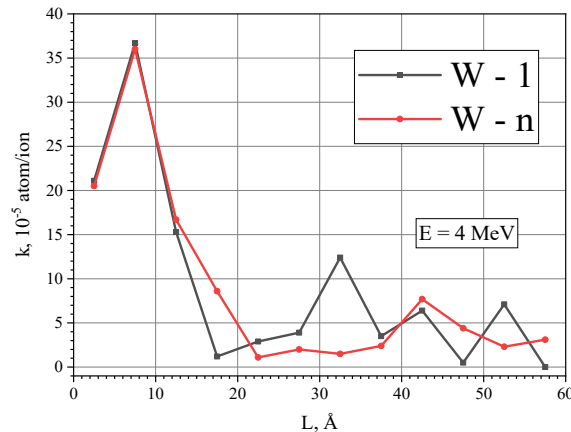


Figure 3 — Dependences of the tungsten sputtering coefficients W-1 on the length of the helium ion path. Irradiation with helium ions with energy 4 MeV

It was found that the maximum number of atoms is sputtered in the interval of free path lengths from 4 Å to 12 Å. In the region from 28 to 38 angstroms, a peak is observed. Probably, the reason is additional interaction of atoms that interacted at a large depth. The second reason may be the processes of interaction with oxygen atoms in the W — 1 sample. An image of the surface was obtained using optical microscopy. The results are shown in Fig. 4 [3].



Figure 4 — Photographs of the sample surface (W -1), after irradiation (irradiation dose 5×10^{17} ion/cm²).

The photo (Fig. 4) shows a large number of pits and a small number of bulges. These defects were formed as a result of sputtering from the surface of tungsten. The coefficient of sputtering allows us to calculate the wear rate of the surface of material and the depth of destruction. Thus, as a result of experimental studies and numerical modeling, we can determine the terms of exploitation of the first wall of a thermonuclear reactor.

Conclusion.

1. Experimental work on irradiating of samples of tungsten (purity 99.5%) with ion of helium beams with energies of 4 MeV was performed.
2. Work was carried out to find of the coefficient of sputtering of the surface of tungsten, which occurred as a result of its irradiation.
3. The dependence of the coefficient of sputtering on the depth of the surface layer up to 60 angstroms, the purity of tungsten and other parameters was found.

REFERENCES

1. O.V. Manuilenko, E.M. Prokhorenko, K.V. Pavlii, B.V. Zajtsev, S.N. Dubniuk, V.V. Lytvynenko, T.G. Prokhorenko. Changes of the radiation characteristics of surface of tungsten as a result of influence of helium ion beams. // *Problems of atomic science and technology*. 2022, № 3, v. 139, p. 36–41.
<https://doi.org/10.46813/2023-139-036>.
2. <http://www.srim.org>
3. O.V. Manuilenko, E.M. Prokhorenko, K.V. Pavlii, B.V. Zajtsev, S.N. Dubniuk, V.V. Lytvynenko, T.G. Prokhorenko. Features of structural damages of surface of tungsten as a result of irradiation with helium ion beams with energy 4 MeV. // *Problems of atomic science and technology*. 2023, № 6, v. 148, p. 33–48.
<https://doi.org/10.46813/2022-148-033>.

INVENTORY OF INSTITUTIONAL AND COMPLEMENTARY PROVISIONS FOR COLLECTION AND TREATMENT OF WASTE FROM INLAND NAVIGATION

Oleg Rubel

*Institute of market and economic-ecological researches of NAS Ukraine
(Ukraine)*

Inland navigation emerges as a highly sustainable and eco-friendly mode of transport, distinctly advantageous over road and rail alternatives, offering significant benefits such as remarkable cargo capacity and reduced infrastructure maintenance costs, for which it is important to emphasize the fact that inland navigation uses natural waterways. Despite its advantages, the operational aspects of vessels and on-board life generate various types of waste, including hazardous materials and greenhouse gases, necessitating professional disposal to prevent environmental pollution.

Although at present a unified waste management system for Inland Water Transport has not been created in Europe, Ukraine can take the best of existing practices developed for the Rhine and Danube.

The article reflects in detail the details of the Convention on the Collection, Storage and Reception of Waste Generated from the Navigation on the Rhine (CDNI) and Other Inland Waterways, and partly repeats the Recommendation of the Danube Commission (Recommendations on the Organization of the Collection of Ship-Generated Wastes on the Danube).

Available reception facilities and procedures for disposal of IWT-related waste along the Ukrainian river system will be difficult to achieve. Any waste management approach to be followed by Ukraine, should align with the framework, as established by the CDNI convention and which serves as the reference for the specific measures to be taken at the level of Danube; this framework foresees three categories of wastes according to their appearance on board inland craft: Type A. Oily waste and bilge water; greases, filters, etc.; Type B. Cargo related wastes (solid, liquid and gaseous); Type C. Other wastes (including garbage, sewage, paints etc.). Coherence of measures to be made applicable by Ukraine with the implementing measures taken at CDNI-level or at the corresponding level of the Danube- recommendations should be ensured. Priority measures for a waste management policy of Ukraine should focus on the waste categories, which are considered as being sensitive for the environment, and besides are inherently connected to IWT-traffic. Finally, priority should be given to measures enabling synergies with maritime navigation, and for which already facilities and procedures exist.

Inland navigation emerges as a highly sustainable and eco-friendly mode of transport, distinctly advantageous over road and rail alternatives, offering significant benefits such as remarkable cargo capacity and reduced infrastructure maintenance costs, for which it is important to emphasize the fact that inland navigation uses natural waterways. Despite its advantages, the operational aspects of vessels and onboard life generate various types of waste, including hazardous materials and greenhouse gases, necessitating professional disposal to prevent environmental pollution.

Efficient waste management is critical in mitigating the environmental footprint of inland navigation. The generation of waste, varying with the type of vessel and its maintenance, underscores the need for professional disposal methods. Europe's focus on sustainable and energy-efficient transport aligns with the expansion of inland waterway transport, supported by policies and action programs promoting its use.

The European Union's Water Framework Directive (WFD) advocates for an integrated approach to river basin management, emphasizing the balance between navigational development and environmental protection. This holistic strategy, implemented through coordinated international efforts like the Danube River Basin's management plans, aims to harmonize navigation interests with ecological preservation.

Key to achieving sustainable waterway development is the integration of environmental objectives into project designs, as outlined in the Manual on Good Practices in Sustainable Waterway Planning. This approach fosters interdisciplinary collaboration, ensuring that navigation

projects not only meet transportation needs but also contribute positively to the river ecosystem. Essential to this process is the inclusion of stakeholders, comprehensive environmental monitoring, and an adaptive project implementation strategy, highlighting the shift towards environmentally responsible inland waterway maintenance and development.

In conclusion, while inland navigation offers a sustainable alternative to traditional transport modes, its environmental impact necessitate careful management. Through integrated planning, stakeholder involvement, and adherence to environmental principles, inland navigation can continue to evolve as a viable, eco-friendly transport option.

The EU Directive 2008/98/EC on waste (2008) enshrined in legislation 5 steps for waste management: from the most desirable (waste prevention, preparing for reuse) through the recycling and recovery to the least desirable — waste disposal. Instead, in Ukraine waste disposal is the most popular waste management measure, — over 7 % of the country's territory is landfilled, and only 3 % of all waste is recycled. At present, Ukraine is ranked 9th in the world by the amount of waste (3.5 billion tons annually). Unfortunately, only 8.6 % of the world economy is circular and worldwide resource utilization is accelerating.

From a legal perspective, ship waste management is a cross-sectional topic that falls within the purview of several national and Internationale laws. Beside regulations for navigation, waste and water legislation also need to be considered.

The Danube is an international river that flows through 10 countries, which means that a variety of legislative frameworks are relevant at national and international level. Moreover, there are bilateral agreements and international recommendations, such as those issued by the Danube Commission on the organisation of shipgenerated waste collection in Danube navigation or the Danube River Protection Convention. On the Rhine and the German part of the Danube the CDNI - The Strasbourg Convention on the collection, deposit and reception of waste generated during navigation on the Rhine and other inland waterways has to be applied. In the Danube delta the provisions of MARPOL have to be taken into account as it is the interaction zone of river and sea.

The following EU-Directives envisage framework conditions for ship waste management and have been implemented in national law:

- Water Framework Directive;
- Waste Framework Directive;
- Technical Requirements for Inland Waterway Vessels;
- Directive on Port Facilities for Ship-generated Waste and Cargo (for maritime

Danube Ports)

Regional regulatory framework: Directive (EU) 2019/883 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2019 on port reception facilities for the delivery of waste from ships, amending Directive 2010/65/EU and repealing Directive 2000/59/EC.



Figure1 — Legal framework & international conventions for ship waste
Source: Viadonau

Directive 2008/98/EC lays down the main waste management principles, including the **(1) «polluter pays» principle** and the waste hierarchy, which calls for the **(2) reuse and recycling of waste** over other forms of **(3) waste recovery** and disposal and requires the establishment of systems for the **separate collection of waste**. In addition, the extended producer responsibility concept is a guiding principle of Union waste law, on the basis of which **(4) producers are responsible** for the environmental impacts of their products throughout the life-cycle of those products. Those obligations also apply to the management of waste from ships.

The distinction of the different types of waste is based on the origin of waste. The distinctions made are in fact the usual distinction made by the industry and by regulatory authorities. It addresses the origin of types of waste, not the type of disposal. This is the reason that household refuse is mentioned under various bullets

European Waste Catalogue 2000/532/EC: Hazardous wastes are listed in the amended European Waste Catalogue (EWC), established by Commission Decision 2000/532/EC. The EWC does not contain all specified ship wastes. In the next table the most common kinds of ship waste are specified and provided with the best fitting EWC-codes. The «*» indicates that this waste is commented as hazardous waste. For this list the most common kinds of waste have been chosen.

Collection systems for ship-generated waste on Danube. A variety of collection systems are available for the reception of ship waste along the Danube. Besides land-based, stationary systems, there are also mobile collection vessels and suction vehicle systems available.

Land-based, stationary collection points on Danube. These stations are usually installed on pontoons and offer – depending on the equipment – possibilities for disposing of different types of waste. Suction systems for disposing of liquid wastes (bilge water, waste water) are sometimes complemented by appropriate containers for the collection of solid waste (residual waste, solid oily materials). Furthermore, in some cases, stationary facilities are directly connected to a sewer system.

The volumes of all ship-generated waste received from ships at port reception facilities in the seaports of Izmail and Reni for 2022, 2023, 2024 (with a breakdown by waste type in accordance with the relevant annexes to the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as amended by the Protocol of 1978 — MARPOL 73/78) are given in the table in m³.

Table 1 The volumes of all ship-generated waste received from ships at port reception facilities in the seaports of Izmail and Reni (m³)

Annexes MARPOL 73/78	Izmail port			Reni port		
	2022	2023	2024	2022	2023	2024
Annex I — Regulations for the Prevention of Pollution by Oil	58	110	13	50	44	28
Annex IV — Prevention of Pollution by Sewage from Ships	179	357	74	-	-	-
Annex V — Prevention of Pollution by Garbage from Ships	379	647	308	378	523	258
Total	616	1114	395	428	567	286

Source: Ministry of Community and Territorial Development of Ukraine

Mobile collection vessels on Danube. Depending on the equipment, other types of waste like waste oil can also be disposed. By use of onboard treatment plants, bilgewater can be separated

in its oil- and watercontents. Subsequently — if meeting the threshold values of the concerned national regulations — residual treated water can be discharged into the waterway.

Suction vehicles on Danube. Suction trucks are often used in combination with other collection systems. Through suction hoses bilge water and waste oil are pumped off the vessel and subsequently transported to onshore treatment facilities. Special suction vehicles can also collect waste water and sewage sludge, whereas for filters, batteries etc. additional collection vehicles are necessary.

Conclusions. To formulate measures for waste management for inland water transport in Ukraine, it is proposed to follow a pragmatic approach, for which it is important to emphasize the fact that inland navigation uses natural waterways. However, given the limited impact of inland shipping on the Ukrainian environment, it makes sense to prioritize measures that have the greatest impact in terms of environmental efficiency. Measures that have this capability, are those applying to in principle all inland navigation vessels, dealing with the waste aspect of some importance, and concerning measures which may be implemented with a certain ease, as is the case when giving IWT-craft access to facilities and procedures for maritime craft.

СТВОРЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПОВЕРХОНЬ ВАНТАЖНИХ ТАНКІВ НАЛИВНИХ ТАНКЕРІВ- ХІМОВОЗІВ

Сапронов О.О.¹, Даниленко Д.О.¹, Демченко В.Л.², Даниленко О.Б.³,
Банга М.М.¹, Воробйова В.В.¹

¹Херсонська державна морська академія
(Україна)

²Інститут електрозварювання імені Є.О.Патона НАН України
(Україна)

³Дунайський інститут національного університету «Одеська морська академія»
(Україна)

Вступ. На сьогодні танкерний флот відіграє ключову роль у глобальній системі транспортування нафтопродуктів водними шляхами, забезпечуючи їх безперервне постачання через основні логістичні хаби. При цьому поверхні вантажних танків постійно контактують з агресивним середовищем у вигляді рідких і газоподібних вантажів. З часом це призводить до перебігу корозійних процесів (загальна корозія, виразкова корозія, пітингова корозія) та як наслідок зниження міцності металоконструкцій, що призводить до виникнення аварійних ситуацій. Тому, одним із методів забезпечення надійної експлуатації засобів водного транспорту є розроблення новітніх полімерних покриттів [1–3].

Результати досліджень. Для створення полімерних покриттів призначених для захисту суднових вантажних танків, у якості зв'язувача обрано епоксидний олігомер ЕД-20 (ISO 18280:2010). Враховуючи умови експлуатації захисних покриттів, проводили дослідження впливу різних твердників на особливості структуроутворення сформованих матеріалів. Використовували твердники на основі аліфатичних амінів, зокрема: поліетиленполіамін ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78), триетилентетрамін ТЕТА (ТУ 6-02-1099-83), ancamine 2609. При цьому, формування полімерних матриць виконували за наступного співвідношення інгредієнтів:

- епоксидний олігомер ЕД-20 (100 мас.ч.) + твердник поліетиленполіамін (10 мас.ч.);
- епоксидний олігомер ЕД-20 (100 мас.ч.) + твердник триетилентетрамін (10 мас.ч.);
- епоксидний олігомер ЕД-20 (100 мас.ч.) + твердник ancamine 2609 (10 мас.ч.).

З використанням дифрактометра XRD-7000 (Shimadzu, Японія), рентгенооптична схема якого виконана за методом Дебая–Шеррера, отримано рентгенівські дифрактограми вихідних матеріалів.

На основі комплексного аналізу встановлено, що в результаті формування епоксидних матриць середня Брегтівська відстань між шарами молекулярних ланок епоксидних матриць змінюється, зокрема:

- $d \approx 4,89 \text{ Å}$ – для твердника ПЕПА;
- $d \approx 4,97 \text{ Å}$ – для твердника ТЕТА;
- $d \approx 5,03 \text{ Å}$ – для твердника ancamine 2609.

При використанні різних твердників малоінтенсивний дифракційний максимум, який характеризує особливості їх структуру має різне кутове положення. Відповідно середня відстань між шарами ланок ПЕПА в об'ємі полімеру становить $16,34 \text{ Å}$, для ТЕТА та ancamine 2609 ця величина становить $17,24 \text{ Å}$ відповідно.

На основі отриманих результатів дослідження і аналізу літературних джерел [4-5], можна стверджувати що зменшення значення середньої Брегтівської відстані між макромолекулярними ланцюгами матриць при її термічному зшиванні вказує на збільшення щільності макромолекул та сегментів основного ланцюга полімеру. Тобто, вказує на ступінь зшивання епоксидних матриць. Тому, для створення новітніх покриттів призначених для захисту поверхонь вантажних танків наливних танкерів-хімовозів доцільно використовувати полімерну матрицю на основі епоксидного олігомеру ЕД-20

(100 мас.ч.) і твердника ПЕПА (10 мас. ч.). Такі матеріали мають сітчасту структуру з однорідним розташуванням фасіток (рис. 1). При цьому слід зазначити, що відсутність структурних дефектів у створених покриттях, забезпечує захист металевого субстрату від проникнення агресивного середовища і утворення підплівкової корозії. Це у свою чергу впливає на тривалу експлуатацію подібних покриттів.

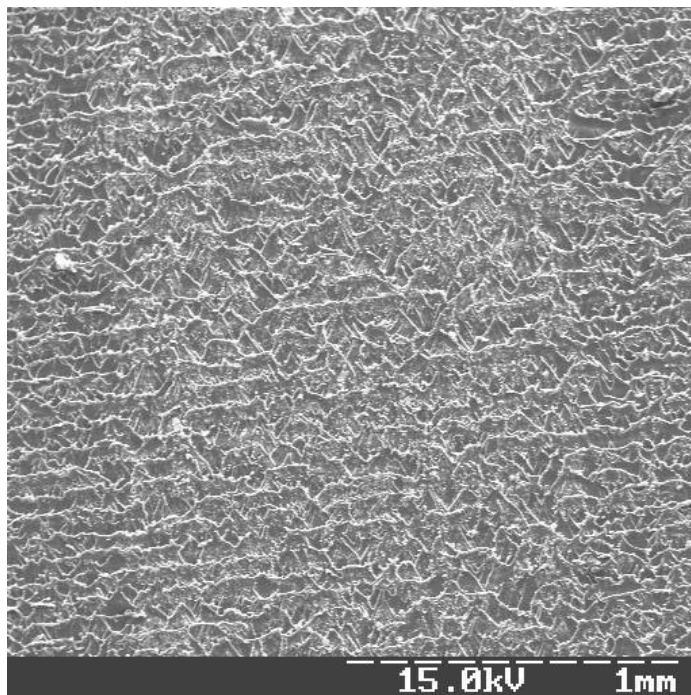


Рисунок 1 — Морфологія епоксидної матриці полімеризованої твердником холодного твердження поліетиленполіаміном

Висновки. Дослідження структури створених епоксидних матриць з використанням дифрактометра XRD-7000 дало змогу визначити необхідні інгредієнти та їх вміст для створення епоксидних покриттів, призначених для захисту поверхонь вантажних танків наливних танкерів-хімовозів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Букетов А.В., Сметанкін С.О., Чернявська Т.В., Браїло М.В., Сапронов О.О., Соценко В.В., Соценко К.Ю., Кулінич В.Г., Якущенко С.В., Яцюк В.М 2021, Метод підвищення ресурсу роботи устаткування річкового та морського транспорту за рахунок використання модифікованих захисних антикорозійних покриттів: монографія, Херсон : ХДМА, 2021. 126 с.
2. Savchuk P., Kashytskyi V., Malets V., Matrunchyk D. Kushniruk A 2019, Influence of physical fields on functional properties of polymeric nanocomposites. International Conference on Actual Problems of Engineering Mechanics, APEM 2019; Odessa; Ukraine; 20–24 May 2019, 968, pp. 176–182.
3. Demchenko V.L., Shtompel' V.I. & Riabov S.V 2015, DC field effect on the structuring and thermomechanical and electric properties of nanocomposites formed from pectin-Cu²⁺-polyethyleneimine ternary polyelectrolyte-metal complexes. Polym. Sci. Ser. A, 57, pp. 635–643.
4. Kojio K., Matsuo K., Motokucho S., et al. 2011, Simultaneous small-angle X-ray scattering/wide-angle X-ray diffraction study of the microdomain structure of polyurethane elastomers during mechanical deformation. Polymer Journal, 43(8), pp. 692–699.
5. Demchenko V.L., Kobylinskyi S.M., Riabov S.V. et al. 2020, Novel approach to the formation of silver-containing nanocomposites by thermochemical reduction of Ag⁺ ions in interpolyelectrolyte-metal complexes. Appl Nanosci 10, pp. 5409–5419.

ВПРОВАДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ ГІБРИДНОГО ЕПОКСИ-ПОЛІУРЕТАНОВОГО ПОКРИТТЯ

Сапронова А.В.¹, Біщак Р.Т.², Соценко В.В.¹, Браїло М.В.¹, Торопенко В.В.¹

¹Херсонська державна морська академія
(Україна)

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
(Україна)

Вступ. Хімічна та фізична взаємодія епоксидних зв'язувачів із різномірними олігомерами сприяє поліпшенню їхніх технологічних характеристик, фізико-механічних властивостей, а також підвищенню хімічної та атмосферної стійкості. Подібний підхід відкриває нові можливості для створення полімерних матеріалів і покриттів на їх основі із заданими експлуатаційними характеристиками. Водночас існують певні обмеження, зокрема значна частина полімерних систем характеризується низькою змішуваністю через термодинамічну несумісність компонентів. Це негативно впливає на фізико-механічні властивості полімерних матеріалів. Тому, сучасні дослідження спрямовані на розроблення і дослідження нових полімерних композицій на основі різномірних поперечно-зшитих структур. Це дозволяє зменшити внутрішні дефекти та покращити експлуатаційні характеристики модифікованих полімерних матеріалів [1–3].

Результати досліджень. Для створення антикорозійних полімерних покриттів призначених для захисту металоконструкцій засобів водного транспорту, у якості зв'язувача обрано епоксидний олігомер ЕД-20 (ISO 18280:2010), який затверджували поліетиленполіаміном ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78). Для покращення властивостей епоксидних покриттів використовували поліуретановий лак УР 294 (ТУ 6-10-1462-84), який містить ізоціанатні групи. Вміст поліуретанового лаку УР 294 у об'ємі епоксидного олігомеру змінювали у межах $q = 5\text{--}30$ мас.ч.

З використанням дифрактометра xrd-7000 (shimadzu, японія), рентгенооптична схема якого виконана за методом дебая–шеррера, отримано рентгенівські дифрактограми гібридних епокси-поліуретанових покриттів. Встановлено, що в результаті формування гібридних покриттів середня Бреґівська відстань між шарами молекулярних ланок епоксидних матриць змінюється, зокрема:

- $d \approx 4,89 \text{ \AA}$ — для вихідної епоксидної матриці (без поліуретанового лаку);
- $d \approx 4,92 \text{ \AA}$ — для покриття, що містить $q = 5$ мас.ч. поліуретанового лаку УР 294;
- $d \approx 5,00 \text{ \AA}$ — для покриття, що містить $q = 10$ мас.ч. поліуретанового лаку УР 294;
- $d \approx 4,95 \text{ \AA}$ — для покриття, що містить $q = 15$ мас.ч. поліуретанового лаку УР 294;
- $d \approx 4,95 \text{ \AA}$ — для покриття, що містить $q = 20$ мас.ч. поліуретанового лаку УР 294;
- $d \approx 4,89 \text{ \AA}$ — для покриття, що містить $q = 25$ мас.ч. поліуретанового лаку УР 294;
- $d \approx 4,86 \text{ \AA}$ — для покриття, що містить $q = 30$ мас.ч. поліуретанового лаку УР 294;

Висновок. Встановлено, що при введенні поліуретанового лаку УР 294 у кількості $q = 10$ мас.ч. до складу епоксидного полімеру відбувається зростання середньої Бреґівської відстані між шарами молекулярних ланок гібридного покриття, що свідчить про ущільнення структури, а, отже і поліпшені механічні характеристики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pan L., Ban J., Lu S. et al. 2015, Improving thermal and mechanical properties of epoxy composites by using functionalized graphene. RSC Advances, 5 (74): pp.60596–60607.
2. Garbatov, Y., Guedes Soares C., Wang G. 2007, Nonlinear Time Dependent Corrosion Wastage of Deck Plates of Ballast and Cargo Tanks of Tankers. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 129(1): pp. 48–55.
3. Guedes Soares C., Garbatov Y., Zayed A., Wang G. 2008, Corrosion wastage model for ship crude oil tanks. Corrosion Science, 50 (11): pp. 3095–3106.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ І СТРУКТУРИ ГІБРИДНИХ ЕПОКСИ-ПОЛІУРЕТАНОВИХ ПОКРИТТІВ

Сапронова Л.О., Фостик П.П., Банга М.М., Романюк В.С., Торопенко В.В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Зростаючий попит на високоефективні матеріали з раціональним поєднанням експлуатаційних характеристик та економічної складової змусив виробників полімерних матеріалів змінити підхід при їх створенні. Замість підвищення вартості продукції за рахунок хімічної модифікації, вони застосовують метод комбінування двох або більше зв'язувачів, що дозволяє отримати матеріал із заданими характеристиками. При цьому характеристика кінцевого матеріалу визначається не лише властивостями окремих компонентів, а й специфічною взаємодією між полімерними фазами, що може посилювати або, навпаки, зменшувати певні ефекти [1].

Результати досліджень. Для створення епоксидно-поліуретанових покриттів використовували наступні компоненти:

- епоксидний олігомер ЕД-20 (ISO 18280:2010) — 100 мас.ч.;
- поліуретановий лак УР 294 (ТУ 6-10-1462-84) — 5-30 мас.ч.;
- поліетиленполіамін ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78) — 10 мас.ч.

Встановлено, що додавання поліуретанового лаку УР 294 до епоксидного зв'язувача ЕД-20 у кількості $q = 5-10$ мас.ч. сприяє поступовому збільшенню ударної в'язкості від $W = 7,0$ кДж/м² до $W = 11,1-12,0$ кДж/м². Отриманий результат пов'язаний із взаємодією ізоціонатних груп УР 294 з активними групами епоксидного олігомеру. Це забезпечує підвищення ударної в'язкості у 1,5-1,7 рази. Тоді, як введення поліуретанового лаку УР 294 у кількості $q = 15-30$ мас.ч. призводить до погіршення значення ударної в'язкості, яке зменшується з $W = 9,5$ кДж/м² до $W = 8,0$ кДж/м². При цьому для покриттів, що містять у своєму складі високий вміст поліуретанового лаку УР-294, спостерігали не повний процес полімеризації (при полімеризації за кімнатної температури $T = 293$ К впродовж $\tau = 12$ годин). Це зумовлено присутністю у структурі матеріалу гнучких макромолекул та розгалужених полімерних сегментів. Внаслідок цього площа контакту між епоксидним кільцем і твердником зменшується, що уповільнює процес затвердіння.

Встановлено, що руйнування гібридних епоксидно-поліуретанових матеріалів має різний характер. Для полімерних матеріалів, що характеризуються максимальними значеннями ударної в'язкості ($q = 5-15$ мас.ч. УР 294), спостерігали викривлену траєкторією поверхні руйнування, що вказує на збільшення часу та опору руйнуванню під впливом ударного навантаження. Вважали, що при дії зовнішньої сили основний епоксидний ланцюг зазнає деформації, тоді як взаємопроникаючий поліуретановий компонент сприяє частковій пластифікації. Поєднання жорсткого епоксидного каркасу та відносно гнучкого поліуретанового сегмента створює синергетичний ефект, який забезпечує баланс між жорсткістю та помірною пластифікуючою дією. Для гібридних епоксидно-поліуретанових матеріалів із підвищеним вмістом поліуретанового лаку УР-294 ($q = 20-30$ мас.ч. УР 294), характер руйнування набуває більш плавної форми. Це пов'язано із структурною неоднорідністю. У цьому випадку процес руйнування носить швидкоплинний в'язкопружний характер у зонах максимальних напружень.

Висновок. Встановлено, що максимальне значення ударної в'язкості — $W = 12,0$ кДж/м² характерне для гібридних покриттів, що містять у своєму складі епоксидний олігомер ЕД-20 — 100 мас.ч., твердник поліетиленполіамін — 10 мас.ч., поліуретановий лак УР 294 — 10 мас.ч.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pan L., Ban J., Lu S. et al. 2015, Improving thermal and mechanical properties of epoxy composites by using functionalized graphene. RSC Advances, 5 (74): pp.60596–60607.

ПРОБЛЕМА БЕЗПЕКИ ВШНТ

*Скосар В.Ю., Бурилова Н.В., Ляшенко В.І., Бурилов С.В.
Інститут транспортних систем і технологій НАН України
(Україна)*

Вступ. Високошвидкісний наземний транспорт (ВШНТ) у сучасних умовах виконує важливі функції. Він підтримує економіку високих швидкостей, стимулює науково-технічний прогрес, надає людині нові можливості. Мова йде як про транспортування вантажів, так і про транспортування людини, що здійснюється на високих швидкостях. Тому актуальним є оцінка однієї з головних проблем ВШНТ — безпеки. Мета роботи: зробити аналіз питань, пов'язаних з безпекою високошвидкісних залізничних потягів, з одного боку, і високошвидкісних магнітолевітаційних потягів (Maglev), з іншого боку.

Перші проєкти високошвидкісних залізничних потягів почалися розроблятися в Японії, а регулярний рух японських високошвидкісних потягів розпочався у 1964 р. Потім Франція (1981 р.), Італія та ФРН (1988 р.), Іспанія (1992 р.) та інші країни почали впроваджувати і розвивати маршрути високошвидкісних залізничних потягів. Сьогодні Китай є лідер у розвитку і будівництві високошвидкісних залізничних маршрутів. Рекорд швидкості серед високошвидкісних залізничних потягів встановлено у Франції — 574,7 км/год [1].

Перші реальні проєкти високошвидкісних Maglev-потягів і випробування прототипів почалися у другій половині ХХ ст. Такі країни, як ФРН, Японія, Велика Британія, колишній СРСР, США, Китай, Південна Корея активно використовували експериментальні треки для дослідження нової транспортної технології. Але сьогодні знову Китай є лідером у розвитку високошвидкісних Maglev-потягів, і магнітолевітаційних невисокошвидкісних транспортних засобів. Рекорд швидкості серед Maglev-потягів встановлено в Японії — 603 км/год [1].

На сьогодні відомо декілька крупних катастроф на високошвидкісних потягах, які гостро ставлять питання безпеки таких транспортних технологій.

Перша страшна катастрофа на високошвидкісній залізничній магістралі сталася 3 червня 1998 р. поблизу міста Ешеде, ФРН. На швидкості 200 км/год у поїзда лопнув бандаж колеса, поїзд зійшов з рейок, врізався в міст, що проходить над дорогою, і обрушив його на себе. Внаслідок цієї найбільшої в історії високошвидкісних потягів катастрофи загинула 101 людина, поранено - 88. Після інциденту було проведено багато розслідувань щодо перелому колеса. Аналіз прийшов до висновку, що аварія була спричинена поганою конструкцією колеса, яка призвела до розвитку втомного руйнування на ободі колеса. Слідчі також врахували інші сприяючі фактори, включаючи нездатність зупинити поїзд і процедури технічного обслуговування. Один пасажир помітив початок небезпеки і встиг проінформувати провідника, але той не наважився зупинити потяг. Катастрофа мала юридичні та технічні наслідки, включаючи судові процеси, штрафи та виплати компенсацій. Конструкцію коліс було змінено, а вікна поїздів стало легше розбивати в екстрених випадках [2–4].

Друга крупна катастрофа сталася у Китаї 23 липня 2011 р., коли два високошвидкісні потяги зіткнулися на естакаді у передмісті Веньчжоу. Обидва поїзди зійшли з рейок, 4 вагони впали з естакади. Загинуло 40 людей, 192 було поранено. Зіткнення стало третьою за кількістю жертв катастрофою у світовій історії високошвидкісних залізничних потягів. Проте, висока швидкість не була вирішальним чинником у катастрофі, оскільки жоден з поїздів не рухався швидше 99 км/год. Розслідування виявило порушення в роботі сигнальних систем, через які машиніста другого потяга не було вчасно повідомлено про наявність ще одного потяга на лінії. Також виявилася низка невдач у системі управління рухом з боку залізничних диспетчерів. Зокрема, того дня блискавка вдарила у вузол колійного сигналу і спалила його запобіжники, що викликало хибний сигнал до центру управління лінією, який повідомив про відсутність потяга на ділянці колії, на якій був

перший потяг. Сам же перший потяг було зупинено автоблокуванням. Водій першого потяга намагався вимкнути автоблокування, і після більш ніж 7 хвилин очікування він отримав наказ продовжувати рух. Водій наступного за ним (другого) потяга отримав наказ на продовження руху дільницею колії, де зупинився перший потяг, ще коли центр управління отримував хибні сигнали про незайнятість колії. Менше ніж за півхвилини після цього другий потяг зі швидкістю 99 км/год зіткнувся з першим потягом (наздогнав його) [5, 6].

Третя страшна катастрофа сталася в Іспанії, у Сантьяго-де-Компостела, 24 липня 2013 р. Вона — друга найбільша за кількістю жертв катастрофа серед високошвидкісних залізничних потягів. На високій швидкості всі 8 вагонів потяга зійшли з рейок і перекинулися, після чого в деяких із них почалася пожежа (див. рис. 1). Тоді 79 людей загинули та близько 140 отримали поранення. Серед поранених опинилися мешканці різних країн. Причиною катастрофи стало більш ніж дворазове перевищення швидкості рухомого складу при проходженні кривої ділянки колії: 180 км/год замість 80 км/год. Виявилось, що машиніст потяга любив високу швидкість і раніше. Крім того, було відключено більш сучасну систему безпеки, призначену для високошвидкісних трас, а працювала система безпеки для звичайних трас, не здатна зупинити потяг у разі помилки машиніста. Відразу після аварії іспанське залізничне управління встановило три розпізнавальні знаки «Автоматичне гальмування та оголошення сигналів» англійською мовою на під'їзді до Сантьяго-де-Компостела для забезпечення дотримання обмежень швидкості, щоб не допустити, щоб потяги досягли швидкості, яка могла б призвести до аналогічного сходу. За підсумками розслідування обвинувальний вирок отримали машиніст потяга та директор з безпеки залізничного управління [7, 8].



Рисунок 1 — Катастрофа в Іспанії, у Сантьяго-де-Компостела [8]

Четверта крупна катастрофа сталася 14 листопада 2015 р. поблизу комуна Екверсайм, Франція. Внаслідок події загинуло 11 людей і 42 особи отримали поранення. Того дня двоповерховий потяг тестував другу секцію високошвидкісної лінії Париж — Страсбург. У потязі з 8 вагонів перебувало 53 особи: технічний персонал, а також друзі та родичі, серед яких було четверо дітей. Сход потяга стався на кривій до віадука над каналом на підвищеній швидкості. Після сходу головний вагон вдарився об парапет віадука і спалахнув, решта вагонів впала в між-шлях, частина з них обрушилася в канал Марна - Рейн. Розслідування показало, що причиною аварії стала надмірна швидкість на крутому повороті. Перед входом у криву поїзд мав знизити швидкість до 176 км/год, проте рухався зі швидкістю 265 км/год на в'їзді в поворот. Також було зазначено низку критичних зауважень під час організації та виконання тесту лінії: недостатня підготовка персоналу,

відповідального за проведення випробувань. Вирок було винесено трьом компаніям, які брали участь у тестуванні, та двом співробітникам [9, 10].

Порівняно з високошвидкісними залізничними потягами Maglev-потяги не настільки поширені, щоб встигнути напрацювати надійну статистику. Проте відома одна велика катастрофа на високошвидкісному Maglev-потязі. Вона сталася у ФРН 22 вересня 2006 р. на «Transrapid» внаслідок зіткнення Maglev-потяга з ремонтним вагоном. Загиблі 23 пасажирів, 11 отримали поранення. Швидкість «Transrapid» була 162 км/год. На цій випробувальній трасі в 31,8 км «Transrapid» все ще здійснював пробні поїздки, але іноді перевозив пасажирів для демонстрації технології магнітної левітації. На випробувальній трасі очікувалася швидкість до 450 км/год. Тому, якщо зіткнення відбулося б на такий швидкості, то наслідки були б значно гірше. Вважається, що причиною катастрофи була людська помилка. Щоранку колісний дизельний ремонтний вагон їздив шляхами, перевіряючи їх на наявність сміття. Коли роботу було закінчено, вагон чекав перед останньою стрілкою. У ремонтному вагоні було двоє робітників. Вони зв'язалися з диспетчером лінії, щоб отримати дозвіл залишити шляхи, але не отримали відповіді. Вони не знали про тестовий пробіг, запланований того ранку на півгодини раніше звичайного. «Transrapid» стартував і спочатку пройшов випробування гальм, потім мав чекати на дозвіл від диспетчера лінії. Один диспетчер лінії по радіо надав потягу на магнітній подушці дозвіл продовжити рух. Жодного зв'язку з ремонтною машиною не зафіксовано. Потяг швидко розігнався до швидкості 170 км/год, що було звичайною швидкістю для першого випробувального заїзду (до 450 км/год на наступних випробувальних заїздах). Екстрене гальмування не допомогло, і «Transrapid» врізався у ремонтний вагон на швидкості 162 км/год. Екіпаж із двох осіб ремонтного вагона вижив, оскільки вони знаходилися на протилежному кінці вагона. Суд дійшов висновку, що трагедія була викликана ланцюжком людських помилок, включаючи нездатність встановити електронну гальмівну систему, яка б завадила Maglev-потягу їхати під час проведення робіт з технічного обслуговування. Двоє співробітників було визнано винними та оштрафовано. Судовий процес над двома диспетчерами лінії закінчився засудженням та тюремним ув'язненням на один рік і шість місяців в одному випадку, та на один рік в іншому. Обидва вирокі були умовними, оскільки обвинувачені розкаялися [11, 12].

Висновки. Ми бачимо, що для нових високошвидкісних транспортних систем головними причинами катастроф з великою кількістю жертв були такі (1998-2015 рр.): людські помилки; відсутність надійної автоматичної системи моніторингу руху та безпеки; недостатній інструктаж випробувального персоналу. Найперша катастрофа (1998 р.) виявила також недоробки у конструкції потяга. Отримані висновки необхідно враховувати при розробці і вдосконаленні ВШНТ, зокрема високошвидкісних потягів і Maglev-потягів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Геєць В. М., Волошин О. І., Дзензерський В. О., Никифрук О. І. Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту п'ятого покоління: монографія. НАН України, ДУ «Ін-т екон. та прогнозув. НАН України»; Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України; Інститут транспортних систем і технологій НАН України. – Київ, 2020. – 254 с.
2. Fischer, G.; Grubisic, V. (2007). Praxisrelevante Bewertung des Radbruchs vom ICE 884 in Eschede. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*. 38 (10): 789–801. <https://doi.org/10.1002/mawe.200700151>.
3. Eschede train disaster. From Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Eschede_train_disaster.
4. 23 роки тому сталася найстрашніша залізнична катастрофа в післявоєнній Німеччині (04.06.2021). Режим доступу: <https://www.railway.supply/uk/23-roki-tomu-stalasya-najstrashnisha-zaliznichna-katastrofa-v-pislyavoennij-nimechhini>.
5. Sharon La Franiere. Design Flaws Cited in Deadly Train Crash in China (Dec. 28, 2011).

URL: https://www.nytimes.com/2011/12/29/world/asia/design-flaws-cited-in-china-train-crash.html?_r=1&scp=1&sq=study%20cites%20blunders%20in%20china%20train%20crash%20&st=cse.

6. Death toll from China's train crash rises to 39, including two Americans (2011-07-25). URL: https://web.archive.org/web/20111204194309/http://news.xinhuanet.com/english2010/china/2011-07/25/c_131008630.htm.

7. Dozens die as Spanish train derails in Galicia (25 July 2013). URL: <https://www.bbc.co.uk/news/world-europe-23442018>.

8. Santiago de Compostela derailment. From Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Santiago_de_Compostela_derailment.

9. France TGV crash: Children on board derailed train (15 November 2015). URL: <https://www.bbc.com/news/world-europe-34827049>.

10. Eckwersheim derailment. From Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Eckwersheim_derailment.

11. Lathen train collision. From Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Lathen_train_collision.

12. Deadly crash on German monorail. BBC News (22 September 2006). URL: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/5370564.stm>.

МОДЕЛЮВАННЯ ЯВИЩА РАДІАЦІЙНОГО РОСТУ ЦИРКОНІЮ, ВІДПОВІДАЛЬНОГО ЗА СТАБІЛЬНІСТЬ ФОРМИ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ РЕАКТОРІВ НА ТЕПЛОВИХ НЕЙТРОНАХ

Троценко О.Г., Бабіч А.В., Остапчук П.М.

Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України
(Україна)

Вступ. Найближчі перспективи інноваційного розвитку морського транспорту цілком ймовірно будуть пов'язані з інтенсивним освоєнням Арктики та Антарктиди а також прагненням до зниження вуглецевих викидів. В цьому відношенні очевидними виглядають перспективи ширшого застосування ядерних енергетичних установок, як рушіїв суден, як джерел забезпечення енергією дослідних станцій, експедицій а в подальшому і виробництв а також як засобу одержання водню. З огляду на це постає задача перегляду базових радіаційно-індукованих явищ, відповідальних за безпеку експлуатації ядерних установок. Одним з таких явищ є радіаційний ріст (РР) оболонок тепловидільних елементів (ТВЕЛів) ядерного палива [1–5]. Він відбувається під дією нейтронів, що утворюються при поділі урану, і полягає у зміні форми тепловидільної трубки при збереженні її об'єму. Незважаючи на незначні швидкості процесу (для ТВЗ з максимальною глибиною вигорання 46 МВт доб/кгU (після 4-х років експлуатації) усереднене подовження становить 0.05% мкм/рік) [6], слід брати до уваги, що тепер є тягіння до збільшення тривалості паливної кампанії, а отже чинник зміни форми оболонки ТВЕЛУ набуватиме більшої ваги.

Актуальність досліджень. Радіаційний ріст цирконію та його сплавів зазвичай призводять до погіршення фізико-хімічних та механічних властивостей матеріалу. Поглиблення розуміння механізмів РР дозволить запобігати цьому явищу шляхом обґрунтованого легування цирконію іншими елементами, які здатні гальмувати процес росту. Значення цілісності цирконієвих оболонок ТВЕЛів з точки зору безпеки експлуатації полягає також в тому, що вона є першим бар'єром між ядерним паливом та довкіллям. Тому дослідження в цьому напрямку видаються актуальними. А розуміння фізики таких спостережень, як співіснування міжвузельних і вакансійних петель у призматичній площині цирконію [3–5] чи існування тільки вакансійних петель у базисній площині [3–5], дають можливість удосконалити розуміння загальних механізмів деформації цирконію і його сплавів під опроміненням.

Постановка задачі. Метод кластерної динаміки використовується для опису зміни у часі розподілу об'єктів, що розглядаються, по розміру. У нашому випадку це дислокаційні петлі вакансійної та міжвузельної природи. Вони можуть збільшуватись або зменшуватись відповідно до того, як вони поглинають мобільні точкові дефекти (ТД) — вакансії (v) та власні міжвузельні атоми (ВМА — i) [7,8]. У простому варіанті припускається, що тільки вони можуть рухатися з коефіцієнтами дифузії $D_{v,i}$. Метод базується на загальному рівнянні:

$$\frac{dC_j}{dt} = G_j + \sum_k w(k, j) C_k - \sum_k w(j, k) C_j - L_j \quad (1)$$

де C_j — концентрація кластерів типу j , G_j — швидкість їх утворення, $w(k, j)$ — швидкість переходу кластерів C_k типу k у кластери типу j за рахунок поглинання ТД, L_j — швидкість втрат кластерів типу j на інших стоках. Саме ці швидкості, окрім коефіцієнтів дифузії $D_{v,i}$, містять величини $Z_{v,i}$ — ефективності поглинання ТД даним стоком. Вони, в свою чергу, ведуть до концепції переважного поглинання стоком ТД даного виду $B = (Z_i - Z_v) / Z_i$. Якщо $B > 0$, сток поглинає більше ВМА, якщо $B < 0$ більше вакансій. Тобто це концепція розділення потоків ТД між стоками різної природи, що веде до їх дифузійної еволюції під опроміненням і, як правило, до погіршення фізико-хімічних

та механічних властивостей матеріалу. Для розрахунку $Z_{v,i}$ використовується здебільшого два підходи: ізотропна пружна взаємодія ТД зі стоком та анізотропна дифузія ТД у різних площинах кристалу. Стосовно радіаційного росту цирконію перший підхід ідеологічно не в змозі пояснити два факти: співіснування вакансійних (ВП) і міжвузельних (МП) петель у призматичних площинах та зародження і ріст тільки вакансійних петель у базисних площинах. Проблема в тому, що в ізотропному варіанті $B > 0$ і не залежить від природи петлі, тому рости можуть тільки МП. Другий також завбачає ріст тільки міжвузельних с-петель, але в цій роботі розглядався конкретний експеримент по росту *монокристалу* цирконію і даних по ВП не було. Вакансійні a -петлі вводилися в розрахунки «вручну» як стоки для вакансій постійної концентрації. Тому реальний механізм співіснування і росту a -петель залишається відкритим.

Метою роботи є моделювання явища радіаційного росту цирконію у підході кластерної динаміки у класичній пружній ідеології, але з урахуванням анізотропії взаємодії ТД з реальними петлями Zr. Першим етапом є обґрунтування принципової можливості існування вакансійних петель у базисній площині Zr, а також співіснування вакансійних і міжвузельних петель у призматичних площинах. Для виконання поставленої мети було здійснено низку теоретичних досліджень та розрахунків:

На підставі функції Гріна рівнянь теорії пружності розраховано енергію взаємодії ТД у наближенні центрів дилатації з конкретними c -, a -дислокаційними петлями цирконію. Результати порівняно з наявними літературними даними.

Чисельно методом кінцевих різниць у тороїдальній геометрії було розраховано їх ефективності поглинання і фактор переваги від радіусу петлі і проаналізовано можливість пояснення експериментальних даних.

Було пораховано у підході кластерної динаміки розподіл концентрації петель на початкових стадіях опромінення до 10^{-5} дпа.

Обговорення результатів. Першим об'єктом дослідження є вакансійна петля радіусу R , яка лежить у базисній площині і її вектор Бюргерса перпендикулярний площині петлі [9]. Розрахунок $Z_{v,i}$ пов'язаний з розв'язанням відповідної дифузійної задачі. Важливим є зовнішній розмір задачі — радіус впливу петлі R_{ext} , що визначається щільністю усіх стоків кристалу. На рис.1 показана залежність фактору переваги базисних a -петель різної природи від їх радіуса та двох значень R_{ext} .

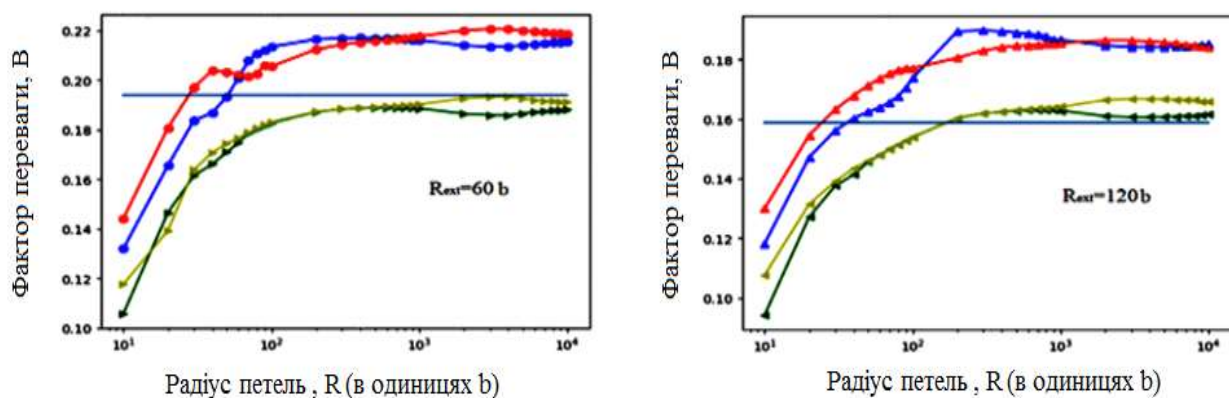


Рисунок 1 — Залежність фактору переваги петель різної природи від їх радіуса та двох значень R_{ext} . Зелена лінія — ВП, жовта — МП; ТД моделюється ізотропним центром дилатації; суцільна горизонтальна лінія відповідає прямолінійній дислокації; синя лінія — ВП, червона — МП ; ТД моделюється анізотропним центром дилатації [9]

Зроблені наступні висновки:

- 1) петлі в базисній площині цирконію є такими, що поглинають міжвузля

ефективніше, ніж вакансії, оскільки для них фактор переваги більше нуля;

2) роль анізотропії якісно незначна. Маємо просто зміщення пар кривих (червона-синя, зелена-жовта), яке пов'язане з чисельним значенням потужності центра дилатації;

3) фактор переваги щодо поглинання ТД не залежить від природи петлі [10,11];

4) ВП можуть зароджуватися на базисній площині і рости поки фактор переваги прямолінійної дислокації більше їх фактору переваги. При цьому ВМА переважно поглинаються дислокаціями, а вакансії можуть йти на зародження і ріст ВП. Суцільна лінія відповідає фактору переваги прямолінійної дислокації у ізотропному наближенні центра дилатації. Якщо перейти до анізотропного наближення, то вона теж підніметься вище і якісно картина не змінюється.

Наступний об'єкт дослідження вакансійні і міжвузельні петлі радіусу R , які лежать у призматичних площинах Zr . Для площини $(11\bar{2}0)$ вектор Бюргерса співпадає із нормаллю, для площини $(10\bar{1}0)$ він нахилений. І тут аналітика працює тільки в рамках підходу ТФГ (Тензорної функції Гріна). В обох випадках декартову систему координат повертаємо так, щоб вісь x була по напрямку нормалі до площини. Тоді петля лежить у площині yz , а її координати $(x' = 0; y'; z')$.

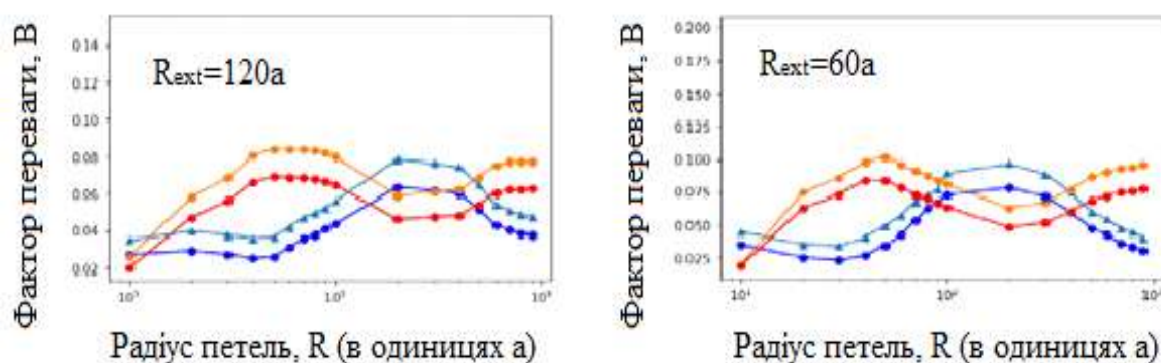


Рисунок 2 — Залежність фактору переваги петель різної природи від їх радіуса та двох значень R_{ext} . Тут зелена $(11\bar{2}0)$ і синя $(10\bar{1}0)$ лінії — ВП, жовта $(11\bar{2}0)$ і червона $(10\bar{1}0)$ — МП

На рисунку 2 показано залежність фактору переваги як міжвузельних, так і вакансійних петель у різних призматичних площинах практично співпадає. Тому, з точки зору зародження і росту петель вони практично еквівалентні.

Маємо доволі значну область розмірів, де петлі різної природи можуть співіснувати. Тут фактор переваги МП більше ніж у вакансійних. Тому ВМА переважно поглинаються МП, а вакансії відповідно — вакансійними. Однак, подальший ріст ВП є проблематичним, оскільки вони починають поглинати більше ВМА, чим МП. Незрозуміло, що спричиняє цю немонотонну поведінку фактору переваги. Але це принципово не заперечує ріст МП, хоча і уповільнений. Можливо, що у цей момент починається стадія «прискореного росту». Тобто призматичні вакансійні петлі перестають рости, але вакансії тоді ідуть на зародження ВП в базисній площині та на нові ВП у призматичній. Таким чином, показано, що класична пружна ідеологія фактору переваги принципово може пояснити факт співіснування призматичних петель різної природи.

Знаючи ефективності поглинання і підставляючи її у рівняння (1) було пораховано залежність густин дефектів від дози опромінення користуючись даними значень матеріальних констант із робіт [12, 13]. На рис. 3 зокрема показано ріст густини міжвузеля і міжвузельних петель від дози опромінення.

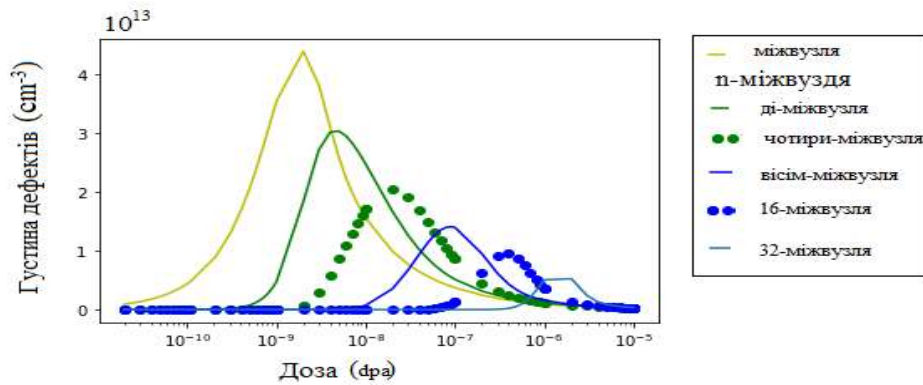


Рисунок 3 — Залежність густини міжвузельних атомів і міжвузельних петель від дози

Висновки.

- 1) Показано, що концепція класичної пружної ідеології фактору переваги принципово може пояснити факт співіснування призматичних петель різної природи.
- 2) Теорія пружності принципово пояснює наявність тільки вакансійних петель у базисній площині цирконію. Також показана еквівалентність площин, $(11\bar{2}0)$, $(10\bar{1}0)$ з точки зору фактору переваги петель різної природи.
- 3) Реальну динаміку щодо структури петель в цирконії під опроміненням можуть дати числові розрахунки в рамках кластерної динаміки для більш високих доз опромінення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Buckley S.N. Irradiation Growth, Atomic Energy Research Establishment, Harwell, England, AERE R 3674, 1962.
2. Buckley S.N., Irradiation Growth in Uranium, Atomic Energy Research Establishment, Harwell, England, AERE R 5262, 1966.
3. Griffiths M. J. Nucl. Mater. 1988. V. 159. P. 190.
4. Woo C.H. Defect accumulation behaviour in hcp metals and alloys. J. Nucl. Mater. 2000. V. 276. P. 90.
5. Trotsenko O.G., Babich A.V., Ostapchuk P.M. Bias for prismatic dislocation loops in zirconium. Numerical analysis. Problems of Atomic Science and Technology. Series «Physics of Radiation Effect and Radiation Materials Science». 2023. N. 2 (144). P. 3–7. doi.org/10.46813/2023-144-003 .
6. Краснорудський В.С., Зуйок В.А., Грицина В.М., Куштим Р.О., Трет'яков М.В., Грудницький В.В., Куштин А.В., Чернов І.О., Кірсанова О.С., Редкіна Г.П. Інформаційна підтримка науково-технологічної діяльності з впровадження ядерного палива компанії WESTINGHOUSE для реакторів ВВЕР-1000: Заключний звіт за проектами УНТЦ 7106, 7106а, 7106b. Харків: ННЦ ХФТІ. 2025. с 25–26.
7. Hayns M.R. J. Nucl. Mater. 1975. V.56. P. 267.
8. Mansur L.K. J. Nucl. Mater. 1994. V.216. P. 97.
9. Trotsenko O.G., Babich A.V., Ostapchuk P.M. On the possibility of coexistence of dislocation loops of different nature in zirconia within the framework of classical elastic theory. Problems of Atomic Science and Technology. Series «Physics of Radiation Effect and Radiation Materials Science». 2023. N. 5 (147). P. 9–14. doi.org/10.46813/2023-147-009 .
10. Dubinko V.I., Abyzov A.S., Turkin A.A. Numerical Evaluation of the Dislocation Loop Bias. J. Nucl. Mater. 2005. V. 336. P. 11–21.
11. Woo C.H., Gosele U. Dislocation bias in an anisotropic diffusive medium and irradiation growth J. Nucl. Mater. 1983. V. 119. P. 219.
12. Christien F., Barbu A., Journal of Nuclear Materials. 2005. V.346. P. 272–281.
13. Christien F., Barbu A. Journal of Nuclear Materials. 2009. V.39. P.153–161.

ВУГЛЕЦЕВІ НАНОТРУБКИ ЯК ЗАСІБ ЗБЕРІГАННЯ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ КОНВЕРСІЇ ВОДНЮ ДЛЯ ПОТРЕБ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Удовицький В.Г., Литвиненко В.В.

*Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України
(Україна)*

Вступ. Одним з напрямів впровадження енергетичних технологій з нульовим викидом різних сполук вуглецю є комплексне використання накопичувачів водню, фотоелектричних та вітрових джерел енергії. Останні дозволяють одержувати водень в сприятливих погодних умовах та в час доби з високою інсоляцією. В подальшому синтезований водень може використовуватись в паливних комірках або безпосередньо як паливо [1]. Для морського транспорту перспективним напрямком видається розробка біфункціональних паливних комірок, здатних виконувати як функцію електролізера в умовах надлишку потоку природної енергії, так і функцію паливних комірок, коли настає дефіцит природної енергії [2]. Водночас відомою проблемою широкого застосування подібних паливних комірок є потреба використання в них каталізаторів з металів платинової групи. Зменшення використання таких металів згідно даних робіт [3,4,5] можливо при додатковому використанні вуглецевих дисперсних матеріалів. Основною вимогою до таких матеріалів є максимально велика площа вільної поверхні. Ця вимога стосується як випадку використання в паливних комірках, так і в разі використання вуглецевих матеріалів в якості накопичувачів водню, адже при любых сценаріях енергетичної конверсії водню (пряме спалювання чи генерація електроенергії) залишається задача його зберігання.

Актуальність досліджень. Короткий бібліометричний аналіз, який є загальноновизнаним дієвим інструментом визначення актуальності любого наукового напрямку, проведений нами в пошуковій системі наукового Гуглу (Google Scholar, Google Академія) за ключовими словами в наукових публікаціях по темі дослідження, станом на 11.04.2025 показав наступне. По ключовим словам «hydrogen storage» зареєстровано 4.930.000 посилань, по ключовим словам «hydrogen storage carbon nanotubes» — 1.250.000 посилань. Ці результати свідчать про велику актуальність наукової тематики, присвяченої зберіганню водню, а також, що майже з 5 млн наукових публікацій по цій тематиці приблизно кожна четверта публікація стосується проблеми використання ВНТ для цих цілей.

Основна частина. Наразі на додаток до згаданих джерел генерації водню, що встановлюються на суднах, розглядається можливість утилізації надлишкової енергії, що виробляється на АЕС, сонячних та вітрових електростанціях. При роботі ядерних реакторів важливим є підтримання стабільної потужності (реактивності) реактора, який виведено на проектну потужність. Зміна реактивності завжди пов'язана з більшими механічними і термічними навантаженнями на оболонки паливних збірок (особливо при високому рівні вигорання ядерного палива) та інших елементів конструкції, що може призвести до виникнення мікро- і макротріщин та інших дефектів конструктивних елементів з усіма витікаючими з цього наслідками. Але потреба в рівні споживання електроенергії, що генерується реактором, може змінюватися в часі. В випадку зменшення споживання електроенергії надлишкову електричну і теплову енергію, яку виробляє працюючий реактор, застосовують, наприклад, для когенерації цінного високоенергетичного палива водню, який може використовуватись також і в якості палива на суднах, чи для опріснення морської води, тощо [6]. Рівною мірою це справедливо для сонячних і вітрових електростанцій, оскільки їх робота залежна від погодних умов, які не завжди корелюють з потребами споживачів електроенергії. Але після отримання водню методом його когенерації необхідна розробка та практична реалізація безпечних та ефективних способів його зберігання, використання чи подальшого транспортування. Проблема надійного і

безпечного зберігання водню є найбільш складною і визначальною серед зазначених вище проблем.

Наразі для зберігання водню на практиці в основному використовується його стиснення і зберігання під високим тиском в спеціальних ємностях, а також його зрідження і зберігання при криогенних температурах. Ці методи пов'язані з великими технічними труднощами в практичній реалізації, особливо на судах. В [7] розглядається використання в Італії водню як палива в каботажних судах типу «Ro-Ro» і «Ro-Pax», в яких водень заправляється в спеціальні баки, змонтовані на судах. Для заправки суден воднем використовується портова інфраструктура, яку потрібно буде додатково розвивати в різних портах в разі широкого використання на судах водню як палива. Перспективними є методи зберігання водню, що використовують його зворотне поглинання (абсорбцію) різними матеріалами. В такому разі водень, який виробляється при когенерації, можна було б одразу «завантажувати» в спеціальні акумулятори водню з такими матеріалами. Найбільш цікавими в цьому сенсі є матеріали, на яких відбувається не хімічна, а фізична адсорбція водню, оскільки при фізичній адсорбції процес поглинання і подальшого вивільнення водню є більш швидким і менш енергозатратним. До таких матеріалів відносяться, зокрема, вуглецеві матеріали, цеоліти, метал-органічні каркасні структури, капілярні і мікросферичні структури із скла, органометалічні комплекси тощо [8].

Вуглецеві матеріали, зокрема вуглецеві нанотрубки (ВНТ), мають багато чудових властивостей, які роблять їх привабливим матеріалом для зберігання водню – розвинену поверхню і велику сорбційну здатність, малу питому масу, хімічну і термічну стабільність, можливість модифікації їх властивостей на етапі синтезу чи наступної обробки, тощо. Будова ВНТ і різноманітних твердотільних структур на їх основі (одностінні, багатостінні, впорядковані масиви ВНТ) дозволяє невеликим за розміром молекулам чи атомам водню досить легко адсорбуватись як всередині ВНТ, так і в просторі між стінками ВНТ та на їх зовнішній поверхні, чи в просторі між окремими ВНТ в їх впорядкованих масивах, які часто називають «лісом ВНТ» (carbon nanotube forest).

Аналіз показує, що однією з перших робіт, що стосується використання ВНТ для зберігання водню, можливо була відома фахівцям експериментальна робота [9], яка наразі має вже більше 5400 цитувань. В цій роботі досліджувались зразки ВНТ, отримані методом дугового розпилення графіту з каталітичним металом (Co). Дослідження проводились за допомогою високочутливого методу програмованої термодесорбції і мас-спектрометрії. Автори отримали досить оптимістичні результати і зробили висновок про можливість зберігання водню ВНТ в кількості 5–10 % по масі. Результати цієї роботи і висока актуальність проблеми зберігання водню стимулювали проведення багатьох інших досліджень, які були присвячені вирішенню різних питань цієї проблеми. При великій кількості публікацій полюбій науковій тематиці важливим є виявлення основних напрямків і тенденцій цих публікацій. Проведений нами аналіз показує, що основними напрямками і завданнями багаточисельних проведених досліджень стосовно зберігання водню ВНТ та різними матеріалами на їх основі, були такі: визначення гравіметричної ємності водню в матеріалі та методів її підвищення, вивчення механізму сорбції та десорбції водню на матеріалі, досягнення оптимальних умов (температура, тиск) протікання циклів сорбція-десорбція і можливість протікання цих процесів при звичайних умовах, досягнення максимальної кількості таких робочих циклів, вплив геометричних та структурних характеристик ВНТ та їх попередньої обробки (одностінні, багатостінні нанотрубки, впорядковані масиви з нанотрубок, декорування нанотрубок атомами чи наночастинками перехідних металів і т.п.) на гравіметричну ємність матеріалу по водню та протікання циклів адсорбція-десорбція, тощо.

Цікавим і перспективним з точки зору практичного використання є синтез впорядкованих масивів ВНТ — «лісу вуглецевих нанотрубок». На рис. 1 показано електронно-мікроскопічний знімок такого масиву ВНТ, експериментально синтезованих нами на підкладці методом вакуумно-дугового розряду в інертному середовищі [10]. Цей

метод є досить зручним для синтезу великих масивів ВНТ, які можуть бути використані як для поглинання і зберігання водню, так і для інших цілей.

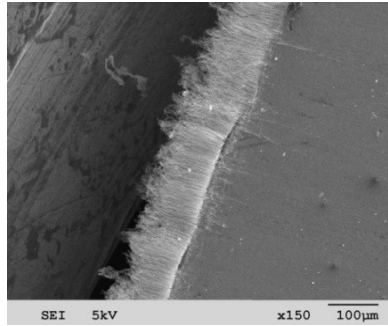


Рисунок 1 — Впорядкований масив (ліс) ВНТ, синтезований дуговим методом

Висновки. На даний час заміна викопного палива на альтернативне паливо з незначним вуглецевим слідом для всього транспорту, включаючи і морський, є надзвичайно важливим завданням. Від його вирішення значною мірою залежить успішне вирішення проблеми глобального потепління і зміни клімату на Землі. Перспективним і багатообіцяючим в цьому сенсі є використання ядерної енергії, а також водню, який може когенеруватись на ядерних реакторах в окремі періоди зменшення потреби в електроенергії, що генерується ядерним реактором. Водневе паливо є дуже цінним енергонасиченим паливом, яке при його використанні взагалі не дає вуглецевих викидів. Але для успішного широкого використання цього палива необхідно вирішити ряд складних науково-технологічних завдань. Одним з найбільш складних і важливих завдань є проблема зберігання водню. Зберігання водню з використанням різних матеріалів, якими він може зворотно поглинатись, зокрема ВНТ і матеріалами на їх основі, є перспективним багатообіцяючим напрямом досліджень, який здатний привести до успішного вирішення вказаної проблеми. І такі дослідження наразі проводяться дуже активно.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hollmuller, P. et al. Evaluation of a 5 kWp photovoltaic hydrogen production and storage installation for a residential home in Switzerland. *International journal of hydrogen energy*, 2000, 25.2: 97–109.
2. Maclay, J. D. et al. Dynamic analyses of regenerative fuel cell power for potential use in renewable residential applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2006, 31.8: 994–1009.
3. Yano, H. et al. Particle-size effect of nanoscale platinum catalysts in oxygen reduction reaction: an electrochemical and 195 Pt EC-NMR study. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2006, 8.42: 4932–4939.
4. OH, H.-S. et al. Investigation of carbon-supported Pt nanocatalyst preparation by the polyol process for fuel cell applications. *Electrochimica Acta*, 2007, 52.25: 7278–7285.
5. GRIGORIEV, S. A. et al. Platinum and palladium nano-particles supported by graphitic nano-fibers as catalysts for PEM water electrolysis. *International Journal of hydrogen energy*, 2011, 36.6: 4143–4147.
6. Locatelli, G. et al. Load following of Small Modular Reactors (SMR) by cogeneration of hydrogen: A techno-economic analysis. *Energy*, 2018, 148: 494–505.
7. Melideo, D. et al. The use of hydrogen as alternative fuel for ship propulsion: A case study of full and partial retrofitting of roll-on/roll-off vessels for short distance routes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2024, 50: 1045–1055.
8. Moradi, R. et al. Hydrogen storage and delivery: Review of the state of the art technologies and risk and reliability analysis. *International journal of hydrogen energy*, 2019, 44.23: 12254–12269.

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ЕКСПЛУАТАЦІЇ БАЛКЕРНОГО ФЛОТУ: ВІД ТРАДИЦІЙ ДО ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Шевченко М. В., Панченко М. В., Стовба Т. А.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Балкерний флот відіграє ключову роль у світовій торгівлі, забезпечуючи морські перевезення таких основних насипних вантажів як вугілля, руда, зерно та ін. В умовах глобалізації, посилення екологічних вимог, зростаючої конкуренції, інновацій у суднобудуванні, енергозбереженні, автоматизації навігації, логістичних процесів тощо виникає необхідність трансформації підходів до експлуатації суден цього типу.

Актуальність досліджень. За даними Clarksons Research, «енергетичний перехід вже революціонізує глобальне судноплавство та впливає на бізнес — і він тут, щоб залишитись. У міру того, як екологічно чисті судна та альтернативні види пального стають стандартом, компанії по всьому ланцюгу поставок повинні адаптуватися» [1].

Традиційні методи експлуатації балкерів планування рейсів вручну, обслуговування за календарним графіком та обмежене використання цифрових технологій залишаються поширеними. Однак інноваційні технології – впровадження цифрових систем управління, використання альтернативних видів пального та автоматизація процесів – відкривають нові можливості для підвищення ефективності та зниження екологічного впливу. Як зазначає DNV, «дефіцит альтернативних видів пального та високі витрати на декарбонізацію ускладнюють впровадження нових технологій у сегменті балкерів» [2].

Постановка задачі. Мета дослідження — здійснити порівняльний аналіз традиційних та інноваційних підходів до експлуатації балкерного флоту, виявити їхні сильні та слабкі сторони задля превентивного формування компетентностей майбутніх морських офіцерів, що дозволить їм бути затребуваними на світовому ринку праці моряків в умовах цифровізації.

Об'єктом дослідження є балкерний флот, а також судноплавні компанії, які володіють суховантажами. Предметом дослідження є практичні аспекти експлуатації балкерного флоту. Для досягнення поставленої мети використано порівняльний аналіз, системний підхід, методи SWOT-аналізу тощо.

Результати досліджень. Балкери спеціально призначені для транспортування широкого спектра вантажів неупакованих сипучих вантажів: зерна (пшениці, кукурудзи, сої тощо), мінералів та руди (залізної руди, бокситів, фосфатів та ін.), енергетичних ресурсів (вугілля), будівельних матеріалів (цементу, гіпсу тощо) у трюмах [3]. Вони обслуговують глобальні маршрути, з'єднуючи основні виробничі регіони з центрами споживання.

Сучасні балкери спроектовані з урахуванням максимізації вантажомісткості, безпеки, ефективності та довговічності. Вони оснащені великими люками для полегшення вантажної обробки суден, а також мають спеціальні конструктивні особливості для забезпечення стійкості та безпеки під час перевезення сипучих вантажів [3].

Балкери мають менш передбачувані маршрути між портами, що відображає їхню гнучкість у реагуванні на зміни у потребах ринку [4, 5]. За даними UNCTAD, станом на 2023 рік загальна кількість суден у світовому торговому флоті становила 106 715 одиниць, з яких 13 182 (рис.1) або 12% складають балкери [6–9].

У 2019–2024 рр. світовий ринок навалювальних вантажів демонстрував стабільне зростання (рис. 2). Виключенням був 2020 р., який показав певну рецесію обсягів морського перевезення вантажів внаслідок пандемії коронавірусу. Основними драйверами цього зростання були залізна руда, вугілля, зерно, боксити та фосфати. Зокрема, у 2023 р. обсяги перевезення залізної руди досягли 1 631,9 млн. тонн, що на 5,1% більше порівняно з попереднім роком, а обсяги перевезення вугілля зросли на 5,8% до 1 339,5 млн. тонн [6]. Ці тенденції відображають зростаючий попит на сировинні ресурси в умовах відновлення світової економіки [7].

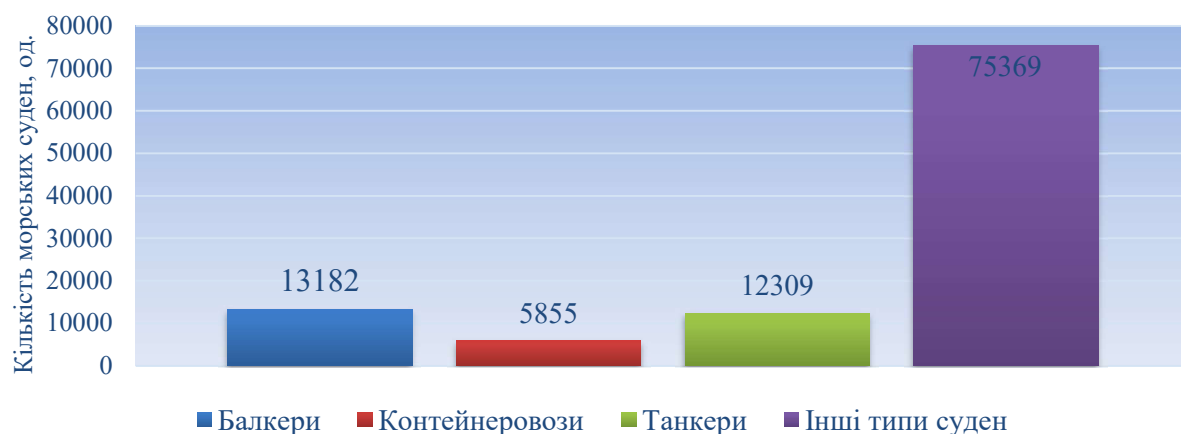


Рисунок 1 — Загальна кількість суден у світовому торговому флоті

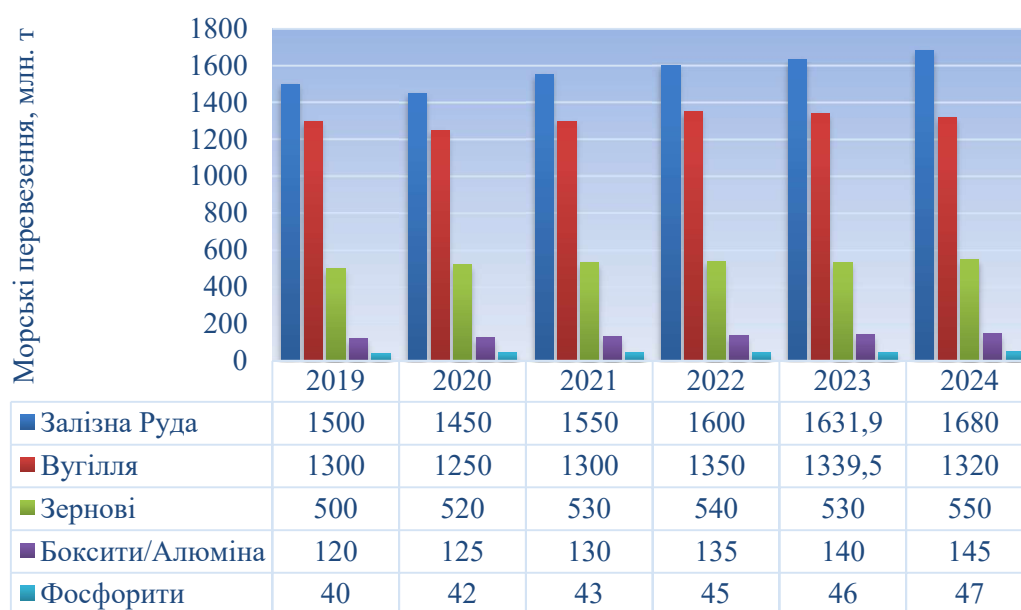


Рисунок 2 — Динаміка морських перевезень навалювальних вантажів

У традиційній практиці експлуатації балкерного флоту рішення щодо маршрутів, завантаження та розвантаження ухвалюють на основі історичних даних, сезонних коливань попиту та особистих зв'язків із клієнтами [10]. Традиційне технічне обслуговування балкерів передбачає проведення планових ремонтів та інспекцій відповідно до встановлених графіків або після виявлення проблем, що призводить до неочікуваних простоїв та збільшення витрат на ремонт, особливо у випадках, коли проблеми виявляються на пізніх стадіях. Відсутність системи прогнозування технічного стану судна ускладнює ефективне управління технічним обслуговуванням. Підбір персоналу базується на рекомендаціях, попередньому досвіді та доступності моряків, що призводить до варіативності в якості обслуговування та безпеки. Традиційні методи завантаження та розвантаження балкерів часто є трудомісткими та потребують тривалого часу порівняно із сучасними автоматизованими системами. Наприклад, середній час перебування балкера в порту може становити від 55 до 120 годин залежно від розміру судна та типу вантажу [3]. У минулому балкери стикалися з численними проблемами безпеки, включаючи раптові затоплення та структурні пошкодження. Міжнародні організації розробили стандарти та рекомендації задля підвищення безпеки, включаючи вимоги до конструкції суден, систем виявлення води та процедур евакуації [11].

У морській індустрії відбуваються глибокі трансформації, зумовлені впровадженням інноваційних технологій, цифровізацією процесів та потребами екологічної безпеки, які

визначають нові вектори розвитку балкерного флоту. Технологія цифрових двійників дозволяє створювати віртуальні моделі суден, які відображають їхній поточний стан у режимі реального часу. Це забезпечує можливість прогнозування технічних несправностей та оптимізації обслуговування. Згідно із дослідженням, цифрові двійники допомагають зменшити час простою суден та підвищити ефективність експлуатації. Сучасні платформи, такі як Sofar Ocean's Wayfinder, використовують дані про погоду, стан судна та інші параметри для оптимізації маршрутів у реальному часі, що дозволяє зменшити витрати пального та викиди CO₂ на 4–6% [12]. Інноваційні підходи до зменшення викидів включають використання біопалива, вітрових систем допоміжного руху та технологій уловлювання та зберігання вуглецю. Ці стратегії спрямовані на досягнення нульового рівня викидів у майбутньому. Використання штучного інтелекту та автоматизованих систем дозволяє підвищити безпеку та ефективність експлуатації суден. Це включає автоматичне управління судном, прогнозування маршруту та витрат пального залежно від погодних умов, моніторинг стану корпусу та механізмів у режимі реального часу задля превентивного технічного обслуговування, оптимізація завантаження та вивантаження вантажів та логістичних процесів [13].

У 2022 р. здійснено успішне випробування автономного судна для перевезення вугілля Shofu Maru з дедвейтом 100 000 тонн, що продемонструвало потенціал автономних технологій та перспективи розвитку судноплавства із підвищеним рівнем безпеки та ефективності. Цей проєкт став черговим кроком на шляху до автономного судноплавства. Зокрема, інноваційні рішення, які були застосовані: система автономного управління судном, яка моніторить місцезнаходження судна, погодні умови, течії, маневреність судна та навігаційні правила; система інтеграції навколишньої інформації поєднує дані з радарів, AIS та камер для виявлення інших суден або перешкод; автономне швартування та відшвартування забезпечує точне позиціонування відносно причалу у порту завдяки застосуванню сенсорів LiDAR, камер та супутникового компаса, а також використанню безпілотного дрона для доставки швартовного каната на берег [14].

Очікується, що впродовж десятиліття великі балкери будуть обладнані автономними системами навігації, енергоефективними електродвигунами та системами обробки даних у режимі реального часу. Наразі основними викликами для автономних великих балкерів є масштабування акумуляторних систем для тривалих рейсів, забезпечення стійкості до можливих кіберзагроз, розробка міжнародних стандартів щодо регулювання автономного судноплавства.

Для ефективного використання інноваційних технологій здобувачам необхідно оволодіти низкою навичок: роботи з цифровими платформами, системами автоматизації та віддаленого моніторингу; розуміння алгоритмів роботи штучного інтелекту; екологічною свідомістю та знаннями міжнародного морського права щодо охорони довкілля тощо. ХДМА має стати драйвером формування сучасних компетентностей здобувачів.

Висновки. Порівняння традиційних та інноваційних підходів до експлуатації балкерного флоту дозволило виявити ключові відмінності та переваги сучасних технологій на морському транспорті. Традиційні методи експлуатації поступово замінюються інноваційними технологіями, що забезпечують значне підвищення ефективності експлуатації балкерного флоту. Використання цифрових двійників дозволяє здійснювати моніторинг в реальному часі, прогнозувати технічні несправності та оптимізувати маршрути. Штучний інтелект сприяє аналізу великих обсягів даних, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо управління флотом та прогнозування попиту у галузі морських перевезень. Розвиток автономних суден відкриває нові можливості для зменшення негативного впливу людського фактору, підвищення точності навігації, скорочення людських помилок та зниження витрат на екіпаж. Використання альтернативних джерел енергії, таких як біопаливо та вітрові системи допоміжного руху тощо сприяє зменшенню викидів CO₂ та інших забруднювачів, що відповідає сучасним вимогам до екологічної безпеки. Майбутнє балкерного флоту пов'язане із інтеграцією новітніх технологій, що

дозволить зменшити негативний вплив на довкілля, підвищити ефективність перевезень та забезпечити безпеку морського транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. How shipping is getting greener : *Clarksons* : веб-сайт. URL: <https://www.clarksons.com/glossary/the-energy-transition-and-how-shipping-is-getting-greener> (дата звернення: 19.04.2025).
2. Fleet Decarbonization Strategy. DNV : веб-сайт. URL: <https://www.dnv.com/services/fleet-decarbonization-strategy/> (дата звернення: 19.04.2025).
3. Bulk carrier. *Вікіпедія*: вільна енциклопедія. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Bulk_carrier (дата звернення: 19.04.2025).
4. Kaluza P., Kölzsch A., Gastner M.T., Blasius B. The complex network of global cargo ship movements. *Cornell University* : веб-сайт. URL: <https://arxiv.org/abs/1001.2172> (дата звернення: 20.04.2025).
5. Everything You Need to Know About Bulk Carriers. *Martide* : веб-сайт. URL: <https://www.martide.com/en/blog/all-about-bulk-carriers> (дата звернення: 20.04.2025).
6. Ship. *Вікіпедія*: вільна енциклопедія. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ship> (дата звернення: 20.04.2025).
7. Bulk carriers — kings of oceans and ports. *BSSC* : веб-сайт. URL: <https://www.bssc.pl/2024/04/22/bulk-carriers-kings-of-oceans-and-ports/> (дата звернення: 20.04.2025).
8. Benchmarking Report 2023-2024. *Intercargo* : веб-сайт. URL: <https://www.intercargo.org/benchmarking-report-2023-2024> (дата звернення: 20.04.2025).
9. The world merchant fleet. *Atlas Magazine* : веб-сайт. URL: www.atlas-mag.net/en/category/tags/focus/the-world-merchant-fleet (дата звернення: 20.04.2025).
10. Traditional vs. Modern Approaches to Shipping Markets: Gut Instinct vs. Data-Driven. *caia.org* : веб-сайт. URL: <https://caia.org/blog/2020/08/30/traditional-vs-modern-approaches-to-shipping-markets-gut-instinct-vs-data-driven> (дата звернення: 21.04.2025).
11. Bulk Carrier Safety. *imo.org* : веб-сайт. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/BulkCarriers.aspx> (дата звернення: 21.04.2025).
12. Berge Bulk Deploys Sofar's Wayfinder Platform Across Fleet To Cut Fuel And Emissions. *gCaptain* : веб-сайт. URL: <https://gcaptain.com/berge-bulk-deploys-sofars-wayfinder-platform-across-fleet-to-cut-fuel-and-emissions/?utm> (дата звернення: 22.04.2025).
13. Markopoulos I. E., Markopoulos P., Nandi A., Faraclas J., Leontopoulos C., Meidanis S., Monioudis D. & Filahtos G. The Impact of Digital Twins Technology in Maritime Fleet and Safety Management. *Accessibility, Assistive Technology and Digital Environments*. 2024. Vol. 121. P. 109–119. <https://doi.org/10.54941/ahfe1004619>.
14. MOL Group Earn 2 Awards in 'Ship of the Year 2022' — World's 1st Coal Carrier Equipped with Wind Challenger, Shofu Maru, Named Ship of the Year 2022. *mol.co* : веб-сайт. URL: <https://www.mol.co.jp/en/pr/2023/23065.html> (дата звернення: 22.04.2025).

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

A

Artemchuk V.O. 197

B

Bondarenko V. 261

Bryukhovetsky V.V. 387

Busarova T.M. 194

Butenko V.I. 397

D

Diahyleva O. 350

Doroshenko O.S. 245

F

Falieiev F. R. 69

G

Gorbatyuk Ie. V. 282

H

Hryshechkina T.S. 194

K

Kalashnyk G.A. 213, 216, 219

Kalenyk P.I. 224

Kikot M.S. 230

Kryvoruchko I.P. 197

L

Litikova O.I. 167

Lomakina M. Ye. 124

M

Mamenko P.P. 22

Maleeva Y.A. 230

Malchevskiy V. 261

Manuilenko O.V. 397

Mahmoud M.S. Al-suod 232

Mazur T. 261

Movchan P.V. 42

Myla D.E. 387

N

Nedoseka S.A. 197

Nerubatskyi V. P. 69

Anton Nosov 75

Pavlo Nosov 75

O

Ohurtsov S. S. 69

P

Panchenko A.A. 15

Pavlii K.V. 397

Pogrebniak P.S. 387

Prokopchuk Yu. 29

Prokhorenko E.M. 397

Prokhorenko T.G. 397

Psaryuk S. 261

R

Rak O.L. 387

Rodionov A. 261

Oleg Rubel 401

S

Sharko O.V. 42, 245

Soshenko V.A. 397

Stepanchikov D.M. 42

Surkova K.V. 124

Svyryda V. 340

T

Tokarsky I.O. 219

Tokarieva O. V. 365

Treshniuk A.I. 368

U

Ushkarenko O.O. 232, 368

V

Varbanets R. 261

Vladimirsky A.A. 197

Vladimirsky I.A. 197

Voronko I.O. 15

Voroshylo D.S. 216

Vychuzhanin V.V. 224

Y

Yurzhenko A. 350

Z

Zajtsev B.V. 397

Zalozh V. 261

Zhmur V. 144

Zhyshchynskyi Y. S. 245

Zvaritch V.M. 197

А

Абрамов Г.С. 7
Акімов О.В. 257, 357
Алексейчук Б.М. 148
Алексенко В.Л. 135
Алтухов П.М. 319
Альошкін К.О. 207
Артемчук О.А. 127

Б

Бабіч А.В. 413
Багін Є.П. 127
Бажак О. В. 270
Балакішієв А.А. 207
Банга М.М. 405, 408
Бень 12, 65
Безбах О. М. 139, 272
Безкровний В.О. 189
Безуглова І. В. 272
Берест О.І. 84
Біщак Р.Т. 407
Блатницький М. 171
Блінцов В.С. 99, 103
Бойко М.І. 372
Боровець Р.І. 211
Борчик Є.Ю. 25
Браїло М.В. 407
Букетов А.В. 275
Бурилова Н.В. 409
Бурилов С.В. 409
Бучко М. 171

В

Вайсман В.О. 99
Васильченко Г.Ю. 347
Воїнов О. П. 276, 327
Воробйов П.О. 376
Воробйова В.В. 405
Вороненко С.В. 119, 200
Врублевський Р. Є. 279

Г

Гаценко Л.В. 107
Головань А.І. 109
Голощанов С.С. 286
Гончарук І.П. 109
Гриценко Н.В. 284
Грицук І.В. 315
Гузь А.М. 47

Д

Даниленко Д.О. 405
Даниленко О.Б. 405
Данько Є.С. 103
Демченко В.Л. 405
Демченко О.Д. 319
Дзигар А.К. 315
Діденко В. О. 279
Діжо Я. 171
Долинська Н.Б. 142

Донець С.Є. 377
Доценко Г.Г. 286, 330
Дягілева О.С. 79

Є

Єнчев С. В. 203

Ж

Жуков Д.С. 148

З

Запара В.М. 207
Запара Я.В. 211
Зінченко С. М. 18, 37, 65
Зінченко Д.О. 289
Зяблов Д.О. 87

І

Іванов А.А. 51
Ісайчев А.Г. 94

К

Кавун В.І. 311
Калініченко Є.В. 112, 142, 152
Калініченко Г.Є. 152
Камінський Б.В. 211
Касім А.М. 226
Касім М.М. 226
Кацалап А.О. 135
Квасов П.В. 322
Кім К.В. 322
Кісєтов Ю.В. 353
Кирилаха С. В. 294
Кириченко К.В. 189
Кобалава Г. О. 276, 297, 327
Козодой Д.С. 284
Колєсник О.В. 152, 178
Коновалова Г.В. 336, 341
Корбан Д.В. 159
Костенко Р.В. 99
Котов А.І. 311
Кохан І.Р. 54, 300, 304
Кочубей П.О. 58
Кузнєцов А.І. 163
Кузьміченко С.В. 211
Кузьмич І.С. 380
Куклін В. М. 7
Курносенко Д.В. 289
Купровський В.І. 155
Кущенко Ю.О. 186

Л

Лаврич Ю.М. 308
Лебеденко Ю.О. 200
Лесневський В.М. 112
Литвиненко В.В. 377, 417
Литовченко В.І. 90
Лисицький І.В. 163
Личко Б.М. 253, 353, 384
Ловська А. О. 171
Ляшенко В.І. 409

М

Макогон А.В. 372
Матейчук В.М. 65
Месякова О.А. 377
Молотков О.Н. 241
Мосъпан В. М. 390

Н

Нагрибельний Я.А. 7, 257, 357
Настасенко В.О. 361
Науменко С.В. 207
Нерубацький В.П. 70
Нікольський В.В. 114
Нікольський М.В. 114
Носов П.С. 58, 72, 79

О

Оберто Сантана Л.Е. 174
Онишко Д.М. 65
Остапчук П.М. 413

П

Панченко І.М. 333
Панченко М. В. 420
Пасічниченко Є.О. 116
Пелихівський Л.О. 119
Передерій В.І. 25
Петровський А.В. 84, 87, 90, 94
Піхуля М.Ю. 393
Погоріла Л.М. 308
Подчасов А.Ю. 308
Погорлецький Д.С. 311, 315
Поліщук Д.В. 319
Поливода В.В. 249
Пономарьова В.П. 79
Продащук С.М. 322
Продащук М.В. 322
Проценко В.О. 326

Р

Романюк В.С. 408
Россомаха О.І. 178
Россомаха О.А. 183

С

Савченко М.О. 235
Савчук В.П. 289
Самохвалов В. С. 276, 327
Сапронов О.О. 405
Сапронова А.В. 407
Сапронова Л.О. 408
Саф'ян О.С. 178
Середіна А.С. 300, 304
Скосар В.Ю. 409
Славич В.П. 235
Слободянюк М.В. 114
Соколов А.В. 35
Сокурено Я.О. 87
Сопіжук Є.М. 127
Сохацький А.В. 237
Соценко В.В. 275, 336, 407
Стовба Т.А. 380, 393, 420
Стрельченко В.Ю. 275

Т

Тарасов С.В. 241
Татарінцева Ю.Г. 347
Тачинін Є. В. 203
Тимофеев К.В. 127, 200
Товстокорий О. М. 18, 37
Томчаковський Г.Г. 183
Топалов О.І. 330
Торопенко В.В. 407, 408
Троценко О.Г. 413

У

Удовицький В. Г. 417

Ф

Фостик П.П. 135, 408

Х

Худяков І.В. 315

Ч

Чабан В.О. 186, 189
Чередник В.М. 107
Чимшир В.І. 131

Ш

Шаповалова Д.С. 70
Шаповалова О.О. 7
Шапшалов І.В. 333
Шевченко М. В. 420
Шик Д.О. 249
Шимановський А.Р. 377
Шостак В.П. 253, 327, 384
Шпілева Т.М. 51

Щ

Щедролосєв О. В. 336, 341

Ю

Юренін К. Ю. 275

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
FOREWORD	5
СЕКЦІЯ: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ SECTION: INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS IN THE TRANSPORT INDUSTRY	6
НАУКОВИЙ ПОШУК ТА ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ Абрамов Г. С.¹, Куклін В. М.², Нагрибельний Я. А.¹, Шаповалова О. О.² ¹Херсонська державна морська академія (Україна) ²Харківський національний економічний університет (Україна)	7
НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СУДНОПЛАВСТВІ Бень А. П. Херсонська державна морська академія (Україна)	12
DATA ANALYSIS ON RAILWAY TRANSPORT Voronko I.O., Panchenko A.A. Kyiv Institute of Railway Transport State University of Infrastructure and Technologies (Ukraine)	15
ПЕРЕНАЛАШТУВАННЯ НАДЛИШКОВОЇ СТРУКТУРИ ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ СУДНА БЕЗ ЗБУРЕНЬ Зінченко С. М., Товстокорий О. М. Херсонська державна морська академія (Україна)	18
USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND COMPUTER VISION TO IMPROVE NAVIGATION SAFETY. ORCA AI NAVIGATION SYSTEM Маменко Р.Р. Kherson State Maritime Academy (Ukraine)	22
ОЦІНКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ Передерій В.І., Борчик Є.Ю. Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, д.т.н., професор кафедри комп'ютерних технологій і інформаційної безпеки (Україна) Миколаївський національний аграрний університет, к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій (Україна)	25
DESIGNING ECOSYSTEMS OF INTELLIGENCE: LOGIC OF FAST DISTINCTION Prokopchuk Yu. Institute of Technical Mechanics of NASU (Ukraine)	29
СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ПЛАНУВАННЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ Соколов А.В. Херсонська державна морська академія (Україна)	35

ДОСЛІДЖЕННЯ МАНЕВРУ «ACCELERATION TURN» ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛІНЕАРИЗОВАНОЇ МОДЕЛІ СУДНА Товстокорий О. М., Зінченко С. М. Херсонська державна морська академія (Україна)	37
MULTICRITERIA OPTIMIZATION OF SITUATIONAL MANAGEMENT OF SEA TRANSPORTATION Sharko O.V.¹, Stepanchikov D.M.², Movchan P.V.¹ ¹ Kherson State Maritime Academy (Ukraine) ² Kherson National Technical University (Ukraine)	42
СЕКЦІЯ: ТРЕНАЖЕРНІ СИСТЕМИ Й ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР НА ТРАНСПОРТІ SECTION: SIMULATOR SYSTEMS AND HUMAN FACTOR IN TRANSPORT	46
ВІРТУАЛЬНИЙ ТРЕНАЖЕРНИЙ СИМУЛЯТОР ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ Гузь А.М. Херсонська державна морська академія (Україна)	47
КРИЗА БЕЗПЕКИ НА МОРІ: ДЕТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ АВАРІЇ КОНТЕЙНЕРОВОЗА «DALI» ТА РОЛЬ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ МАШИННОГО ВІДДІЛЕННЯ У ПОПЕРЕДЖЕННІ НАСЛІДКІВ Іванов А.А., Шпілева Т.М. Херсонська державна морська академія (Україна)	51
DIGITAL PILOTS & DRIVERS: ТРЕНАЖЕРНІ СИСТЕМИ ЯК КЛЮЧ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ЛЮДСЬКОГО ПОТЕНЦІАЛУ НА ТРАНСПОРТІ Кохан І.Р. Харківський автомобільно-дорожній фаховий коледж (Україна)	54
ПІДХОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ФАКТОРУ СУДНОВОДІЯ В ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДНА Кочубей П.О., Носов П.С. Херсонська державна морська академія (Україна)	58
НАВЧАЛЬНИЙ ТРЕНАЖЕР З ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ МПЗЗС-72 Матейчук В.М., Бень А.П., Зінченко С.М., Онишко Д. М. Херсонська державна морська академія (Україна)	65
CONSIDERATIONS OF THE HUMAN FACTOR IN THE OPERATION OF THE RAILWAY TRANSPORT Nerubatskyi V. P., Faliiev F. R., Ohurtsov S. S. Ukrainian state university of railway transport (Ukraine)	69
ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРНИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ НА ГРОМАДСЬКОМУ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТІ Нерубацький В.П., Шаповалова Д.С. Український державний університет залізничного транспорту (Україна)	70
АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО РОЗРОБКИ ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ	72

Носов П.С. Херсонська державна морська академія (Україна)	
DEVELOPMENT OF A FORMAL MODEL OF AN ADAPTIVE ERGATIC SHIP MOTION CONTROL SYSTEM Pavlo Nosov, Anton Nosov Kherson State Maritime Academy (Ukraine) Outlaw Eagle Manufacturing, Designer and Draftsperson (Canada)	75
НАВІГАЦІЙНІ ТРЕНАЖЕРИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ВИЯВЛЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ СУДНОВОДІВ В СИТУАЦІЙНОМУ КЕРУВАННІ БЕЗПЕКОЮ СУДНОПЛАВСТВА Носов П.С., Дягилева О.С., Пономарьова В.П. Херсонська державна морська академія (Україна)	79
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВІВ КАТЕГОРІЙ ДОВІРИ ЕЛЕКТРОННИХ НАВІГАЦІЙНИХ КАРТ НА ПОПЕРЕДНЮ ПРОКЛАДКУ Петровський А.В., Берест О.І. Херсонська державна морська академія (Україна)	84
РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОГО ПРОГРАМНОГО МОДУЛЮ РАДАРУ BRIDGE MASTER Е ДЛЯ УМОВ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ Петровський А.В., Сокурєнко Я.О., Зяблов Д.О. Херсонська державна морська академія (Україна)	87
ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ СУЧАСНИХ ENC КАРТ ФОРМАТУ S57 Петровський А.В., Литовченко В.І. Херсонська державна морська академія (Україна)	90
ВІЗУАЛІЗАЦІЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЗОН НАВКОЛО ОБ'ЄКТІВ CATEGORY ZONE OF CONFIDENCE Петровський А.В., Ісайчев А.Г. Херсонська державна морська академія (Україна)	94
СЕКЦІЯ: КОНТРОЛЬ, ДІАГНОСТИКА Й ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ SECTION: CONTROL, DIAGNOSTICS AND DECISION-MAKING IN MANAGING MOVING OBJECTS	98
МОРСЬКА РОБОТОТЕХНІКА УКРАЇНИ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ РОЗВИТКУ Блінцов В.С.¹, Вайсман В.О.², Костенко Р.В.³ ¹ Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна) ² ТОВ «ХОЛДІНГОВА КОМПАНІЯ МІКРОН» (Україна) ³ Комітет Верховної Ради України з питань національної безпеки, оборони та розвідки (Україна)	99
ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМ НЕНАСЕЛЕНИМ ПІДВОДНИМ АПАРАТОМ ТРАНСПОРТНОГО ТИПУ Блінцов В.С., Данько Є.С. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)	103

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ Гаценко Л.В., Чередник В.М. Державний університет інфраструктури та технологій (Україна)	107
ЦИФРОВА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТОРГОВИХ СУДЕН Гончарук І.П., Головань А.І. Одеський національний морський університет (Україна)	109
МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ КЛЮЧОВИХ ПАРАМЕТРІВ ДИНАМІКИ МАНЕВРУВАННЯ СУДНА Лесневський В.М., Калініченко Є.В. Одеський національний морський університет (Україна)	112
УПРАВЛІННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗДРОТОВОГО МОНІТОРИНГУ Нікольський В.В., Слободянюк М.В., Нікольський М.В. Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)	114
ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ КОНТРОЛЮ СТАНУ АВІАЦІЙНИХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ Пасічниченко Є.О. Державний університет «Київський авіаційний інститут» (Україна)	116
ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ СУЧАСНИМИ БЕЗЕКІПАЖНИМИ АВТОНОМНИМИ СУДНАМИ Пелихівський Л.О., Вороненко С.В. Херсонська державна морська академія (Україна)	119
FORMALIZATION OF THE FLIGHT DISPATCHER'S DECISION MAKING IN CASE OF FLIGHT DELAY Surkova K.V., Lomakina M. Ye. Ukrainian State Flight Academy (Ukraine)	124
БАГАТОПАРАМЕТРИЧНА ДІАГНОСТИКА ВИСОКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА Тимофєєв К.В., Артемчук О.А., Багін Є.П., Сопіжук Є.М. Херсонська державна морська академія (Україна)	127
АДАПТАЦІЯ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ДО ПОТРЕБ БЕЗЕКІПАЖНОГО УПРАВЛІННЯ Чимшир В.І. Дунайський інституту Національного університету «Одеська морська академія» (Україна)	131
СЕКЦІЯ: БЕЗПЕКА СУДНОПЛАВСТВА SECTION: SAFETY OF NAVIGATION	134
ВПЛИВ ВЕЛИКИХ ДЕФОРМАЦІЙ ТРОСУ НА РОБОТУ АВАРІЙНОЇ КАНАТНОЇ ПЕРЕПРАВИ Алексенко В.Л., Фостик П.П., Кацалап А.О. Херсонська державна морська академія (Україна)	135
ВПЛИВ SA ВАХТОВИХ ОФІЦЕРІВ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ	139

СУДНОВОДІННЯ В АКВАТОРІЯХ ІЗ ВИСОКОЮ ЩІЛЬНІСТЮ ТРАФІКУ СУДЕН Безбах О. М. Херсонська державна морська академія (Україна)	
АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ НА ВНУТРІШНІХ ВОДНИХ ШЛЯХАХ Долинська Н.Б., Калініченко Є.В. Одеський національний морський університет (Україна)	142
SHIP MANEUVERS ON THE RIVER Zhmur V. Kherson State Maritime Academy (Ukraine)	144
ВИБІР СКАЛЯРНОГО ПОКАЗНИКА ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯ ТОЧНОСТІ ВИБРАНИХ НАВІГАЦІЙНИХ ОРІЄНТИРІВ Жуков Д.С., Алексєйчук Б.М. НУ «ОМА» (Україна)	148
АНАЛІЗ НЕОФІЦІЙНОЇ ІЄРАРХІЇ В ПРОЦЕСІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПІД ЧАС НАВІГАЦІЇ В ОБМЕЖЕНІЙ ВИДИМОСТІ Калініченко Є. В.¹, Колєсник О.В.¹, Калініченко Г.Є.² ¹ Одеський національний морський університет (Україна) ² Національний університет «Одеська морська академія», фаховий коледж морського транспорту (Україна)	152
ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ НЕКОГЕРЕНТНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ РЛС ІМПУЛЬСНОГО ТИПУ Купровський В.І. Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)	155
МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ СКЛАДНОГО ОБ'ЄКТУ Корбан Д.В. Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)	159
ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНЦЕПЦІЇ МОРСЬКОГО НАДВОДНОГО БЕЗЕКІПАЖНОГО КОМПЛЕКСУ Кузнєцов А.І., Лисицький І.В. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)	163
ENHANCING ENGINE ROOM COMMUNICATION: SCALABLE IT SOLUTIONS FOR MARINE ENGINEERING Litikova O.I. Kherson State Maritime Academy (Ukraine)	167
ВИЗНАЧЕННЯ ТИСКУ НАСИПНОГО ВАНТАЖУ НА СТІНИ КУЗОВА ВАГОНА ПРИ ЗАЛІЗНИЧНО-ПОРОМНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ Ловська А. О.¹, Діжо Я.², Блатницький М.², Бучко М.² ¹ Український державний університет залізничного транспорту (Україна) ² Жилінський університет в Жиліні (Словаччина)	171
АДАПТИВНІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВІ СИСТЕМИ У ЗАДАЧАХ КЕРУВАННЯ КУРСОМ СУДНА Оберто Сантана Л.Е. Одеський національний морський університет (Україна)	174

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ЗАПОБІГАННЯ ЗІТКНЕННЯМ СУДЕН В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО РУХУ НА ПРИКЛАДІ ПОРОМНОЇ НАВІГАЦІЇ В ПРОТОЦІ ДУВР Россомаха О.І., Колеснік О.В., Саф'ян О.С. Одеський національний морський університет (Україна)	178
ЛЮДСЬКИЙ ЕЛЕМЕНТ У МОРСЬКІЙ БЕЗПЕЦІ: ПЕРЕГЛЯД СФОРМОВАНОЇ СТАТИСТИКИ Томчаковський Г.Г., Россомаха О.А. Одеський національний морський університет (Україна)	183
СУЧАСНА БІОЛОГІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИСТКИ СТИЧНИХ, ЛЬЯЛЬНИХ ВОД Чабан В.О., Кущенко Ю.О. Херсонська державна морська академія (Україна)	186
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ЧЛЕНІВ ЕКІПАЖУ СУДНА В УМОВАХ ВПЛИВУ РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ РЕЙСУ Чабан В.О., Безкровний В.О., Кириченко К.В. Херсонська державна морська академія (Україна)	189
СЕКЦІЯ: ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ SECTION: INFORMATION TECHNOLOGIES, SYSTEM ANALYSIS AND MATHEMATICAL MODELLING OF COMPLEX OBJECTS	193
MATHEMATICAL MODELING OF A MAINTENANCE SYSTEM FOR TECHNICAL OBJECTS CONSIDERING DEPENDENT FAILURES OF THEIR COMPONENTS Busarova T.M., Hryshechkina T.S. Ukrainian State University of Science and Technologies (Ukraine)	194
DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE COMPONENT FOR THE HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX OF TECHNICAL DIAGNOSTICS FOR RAPID DAMAGE DETECTION IN HEATING AND WATER SUPPLY SYSTEMS Vladimirsky A.A., Nedoseka S.A., Zvaritch V.M., Artemchuk V.O., Vladimirsky I.A., Kryvoruchko I.P. G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of the NAS of Ukraine (Ukraine)	197
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ КОМБІНОВАНОГО СУДНОВОГО ТУРБОКОМПРЕСОРА Вороненко С.В.¹, Тимофеев К.В.¹, Лебеденко Ю.О.² ¹ Херсонська державна морська академія (Україна) ² Київський національний університет технологій та дизайну (Україна)	200
СТРУКТУРНІ МОДЕЛІ ТИПОВИХ СИСТЕМ АВІОНІКИ Єнчев С. В.¹, Тачинін Є. В.² ¹ Державний університет «Київський авіаційний інститут», ² АТ «АНТОНОВ»	203

(Україна)		
ТРАНСПОРТНІ АСПЕКТИ ЕКСПОРТУ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ СУХОПУТНИМИ ТА ВОДНИМИ ПЕРЕХОДАМИ ЗА УМОВИ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ Запара В.М., Альошкін К.О., Балакішієв А.А., Науменко С.В. Український державний університет залізничного транспорту (Україна)		207
АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВАНТАЖНОМУ СЕКТОРІ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ Запара Я.В., Боровець Р.І., Камінський Б.В., Кузьміченко С.В. Український державний університет залізничного транспорту (Україна)		211
OPTIMIZATION OF UAV FLIGHT ROUTES IN UNSTABLE WEATHER CONDITIONS AND THE PRESENCE OF OBSTACLES Kalashnyk G.A. Ukrainian State Flight Academy (Ukraine)		213
USING OF INTERNATIONAL EXPERIENCE TO IMPROVE ATMOSPHERIC RESEARCH METHODS IN UKRAINE FOR CIVIL AVIATION Kalashnyk G.A., Voroshylo D.S. Ukrainian State Flight Academy (Ukraine)		216
MODELLING THE INFLUENCE OF ATMOSPHERIC CONDITIONS AND PHENOMENA ON RADIO SIGNAL PROPAGATION PROCESSES Kalashnyk G.A., Tokarsky I.O. Ukrainian State Flight Academy (Ukraine)		219
ENERGY-EFFICIENT ROUTE PLANNING FOR MARITIME VESSELS THROUGH SCALABLE CLOUD-BASED OPTIMIZATION MODELS Kalenyk P.I., Vychuzhanin V.V. Odesa Polytechnic National University (Ukraine)		224
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ У МОРСЬКІЙ ЛОГІСТИЦІ ¹ Касім А.М., ² Касім М.М. ¹ Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України (Україна) ² Національний університет біоресурсів і природокористування України (Україна)		226
TWO-STAGE PRODUCTION-TRANSPORTATION PROBLEM OF LOCATING COMPLEX EQUIPMENT RECYCLING FACILITIES Kikot M.S., Maleeva Y.A. National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute» (Ukraine)		230
USING UML-FB IN DESIGN AND MODELING OF AUTONOMOUS POWER PLANT ELEMENTS ¹ Mahmoud M.S. Al-suod, ² Ushkarenko O.O. ¹ Tafila Technical University (Jordan) ² Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Ukraine)		232
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ЧЕРЕЗ МІНІМІЗАЦІЮ ПРОБІГУ АВТОМОБІЛІВ Славич В.П., Савченко М.О. Херсонський національний технічний університет (Україна)		235
ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ Сохацький А.В.		237

Інститут транспортних систем та технологій НАН України Університет митної справи та фінансів (Україна)	
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ ОБЕРТАННЯ РОТОРУ ДАР'Є ІЗ ЗМІННИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ МОДЕЛІ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ КАНАЛІВ Тарасов С.В., Молотков О.Н. Інститут транспортних систем та технологій НАН України (Україна)	241
IMPROVING THE EFFICIENCY OF TRANSPORT LOGISTICS IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY AND RISK Sharko O.V., Doroshenko O.S., Zhyshchynskyi Y. S. Kherson State Maritime Academy (Ukraine)	245
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОТУЖНОСТІ СУДНОВОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ Шик Д.О., Поливода В.В. Херсонська державна морська академія (Україна)	249
ІНДЕТЕРМІНОВАНИЙ ЗВ'ЯЗОК ВІТРУ І МОРСЬКИХ ХВИЛЬ (СТОСОВНО ПРОПУЛЬСІЇ СУДЕН) Шостак В.П., Личко Б.М. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)	253
СЕКЦІЯ: ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ SECTION: RELIABILITY AND ENERGY SAVING, ENVIRONMENTAL SAFETY AND RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES	256
РОЗШИРЕННЯ ЗОН КОНТРОЛЮ ВИКИДІВ ДЛЯ СЕРЕДЗЕМНОГО МОРЯ, КАНАДСЬКОЇ АРКТИКИ ТА НОРВЕЖЬКОГО МОРЯ Акімов О.В., Нагрибельний Я.А. Херсонська державна морська академія (Україна)	257
REAL-TIME DIAGNOSTIC APPROACHES FOR MARINE DIESEL ENGINES IN THE CONTEXT OF IMO DECARBONIZATION GOALS Varbanets R.¹, Psaryuk S.^{1,2}, Mazur T.³, Rodionov A.^{1,4}, Bondarenko V.¹, Malchevskiy V.¹, Zalozh V.³ ¹ Odessa National Maritime University (Ukraine) ² Shipping Company «VC Logistic Operation D.O.O.» ³ Danube Institute of National University «Odessa Maritime Academy»(Ukraine) ⁴ Mariq Service (Canada)	261
КОМПЛЕКСНА МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ: ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО КІЛЬКІСНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТА СТРАТЕГІЇ ЕФЕКТИВНОЇ МІНІМІЗАЦІЇ Бажак О. В. Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія» (Україна)	270

РОЛЬ ОПЕРАЦІЙНОГО ПОКАЗНИКУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ У ВПРОВАДЖЕННІ SEEMP В УМОВАХ СУЧАСНОГО СУДНОПЛАВСТВА, ЯКІ ЗМІНЮЮТЬСЯ ДИНАМІЧНИМ ЧИНОМ Безбах О. М., Безуглова І. В. Херсонська державна морська академія (Україна)	272
ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЗУЧОСТІ ІЗОТРОПНИХ ЕПОКСИПЛАСТІВ ДЛЯ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ Букетов А.В., Стрельченко В.Ю., Юренін К.Ю., Соценко В.В. Херсонська державна морська академія (Україна)	275
ПРО ДЕЯКІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ Воїнов О. П., Кобалава Г. О., Самохвалов В. С. Херсонський навчально-науковий інститут національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)	276
ПОГОДНІ УМОВИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ВМІСТ АЛЮМОСИЛКАТІВ В СУДНОВОМУ ПАЛИВІ Врублевський Р. Є., Діденко В. О. Херсонська державна морська академія (Україна)	279
DEVELOPMENT OF A TRACKING HYDRAULIC STABILIZER USING A MATHEMATICAL MODEL Gorbatyuk Ie. V. Kyiv National University of Construction and Architecture (Ukraine)	282
КОНЦЕПЦІЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ В СПЕКТРІ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ Гриценко Н.В., Козодой Д.С. Український державний університет залізничного транспорту (Україна)	284
ІННОВАЦІЙНІ ПРОПУЛЬСИВНІ УСТАНОВКИ: ШЛЯХ ДО ЕКОНОМІЇ ПАЛИВА ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДЕН Дощенко Г.Г., Голощанов С.С. Херсонська державна морська академія (Україна)	286
ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРОДІАГНОСТИКИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ПРИ ВХІДНОМУ КОНТРОЛІ В УМОВАХ РЕМОНТНОГО ПІДПРИЄМСТВА Зінченко Д.О.¹, Савчук В.П.², Курносенко Д.В.² ¹ Класифікаційне товариство «Регістр судноплавства України» (Україна) ² Херсонська державна морська академія (Україна)	289
МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТІ6АІ4V ПРИ АДИТИВНОМУ ВИРОБНИЦТВІ Кирилах С. В. Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)	294
ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ СУЧАСНИХ ТЕРМОПРЕСОРНИХ АПАРАТІВ Кобалава Г.О. Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)	297

ТРАНСПОРТ ЗАВТРАШНЬОГО ДНЯ: ІННОВАЦІЇ ДЛЯ ЧИСТОЇ ПЛАНЕТИ Кохан І.Р., Середіна А.С. Харківський автомобільно-дорожній фаховий коледж (Україна)	300
МАЙБУТНЄ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТУ: ТЕХНОЛОГІЧНІ, СОЦІАЛЬНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ ДО 2030 РОКУ Кохан І.Р., Середіна А.С. Харківський автомобільно-дорожній фаховий коледж (Україна)	304
ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ Лаврич Ю.М., Подчасов А.Ю., Погоріла Л.М. Інститут транспортних систем і технологій НАН України (Україна)	308
ТЕПЛОВА ПІДГОТОВКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ СУДНА ПОРТОВОГО ФЛОТУ Погорлецький Д.С., Кавун В.І., Котов А.І. Херсонська державна морська академія (Україна)	311
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ Погорлецький Д.С., Грицук І.В., Дзигар А.К., Худяков І.В. Херсонська державна морська академія (Україна)	315
ВПЛИВ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ШУМОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ КРЕМЕНЧУКА ТА ШЛЯХИ ЙОГО МІНІМІЗАЦІЇ Поліщук Д.В., Алтухов П.М., Демченко О.Д. Філія Класичного приватного університету в місті Кременчук (Україна)	319
ВПРОВАДЖЕННЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОГЕНЕРУВАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ОБ'ЄКТАХ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ Продащук С.М., Кім К.В., Квасов П.В., Продащук М.В. Український державний університет залізничного транспорту (Україна)	322
НАДЛИШКОВІ ЗВ'ЯЗКИ В МЕХАНІЗМАХ КРАНОВИХ ГАЛЬМ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇХ УСУНЕННЯ Проценко В.О. Херсонський національний технічний університет (Україна)	326
ВИКОРИСТАННЯ ЕЛАСТОМІРНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПЛАСТИНЧАСТИХ РУШІВ РУХОВОЇ ПРОПУЛЬСИВНОЇ УСТАНОВКИ Самохвалов В. С., Шостак В. П., Воїнов О. П., Кобалава Г. О. Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)	327
ВИСОКОВОЛЬТНІ СИСТЕМИ: КЛЮЧ ДО ЕФЕКТИВНОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО СУДНОПЛАВСТВА Топалов О.І., Дощенко Г.Г. Херсонська державна морська академія (Україна)	330
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ДУНАЮ: АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ПОДОЛАННЯ Шапшалов І.В., Панченко І.М. Херсонська державна морська академія (Україна)	333

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА Щедролосєв О.В., Соценко В.В., Коновалова Г.В. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)	336
ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЗАТРАТ СЕУ НАЛИВНИХ СУДЕН ШЛЯХОМ ЗМІНИ РЕЖИМУ ПІДГРІВУ ВАНТАЖІВ Щедролосєв О.В., Коновалова Г.В. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)	341
СЕКЦІЯ: КОМПЕТЕНТІСНИЙ ПІДХІД В ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ SECTION: COMPETENCE-BASED APPROACH IN TRAINING TRANSPORT INDUSTRY PROFESSIONALS	346
ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНЦІЙ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ПРИ ВИВЧЕННІ ДИСЦИПЛІН ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ. Васильченко Г.Ю., Татарінцева Ю.Г. Херсонська державна морська академія. (Україна)	347
THE IMPACT OF MARTIAL LAW ON MARITIME EDUCATION AND TRAINING Diahyleva O., Yurzhenko A., Svyryda V. Kherson State Maritime Academy (Ukraine)	350
ПИТАННЯ СПЕЦІАЛЬНОЇ ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРІВ-МЕХАНІКІВ ДЛЯ СЕУ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬ АМІАК Кісєтов Ю.В., Личко Б. М. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)	353
ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ ХДМА «ТЕОРЕТИЧНОЇ ЧАСТИНИ БАЗОВОЇ ЗАГАЛЬНОВІЙСЬКОВОЇ ПІДГОТОВКИ» Нагрибельний Я.А., Акімов О.В. Херсонська державна морська академія (Україна)	357
ПРО НЕОБХІДНІСТЬ ВВЕДЕННЯ НОВИХ ДОСЯГНЕНЬ ФІЗИКИ ПРИ ВИКЛАДАННІ ДИСЦИПЛІН ФІЗИКО-ТЕХНІЧНОГО ЦИКЛУ Настасенко В.О. Херсонська державна морська академія (Україна)	361
SEAFARERS' TRAINING IN FOREIGN LANGUAGE WRITTEN COMMUNICATION THROUGH THE COMPETENCY-BASED APPROACH PARADIGM Tokarieva O. V. Kherson State Maritime Academy (Ukraine)	365
DEVELOPMENT COMPETENCIES THROUGH MODELING MICROPROCESSOR CONTROL SYSTEMS IN POWER ENGINEERING Ushkarenko O.O., Treshniuk A.I. Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Ukraine)	368

СЕКЦІЯ: ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ «ЗЕЛЕНОГО» ТРАНСПОРТУ: ДЖЕРЕЛА ТА НАКОПИЧУВАЧІ ЕНЕРГІЇ, НОВІТНІ МАТЕРІАЛИ, БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ SECTION: IMPLEMENTING «GREEN TRANSPORT»: ENERGY SOURCES AND STORAGE DEVICES, LATEST MATERIALS, OPERATIONAL SAFETY	371
ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ БАЛАСТНИХ ВОД Бойко М.І.¹, Макогон А.В.² ¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Україна) ²Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України (Україна)	372
РОЗРОБЛЕННЯ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ Воробйов П.О. Херсонська державна морська академія (Україна)	376
ОСОБЛИВОСТІ РАДІАЦІЙНИХ МЕТОДІВ СЕПАРАЦІЇ ВІДХОДІВ ПЛАСТИКУ ДЛЯ ЇХ ПЕРЕРОБКИ ТА ЗАПОБІГАННЯ ЗАСМІЧЕННЮ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА Донець С.Є.¹, Литвиненко В.В.¹, Мелякова О.А.¹, Шимановський А.Р.² ¹Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України (Україна) ²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна(Україна)	377
ТЕНДЕНЦІЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ СВІТОВОГО РИНКУ ПРАЦІ МОРСЬКИХ ОФІЦЕРІВ В КОНТЕКСТІ «ЗЕЛЕНОГО» ТРАНСПОРТУ Кузьмич І.С., Стовба Т.А. Херсонська державна морська академія (Україна)	380
СТУПІНЬ КАРБОНІЗАЦІЇ ПАЛИВА Личко Б.М., Шостак В.П. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)	384
IMPROVEMENT OF CORROSION RESISTANCE OF ALUMINUM ALLOYS USED IN SHIPBUILDING BY MEANS OF PULSED ELECTRON BEAM IRRADIATION TREATMENT Myła D.E.¹, Rak O.L.², Bryukhovetsky V.V.¹, Pogrebniak P.S.¹ ¹ Institute of Electrophysics & Radiation Technologies NAS of Ukraine (Ukraine) ² NSC «Kharkiv Institute of Physics and Technology» (Ukraine)	387
ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ Мосьпан В. М. Херсонський національний технічний університет (Україна)	390
ТЕНДЕНЦІЇ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ КОНТЕЙНЕРНИХ СУДЕН Піхуля М.Ю., Стовба Т.А. Херсонська державна морська академія (Україна)	393
CHANGES IN THE COEFFICIENTS OF SPUTTERING OF SURFACE OF TUNGSTEN WHEN HIS USED IN FUSION REACTORS Prokhorenko E.M.¹, Manuilenko O.V.^{2,4}, Pavlii K.V.², Zajtsev B.V.²,	397

Soshenko V.A.², Butenko V.I.², Prokhorenko T.G.³ ¹ Institute of Electrophysics and Radiation Technologies NAS of Ukraine (Ukraine) ² NSC «Kharkov Institute of Physics and Technology» (Ukraine) ³ Kharkiv National Automobile and Highway University (Ukraine) ⁴ V.N.Karazin Kharkiv National University (Ukraine)	
INVENTORY OF INSTITUTIONAL AND COMPLEMENTARY PROVISIONS FOR COLLECTION AND TREATMENT OF WASTE FROM INLAND NAVIGATION Oleg Rubel Institute of market and economic-ecological researches of NAS Ukraine (Ukraine)	401
СТВОРЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПОВЕРХОНЬ ВАНТАЖНИХ ТАНКІВ НАЛИВНИХ ТАНКЕРІВ-ХІМОВОЗІВ Сапронов О.О.¹, Даниленко Д.О.¹, Демченко В.Л.², Даниленко О.Б.³, Банга М.М.¹, Воробйова В.В.¹ ¹ Херсонська державна морська академія (Україна) ² Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України (Україна) ³ Дунайський інститут національного університету «Одеська морська академія» (Україна)	405
ВПРОВАДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ ГІБРИДНОГО ЕПОКСИ-ПОЛІУРЕТАНОВОГО ПОКРИТТЯ Сапронова А.В.¹, Біщак Р.Т.², Соценко В.В.¹, Браїло М.В.¹, Торопенко В.В.¹ ¹ Херсонська державна морська академія (Україна) ² Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Україна)	407
ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ І СТРУКТУРИ ГІБРИДНИХ ЕПОКСИ-ПОЛІУРЕТАНОВИХ ПОКРИТТІВ Сапронова Л.О., Фостик П.П., Банга М.М., Романюк В.С., Торопенко В.В. Херсонська державна морська академія (Україна)	408
ПРОБЛЕМА БЕЗПЕКИ ВШНТ Скосар В.Ю., Бурилова Н.В., Ляшенко В.І., Бурилов С.В. Інститут транспортних систем і технологій НАН України(Україна)	409
МОДЕЛЮВАННЯ ЯВИЩА РАДІАЦІЙНОГО РОСТУ ЦИРКОНІЮ, ВІДПОВІДАЛЬНОГО ЗА СТАБІЛЬНІСТЬ ФОРМИ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ РЕАКТОРІВ НА ТЕПЛОВИХ НЕЙТРОНАХ Троценко О.Г., Бабіч А.В., Остапчук П.М. Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України (Україна)	413
ВУГЛЕЦЕВІ НАНОТРУБКИ ЯК ЗАСІБ ЗБЕРІГАННЯ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ КОНВЕРСІЇ ВОДНЮ ДЛЯ ПОТРЕБ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ Удовицький В.Г., Литвиненко В.В. Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України (Україна)	417
ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ЕКСПЛУАТАЦІЇ БАЛКЕРНОГО ФЛОТУ: ВІД ТРАДИЦІЙ ДО ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ Шевченко М. В., Панченко М. В., Стовба Т. А. Херсонська державна морська академія (Україна)	420
ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК	424
ЗМІСТ	427

Збірник матеріалів
XVII Міжнародної науково-практичної конференції

**СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ
ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
НА ТРАНСПОРТІ**

MINTT – 2025

Відповідальний за випуск *Врублевський Р. Є.*
Технічний редактор, комп'ютерна верстка *Радул Т.О.*

Підписано до друку 26.05.2024. Формат 60x84/16.
Папір офсетний. Друк цифровий. Гарнітура Times New Roman.
Умов. друк. аркушів 27,5. Тираж 120 прим.

Херсонська державна морська академія
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 4319 від 10.05.2012
73000, м. Херсон, пр. Ушакова, 20