

Матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції
Materials of the 15th international scientific and practical conference

**СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТА ІННОВАЦІЙНІ
ТЕХНОЛОГІЇ НА ТРАНСПОРТІ**

**MODERN INFORMATION AND INNOVATION
TECHNOLOGIES IN TRANSPORT**

MINTT-2023

Збірка матеріалів конференції

**24-25 травня 2023 року
Херсон, Україна**

**May 24-25, 2023
Kherson, 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 «КПШ»
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
ГДИНСЬКИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
КЛАЙПЕДСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ЛИТВА)
БАТУМСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ (ГРУЗІЯ)
ПЕКІНСЬКИЙ СВРАЗІЙСЬКИЙ МІЖНАРОДНИЙ ЦЕНТР ЕКОНОМІЧНОГО І
КУЛЬТУРНОГО ОБМІНУ (КНР)
КРЮІНГОВА КОМПАНІЯ «MARLOW NAVIGATION» (КІПР)

Програмний комітет:

Бідюк П.І. – д.т.н., проф. (Україна);	Любіч О.О. – д.е.н., проф. (Україна);
Блінцов В.С. – д.т.н., проф. (Україна);	Мальцев А.С. – д.т.н., проф. (Україна);
Букетов А.В. – д.т.н., проф. (Україна);	Мельник І.В. – д.т.н., проф. (Україна);
Варбанець Р.А. – д.т.н., проф. (Україна);	Осадчий С.І. – д.т.н., проф. (Україна);
Винокурова О.А. – д.т.н., проф. (Україна);	Піпченко О.Д. – д.т.н., доц. (Україна);
Вюгар Беюкага огли Садигов – к.т.н., доц. (Азербайджан);	Прохоренко Є.М. – д.т.н. (Україна);
Гнатушенко В.В. – д.т.н., проф. (Україна);	Рева О.М. – д.т.н., проф. (Україна);
Двірна О. – к.т.н., доц. (Польща);	Рябенський В.М. – д.т.н., проф. (Україна);
Єрмошкін М.Г., к.т.н., проф. (Україна);	Савченко О.Г. – д.ф.-м.н., проф. (Україна);
Зінченко С.М. д.т.н., доц. (Україна);	Хайбин Ю. – директор ПЄМЦЕКО (КНР);
Ігнатенко О.А., капітан 1 рангу, доц. (Україна);	Харченко В.П. – д.т.н., проф. (Україна);
Куклін В.М. – д.ф.-м.н., проф. (Україна);	Ходаков В.Є. – д.т.н., проф. (Україна);
Литвиненко В.В. – д.т.н. (Україна);	Шаров Р.А. – капітан 1 рангу, доц. (Україна);
	Цимбал М.М. – д.т.н., проф. (Україна);
	Янутенене Й. – д.т.н., проф. (Литва).

Організаційний комітет:

голова	Чернявський Василь Васильович – ректор Херсонської державної морської академії;
заступник	Бень Андрій Павлович – проректор з науково-педагогічної роботи;
голови	
члени	Настасенко Валентин Олексійович – професор кафедри транспортних технологій та механічної інженерії;
комітету:	Носов Павло Сергійович – доцент кафедри судноводіння; Блах Ігор Володимирович – вчений секретар, начальник відділу технічної інформації; Якущенко Сергій Вікторович – відповідальний секретар конференції, доцент кафедри судноводіння

У збірнику представлено матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», яка відбулася у м. Херсон 24-25 травня 2023 р. і була присвячена актуальним питанням застосування сучасних інформаційних та інноваційних технологій у транспортній галузі.

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

Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2023) [Збірка матеріалів XV Міжнародної науково-практичної конференції (24-25 травня 2023 р., м. Херсон)]. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2023. – 344 с.

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 «IGOR SIKORSKY KYIV POLYTECHNIC INSTITUTE»
INSTITUTE OF ELECTROPHYSICS AND RADIATION TECHNOLOGIES
V.N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY
NATIONAL AVIATION UNIVERSITY
ODESA NATIONAL MARITIME ACADEMY
ODESA NATIONAL MARITIME UNIVERSITY
GDYNIA MARITIME UNIVERSITY (POLAND)
LATVIAN MARITIME ACADEMY KLAIPEDA UNIVERSITY (LITHUANIA)
BATUMI STATE MARITIME ACADEMY (GEORGIA)
BEIJING EURASIAN INTERNATIONAL CENTER FOR ECONOMIC AND CULTURAL EXCHANGE (PRC)
MARLOW NAVIGATION CREWING COMPANY (CYPRUS)

Program Committee:

P. Bidiuk – Doctor of Technical Science, Prof. (Ukraine);
V. Blintsov – Doctor of Technical Science, Prof. (Ukraine);
A. Buketov – Doctor of Technical Science, Prof. (Ukraine);
R. Varbanets – Doctor of Technical Science, Prof. (Ukraine);
O. Vynokurova – Doctor of Technical Science, Prof. (Ukraine);
V. Sadyhov – Assoc. Prof. (Azerbaijan);
V. Hnatushenko – Doctor of Technical Science, Prof. (Ukraine);
O. Dvirna – Ph.D in Technical Science, Assoc. Prof. (Poland);
M. Yermoshkin – Assoc. Prof., Prof. (Ukraine);
S. Zinchenko – Doctor of Technical Science, Assoc. Prof. (Ukraine);
O. Ihnatenko – Captain 1st rank, Assoc. Prof. (Ukraine);
V. Kuklin – Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Prof. (Ukraine);
V. Lytvynenko – Doctor of Technical Science (Ukraine);
O. Liubich – Doctor of Economics, Prof. (Ukraine);
A. Maltsev – Doctor of Technical Science, Prof. (Ukraine);
I. Melnik – Doctor of Technical Science, Prof. (Ukraine);
S. Osadchyi – Doctor of Technical Science, Prof. (Ukraine);
O. Pipchenko – Doctor of Technical Science, Assoc. Prof. (Ukraine);
Ye. Prokhorenko – Doctor of Technical Science (Ukraine);
O. Reva – Doctor of Technical Science, Prof. (Ukraine);
V. Riabenkyi – Doctor of Technical Science, Prof. (Ukraine);
O. Savchenko – Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Prof. (Ukraine);
Yu. Khaibyn – Director of PEMCEKO (PRC);
V. Kharchenko – Doctor of Technical Science, Prof. (Ukraine);
V. Khodakov – Doctor of Technical Science, Prof. (Ukraine);
R. Sharov – Captain 1st rank, Assoc. Prof. (Ukraine);
M. Tsymbal – Doctor of Technical Science, Prof. (Ukraine);
Y. Yanutenene – Doctor of Technical Science, Prof. (Lithuania)

Organizing Committee:

Head Vasyly Cherniavskiy – Rector of Kherson State Maritime Academy;
Deputy Head Andriy Ben – Vice Rector for Research;
Committee members: Valentyn Nastasenko – Professor of Department of Transport Technologies and Mechanical Engineering;
Pavlo Nosov – Associate Professor of Navigation Department;
Ihor Blakh – Scientific Secretary, Head of Technical Information Department;
Serhii Yakushchenko – Technical Secretary, Associate Professor of Navigation Department

The collection presents the proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference «Modern Information and Innovation Technologies in Transport», which took place in Kherson on May 24-25, 2023 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-2023) [proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference, May 24-25, 2023, Kherson]. – Kherson: Kherson State Maritime Academy, 2023. – 344 p.

ПЕРЕДМОВА

Шановні колеги!

Ви тримаєте в руках збірку тез доповідей П'ятнадцятої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2023)», метою якої є аналіз та узагальнення нових теоретичних і прикладних результатів щодо застосування сучасних інформаційних та інноваційних технологій у транспортній галузі. Конференція проходить у місті Херсоні, що розташоване на мальовничих берегах річки Дніпро, на базі старішого морського навчального закладу нашої держави – Херсонської державної морської академії. В організації та роботі конференції беруть участь провідні науково-дослідні та навчальні заклади України, Словаччини, Латвії, Грузії, Польщі, Литви, Китаю 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.

В 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 минулого року, ми вимушені проводити наш захід в форматі online і обмежитися лише електронним форматом видання збірки тез. 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-2023 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.

FOREWORD

Dear colleagues!

You are holding a proceedings of the Fifteenth International Scientific and Practical Conference «*Modern Information and Innovation Technologies in Transport (MINTT-2023)*», which aims to analyze and summarize new theoretical and applied results in the application of modern information and innovation technologies in transport. The conference is held in Kherson, city located on the picturesque banks of the Dnieper River, on the basis of the oldest maritime institution of our country – Kherson State Maritime Academy. Leading research and educational institutions of Ukraine, Slovakia, Latvia, Georgia, Poland, Lithuania, China and other foreign countries take part in organization 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 of ideas and search for new priority areas of research; establishment and development of new contacts in the field of scientific cooperation between educational and research institutions, enterprises of Ukraine and abroad. One of the features of the conference is the involvement of young scientists in the development of the most relevant research areas in transport field.

The conference program includes a plenary session and work of specialists in sections: intelligent decision support systems in the transport industry; training systems and human factor in transport; control, diagnostics and decision-making in moving objects management; shipping safety; system analysis and mathematical modeling of complex objects; reliability and energy saving issues, environmental safety and resource-saving technologies; competency approach in transport professionals training, issues of “green” transport implementation: energy sources and accumulators, latest materials, operational safety.

We are sure that a wide range of scientific papers of the conference will contribute not only to fruitful analysis and discussion of the above issues, but also the exchange of ideas and opinions, finding priority areas of research, establishing new contacts in the field of scientific cooperation, attracting young scientists to studying the most relevant research areas in 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, we must hold our event online the same as last year and provide only an electronic version of proceedings. We hope that the conference will be successful and contain all the best features of the MINTT scientific and practical conferences of the past years.

The organizers sincerely thank all conference participants and hope that MINTT-2023 will become a good continuation of the meetings and communication, which began at previous conferences.

We express our sincere gratitude to all the authors of the reports for their understanding and cooperation with the organizers.

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

Sincerely, Organizing and Program Committees.

ПРОФЕСОР КАЗАК ВАСИЛЬ МИКОЛАЙОВИЧ: ВНЕСОК У НАУКУ Й ОСВІТУ УКРАЇНИ

¹⁾Бень А.П., ²⁾Блінцов В.С.

¹⁾Херсонська державна морська академія,

²⁾Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

31 липня 2022 року пішов з життя відомий український учений та педагог, професор Національного авіаційного університету, активний учасник нашої конференції з 2009 року, доктор технічних наук, професор КАЗАК Василь Миколайович.

Ім'я Василя Миколайовича давно і добре відоме вітчизняним та зарубіжним науковцям. Адже на протязі багатьох десятиліть він активно розбудовував процес підготовки фахівців та готував науковців для вітчизняної авіації.

Діапазон його професійних інтересів був надзвичайно широким та охоплював авіаційні електроенергетичні системи, автоматизовані системи керування літальними апаратами та їх надійність, пілотажно-навігаційні комплекси та енергоменеджмент.

Наукова ерудиція та глибина наукових знань професора Казака В.М. давали йому змогу швидко оволодівати знаннями у нових для нього галузях техніки та надавати допомогу колегам, які працюють у суміжних наукових напрямках. Яскравою демонстрацією цього є багаторічна робота Василя Миколайовича у якості офіційного опонента кандидатських і докторських дисертацій з морської робототехніки, які готувались у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова, починаючи з 2003 року.

Так сталося, що Василь Миколайович був одним з перших професорів, якого запросили увійти до складу Програмного комітету конференції. Він завжди надавав багато цінних порад щодо покращення її роботи, зокрема популяризації роботи серед студентської молоді, постійно сприяв збільшенню кола учасників конференції, залучаючи випускників своєї наукової школи, яких було чимало.

Починаючи з першої науково-практичної конференції MINNT-2009, яка відбулася в травні 2009 року, професор Казак В.М. був постійним членом її програмного комітету та активним учасником пленарних та секційних засідань. Він не пропустив жодного заходу крім останньої конференції, яка відбулася ще за його життя, в травні 2022 року, - вже не дозволив стан здоров'я. Всі учасники MINTT і зараз добре пам'ятають жваві дискусії, які точилися під час обговорення наукових доповідей завдяки небайдужості Василя Миколайовича до здобутків доповідачів. І звичайно, жоден круглий стіл, який проводився по завершенню конференцій, де підбивалися підсумки та приймалися резолюції не обходився без його участі.

Народився Василь Миколайович 12 січня 1940 року в м. Белць, Молдова. У 1962 році закінчив військово-морське училище у м. Рига. Служив у Камчатській військовій флотилії. Брав участь у військових випробуваннях літаючих човнів Бе-10, Бе-12 в умовах крайньої Півночі.

Після закінчення у 1972 році Київського вищого інженерного авіаційного військового училища був призначений викладачем військової кафедри при Київському інституті інженерів цивільної авіації (КІЦА).

Після перетворення військових технічних училищ у вищі заклади освіти був направлений для подальшої служби до Даугавпільського вищого військового авіаційного інженерного училища.



Полковник, служив лавах Протиповітряної оборони СРСР. Після демобілізації у 1989 році повернувся до КПЦА, де працював на посадах асистента, старшого викладача, доцента кафедри автоматизованих систем управління та пілотажно-навігаційних комплексів, професора кафедри авіаційних приладів, вимірювальних систем та метрології.

З 1995 року – заступник декана, а з 1996 року – декан заочного факультету, який завдяки його зусиллям у березні 2000 року був перетворений в Інститут заочного та дистанційного навчання.

У 2000 році стає завідувачем кафедри електроенергетичних систем, яку у грудні 2006 року перейменовано у кафедру автоматизації та енергоменеджменту.

Як викладач поставив десять дисциплін. Розробив нову методику навчання з урахуванням соціально-психологічних особливостей студентів, що дозволило значно підвищити рівень підготовки фахівців.

Під його керівництвом захищено низку кандидатських і докторських дисертацій.

Опублікував понад 200 наукових та навчально-методичних праць.

Професор Казак В.М. брав участь у розробленні та виконанні державних програм розвитку авіації та озброєння України. Виступав з доповідями на міжнародних загальнодержавних і галузевих науково-технічних симпозиумах, семінарах та конференціях.

Був співвиконавцем відповідним виконавцем та керівником 20 науково-дослідних тем.

У 2001 році під керівництвом проф. В. М. Казака на кафедрі була започаткована та розпочата підготовка фахівців за новою спеціальністю 7.092507 “Автоматика та автоматизація на транспорті”, а в 2003 році – 7.000008 “Енергетичний менеджмент”.

Професор Казак В.М виконував великий обсяг роботи як член президії Науково-методичної комісії напряму 0925 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”, як член двох спеціалізованих рад з присудження вчених ступенів.

Трудовий шлях Василя Миколайовича відзначений низкою державних та відомчих нагород. Професор Казак В.М. є кавалером ордену «За заслуги» III ступеня, нагороджений Почесною Грамотою Кабінету Міністрів України, Грамотою Верховної Ради України, Подякою мера міста Києва, Почесною Грамотою Київської міської державної адміністрації, Почесною Грамотою мера міста Києва, 12 державними медалями та нагрудними знаками: За сумлінну працю, Відмінник освіти України, Почесний працівник авіаційного транспорту, Заслужений діяч Транспортної академії України, Ветеран збройних сил України, Ветеран праці, Почесний ветеран міста-героя Києва, Ветеран Національного авіаційного університету.

Можна переконливо стверджувати, що наукові та науково-методичні здобутки професора Казака Василя Миколайовича сьогодні продовжують успішно служити Україні.

Всі учасники конференції MINTT та наукова спільнота щиро вдячні Василю Миколайовичу за його неоціненний внесок в справу підготовки наукових кадрів та розвиток вітчизняної Науки.

Ми пам’ятаємо Вас, Вчителю!

СЕКЦІЯ:
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ

A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF INTERMODAL FREIGHT TRANSPORTATION DEFINITIONS THROUGH A MORPHOLOGICAL APPROACH

Golovko T.V., Demchenko I.S.

Ukrainian state university of railway transport (Ukraine)

Introduction. The thesis discusses the concept of intermodal freight transportation and the lack of a clear understanding of its objectives in many definitions. The author aims to address this gap by using morphological analysis and creating a custom definition that includes all the key characteristics and goals of intermodal freight transportation.

The relevance of the research. The concept of intermodal freight transportation has been widely discussed in academic and industry circles [1]. Various definitions of this term have been proposed, but many lack a crucial element: the goal of intermodal freight transport. Without a clear understanding of the objectives of intermodal transportation, it is difficult to develop effective strategies for implementing this mode of freight movement.

The goal of the research. After conducting an extensive literature review, we applied the morphological analysis method to study the definitions of intermodal freight transportation from various sources. We aimed to identify the key characteristics and goals of this mode of transportation. We found that many definitions of intermodal freight transportation exist, but they do not necessarily include all the essential components of this type of transport. This thesis aims to address this gap in the literature by using morphological analysis to compare existing definitions of intermodal freight transportation.

The results of the research. By identifying the keywords, characteristics, and goals in each definition, we can better understand the concept and its intended outcomes. This study will contribute to developing a unified and complete definition of intermodal freight transportation that incorporates the goals of this mode of transport. To provide a comprehensive analysis, we created a custom definition of intermodal freight transportation that includes all the key characteristics and goals. We then compared this definition with those found in the literature and present the results in a table. This analysis allows us to identify gaps and inconsistencies in the existing definitions and provides a more complete understanding of the essential features and objectives of intermodal freight transportation.

Table 1 – The morphological analysis of “intermodal freight transportation” definitions

<i>Definition</i>	<i>Keyword</i>	<i>Attribute</i>	<i>Goal</i>
<i>Transportation of goods to one or more destinations using multiple modes of transportation without reloading the cargo when changing the mode of transportation [2].</i>	<i>Transportation of goods</i>	<i>to one or more destinations using multiple modes of transportation without reloading the cargo when changing the mode of transportation</i>	
<i>Logistic service that is carried out using several transport units. The goal is to sequentially deliver cargo by several means of transportation [3].</i>	<i>Logistic service</i>	<i>that is carried out using several transport units</i>	<i>The goal is to sequentially deliver cargo by several means of transportation.</i>
<i>Transportation that involves the use of various types of transport and for which the client can enter into a contract with multiple companies [4].</i>	<i>Transportation</i>	<i>that involves the use of various types of transport and for which the client can enter into a contract with multiple companies.</i>	

<i>Combined transportation of your goods using multiple modes of transport, whereby the company assumes responsibility for the entire transportation, even if the delivery is carried out by different modes of transport [5].</i>	<i>Combined transportation of your goods</i>	<i>whereby the company assumes responsibility for the entire transportation, even if the delivery is carried out by different modes of transport.</i>	
<i>The process of moving cargo from place to place using more than one method of transport - truck, rail, plane, ship, or any combination of those. Using intermodal transport, a shipper or buyer contracts with multiple carriers to transport a single container along a route [6].</i>	<i>moving cargo from place to place</i>	<i>using more than one method of transport - truck, rail, plane, ship, or any combination of those.</i>	<i>a shipper or buyer contracts with multiple carriers to transport a single container along a route.</i>
<i>It simply means transporting one set of goods in a steel container using two or more modes of transportation, such as rail and truck. Rail and trucks are not the only means of transit that intermodal utilizes [7].</i>	<i>transporting one set of goods in a steel container</i>	<i>using two or more modes of transportation, such as rail and truck.</i>	
<i>This is the transportation of goods without loading and unloading operations in the same cargo unit (for example, in a container) using multiple modes of transportation within the "door-to-door" transport chain [8].</i>	<i>transportation of goods</i>	<i>without loading and unloading operations in the same cargo unit (for example, in a container) using multiple modes of transportation within the "door-to-door" transport chain.</i>	
<i>This is the transportation of goods using multiple modes of transportation, where the forwarder organizes the entire transport from one point or port of shipment through one or several transshipment points to the final destination or port [9].</i>	<i>transportation of goods using multiple modes of transportation</i>	<i>where the forwarder organizes the entire transport from one point or port of shipment through one or several transshipment points to the final destination or port</i>	
<i>Intermodal transportation is defined here as the movements of goods in a load unit between a point of origin and a point of destination, where the unit is transferred at least once from one mode of transport to another between these two points [10].</i>	<i>the movements of goods in a load unit</i>	<i>between a point of origin and a point of destination, where the unit is transferred at least once from one mode of transport to another between these two points</i>	

Morphological analysis [11] is a method of breaking down complex concepts into their constituent parts or morphemes. This technique is often used in linguistics to study the structure of words and how they are formed, but it can also be applied to other areas such as problem-solving and decision-making. In the context of creating definitions, morphological analysis involves breaking down a complex term or concept into its component parts and analyzing the meaning of each part. By analyzing each component part of the term, we can arrive at a more precise and comprehensive definition of "intermodal freight" as the transportation of goods using

multiple modes of transportation, such as trucks, trains, or ships, in a coordinated manner to maximize efficiency and minimize costs.

In the morphological method of creating definitions, the first step is to identify the keyword, which is the main concept being defined. Once the keyword is identified, the next step is to identify its characteristics or attributes, which help to further specify or describe the keyword. These characteristics may include physical features, functions, uses, or other properties. Finally, the goal or purpose of the keyword is identified, which explains why the keyword is important or relevant. This could be a practical application, a theoretical concept, or a broader significance. Having analyzed the above definitions using the morphological analysis, we've concluded that:

All the definitions refer to the transportation of goods using multiple modes of transportation. They all involve the transfer of cargo from one mode of transport to another during the journey. They all aim to provide a seamless, end-to-end delivery process.

1. Some definitions specify the use of different carriers for each mode of transportation (e.g. "each carrier is issuing its contract"), while others refer to the use of a single carrier or logistics provider (e.g. "firm is responsible for the entire transport").
2. The majority of definitions emphasize the use of specific modes of transportation (e.g. "truck, rail, plane, ship"), while others are more general and inclusive (e.g. "multiple means of transport"). Some authors refer specifically to the transfer of freight, while others include passengers as well.
3. In some cases, theorists mention the need for multiple contracts or tickets for each mode of transport, while others do not.
4. The huge discrepancy is that almost all definitions don't include the goal of the definition, therefore it's not what intermodal freight transportation is aimed at.

Based on the morphological analysis of various definitions of intermodal freight transportation, we've created our definition:

Intermodal freight transportation refers to the movement of goods using multiple modes of transportation, such as trucks, trains, ships, and airplanes, without the need to handle the cargo when changing from one mode to another. The goal of intermodal freight transportation is to increase efficiency and reduce costs by utilizing the strengths of each mode of transportation while minimizing its weaknesses. It also enables shippers to reach more distant markets, reduce their transportation costs, and improve their overall supply chain performance.

Summary. In the thesis, we've discussed the concept of intermodal freight transportation and the lack of a clear understanding of its objectives in many definitions. We've aimed to address this gap in the literature by using morphological analysis and creating a custom definition that includes all the key characteristics and goals of intermodal freight transportation. The morphological analysis involves breaking down a complex term into its parts and analyzing the meaning of each part. Based on the analysis of various definitions, we've identified the key characteristics and goals of intermodal freight transportation and presented a more complete and unified definition of this mode of transportation. The goal of intermodal freight transportation is to increase efficiency and reduce costs by utilizing the strengths of each mode of transportation while minimizing its weaknesses, and enabling shippers to reach more distant markets, reduce their transportation costs, and improve their overall supply chain performance.

REFERENCES

1. Kiel, Thomas, and Linda K. Nozick. Developing a Standard Definition of Intermodal Transportation. *Journal of Business Logistics*. 2012. Vol. 33, no. 1. P. 71–87.
2. Інтермодальні послуги. Ekol Logistics. URL: <https://www.ekol.com/uk/lohistyka/morski-ta-aviaperevezennya/intermodalni-posluhy/> (дата звернення: 18.04.2023).
3. "Intermodal Services." Logistic Plus, logisticplus.com.ua/services/transport-logistic/intermodal-services.

4. Інтермодальні та мультимодальні перевезення: у чому різниця? - Контейнер-Трейд. URL: <https://uk.container-trade.net/intermodalnye-i-multimodalnye-perevozki-v-chem-raznica/> (дата звернення: 18.04.2023).
5. Інтермодальне перевезення. *Транс-Авто-Д.* URL: <https://www.tad.com.ua/uk/intermodalnaja-perevozka/> (дата звернення: 18.04.2023).
6. Intermodal Transport Definition | UPS Supply Chain Solutions - United States. *UPS Global Shipping & Logistics Solutions | Worldwide Delivery | UPS - United States.* URL: <http://www.ups.com/us/en/supplychain/insights/knowledge/glossary-term/intermodal-transport.page> (date of access: 19.04.2023).
7. What Is Intermodal Transportation? History, Benefits, Examples - Inbound Logistics. *Inbound Logistics.* URL: <http://www.inboundlogistics.com/articles/intermodal-transportation/> (date of access: 19.04.2023).
8. Rodrigue J.-P. *Geography of Transport Systems.* Taylor & Francis Group, 2016.
9. Postnova, Nataliia. On the Applied Terminology in the Field of International Mixed Transport." *Conference Proceedings of the National University "Yaroslav the Wise Law Academy of Ukraine"*, vol. 1, 2021, pp. 185-187.
10. Kostenko, Yevheniia, et al. Theoretical Aspects of Intermodal Freight Transportation. 2021 IEEE 16th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2021, pp. 193-196.
11. Cruse, D. A. *Meaning in Language: An Introduction to Semantics and Pragmatics.* Oxford University Press, 2011.

APPLICATION OF THE METHOD OF RESETTING THE KINETIC ENERGY OF THE COLLISION ALONG THE GRADIENT

Zinchenko S.M., Kyrychenko K.V., Grosheva O.O., Polishchuk V.O

Kherson State Maritime Academy

(Ukraine)

Introduction. The number of maritime transports only increases over the years, which causes an increase in maritime transport accidents. As statistics show, most accidents on sea transport occur precisely because of the human factor. The paper [1] reviews the latest advances in vessel collision risk assessment. The review revealed a wide and diverse range of techniques, including machine learning, clustering techniques, and others. In [2], the problem of local route planning in a complex dynamic environment with several vessels is solved. An autonomous collision avoidance system based on deep The system switches between path tracking and collision avoidance modes in real-time, during which any danger of collision is perceived through collision identification and risk calculation. The simulation is performed under multi-vessel collision conditions, taking into account the vessels hydrodynamic model, environmental disturbance model, COLREG and good seaman vessel. The issue of reducing damages in case of inevitable collision of vessels was also considered in the previous works of the authors [3, 4]. It is difficult for a person in a stressful situation to make the right decision due to the emotional factor and time constraints. Therefore, the task of developing automatic control of vessels to prevent vessel collisions is becoming more and more urgent [5-23]. In this case, a person only decides to activate the automatic control mode and observes its operation.

Relevance of research. The analysis of literary sources showed that such questions had not been considered before. Therefore, the development of methods, algorithmic and software of automatic modules for controlling the movement of vessels in cases of imminent collision is an urgent scientific and technical task.

Formulation of the problem. In order to minimize the kinetic energy of the collision between the vessel and the target in the event that it is impossible to avoid this collision, it is necessary to develop a method, algorithm and software of the automatic control module of the automated system.

Research results. The own vessel O_1 moves on a course φ_1 with speed V_1 , the target vessel O_2 moves on a course φ_2 with speed V_2 . Vessels move on courses that intersect at a point O and are at a distance where collision cannot be avoided.

The idea of the method is to organize the fastest reduction of kinetic energy (4) along the gradient in the direction of the minimum value $K=0$ by calculating the relevant movement parameters V_1 , φ_1 and their subsequent implementation by means of the control system.

The kinetic energy gradient of the collision of two vessels is written in the form

$$\frac{dK}{dt} = \frac{\partial K}{\partial V_1} \frac{\partial V_1}{\partial t} + \frac{\partial K}{\partial \varphi_1} \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = \langle \mathbf{grad}K, \frac{d\mathbf{P}}{dt} \rangle, \quad (1)$$

For the fastest reset of the kinetic energy of the collision, it is necessary to minimize the function (1)

$$\langle \mathbf{grad}K, \frac{d\mathbf{P}}{dt} \rangle \rightarrow \min \quad (2)$$

The vector $\mathbf{grad}K$ indicates the direction of the fastest release of kinetic energy in the state space $V_1 - \varphi_1$, and a vector $\frac{d\mathbf{P}}{dt}$ indicates the real direction of change of movement parameters

and is determined by the mathematical model of the vessel-target system. The vector $\frac{d\mathbf{P}}{dt}$ depends on the control parameters Θ and δ , and the minimization of function (2) is achieved by proper selection of control parameters from the admissible domain.

$$|\Theta| \leq \frac{\pi}{2}, |\delta| \leq \delta^{\max} \quad (3)$$

Therefore, the problem is reduced to the optimization of the nonlinear objective function (2) with linear constraints (3). This problem can be solved using a nonlinear optimization procedure with a system of nonlinear and linear constraints, similar, for example, to the `fmincon` (*) MATLAB procedure

$$\text{fmincon}(@\text{fun}, \mathbf{x0}, \mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{Aeq}, \mathbf{beq}, \mathbf{lb}, \mathbf{ub}, @\text{nonlcon}) \quad (4)$$

Experiment. The workability and effectiveness of the method, algorithmic and software module of the automatic control of the vessels movement in case of an inevitable collision with the target was checked on the simulation bench [24-29], created by the authors on the basis of the Navi Trainer 5000 navigation simulator. At each step of the on-board computer of the Imitation Modeling Stand the parameters of the mutual approach of the vessel and target were evaluated, which were used to determine the optimal controls using the optimization procedure (4).

Conclusions. The issues of automatic control of the vessels movement in the event of an inevitable collision with the target in order to minimize damage are considered. It is proposed to reset the kinetic energy of the collision along the gradient. The kinetic energy gradient of the collision was determined as a function of the movement parameters - the speed of the own vessel and the difference between the courses of the vessel and the target. For the proposed method of resetting the kinetic energy of the collision along the gradient, algorithmic and software for the module of automatic control of the vessel's movement in the case of an imminent collision have been developed. The workability and efficiency of the method, algorithmic and software are checked on the Imitation Modeling Stand in the closed loop "control object - control system".

REFERENCES

1. Marino, M., Cavallaro, L., Castro, E., Musumeci, R.E., Martignoni, M., Roman, F., Foti, E. «New frontiers in the risk assessment of ship collision». *Ocean Engineering*, 2023, 274, issue № 113999.
2. Rongcai, Z., Hongwei, X., Kexin, Y. Autonomous collision avoidance system in a multi-ship environment based on proximal policy optimization method. *Ocean Engineering*, 2023, 272, issue № 113779.
3. Kyrychenko K.V., Zinchenko S.M., Nosov P. S. Minimizing damage in the event of imminent collision. *Proceedings of the I International scientific-practical conference «Current transport safety issues, in energy, infrastructure (STEI-2021)»*, 2021, pp. 234-238.
4. Kyrychenko K.V., Grosheva O.O., Tovstokoryi O.M., Mateichuk V.M., Moiseenko V.S., Mamenko P.P. Solving the problem of minimization damage in the event of imminent collision. *Materials of the Ith international scientific and practical conference «Problems of sustainable development of the marine industry (PSDMI-2021)»*, 2021, pp. 112-115.
5. S. Zinchenko, O. Tovstokoryi, P. Nosov, I. Popovych, K. Kyrychenko, «Pivot Point position determination and its use for manoeuvring a vessel,» *Ships and Offshore Structures*, 2023, Vol. 18, No. 3, pp. 358–364. doi: 10.1080/17445302.2022.2052480

6. 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>
7. 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 2017р., с. 230-235
7. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Грошева О.А. Синтез оптимального управления судном с граничными условиями // Науковий вісник ХДМА №1(18), с. 18-26, 2018. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/502/440>
8. 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>
9. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Шалаева А.А. 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 2017р., с. 236-240
10. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Грошева О.А. Оптимальное управление избыточными структурами азиподов // Матеріали V МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 13-15 вересня 2018р., с.78-81
11. Зинченко С.Н., Носов П.С., Грошева О.А., Маменко П.П., Матейчук В.Н. Управление судном в условиях внешних воздействий // Матеріали XI МНПК «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2019)», 28-30 травня 2019р., Херсон с. 177-178
12. 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
13. 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.10-14. DOI: 10.33815/2313-4763.2019.2.21.010-015. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/480/416>
15. Зинченко С.Н., Носов П.С., Маменко П.П., Грошева О.А., Матейчук В.Н. Использование математической модели ЧЭ гирокомпаса для учета инерционной девиации // Матеріали VI МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 11-14 вересня 2019, с. 203 – 206
16. Moiseenko V.S., Zinchenko S.M., captain 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>
17. 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.

18. 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, Kherson
19. Mamenko P.P., Zinchenko S.M., Nosov P.S., Popovych I.S. Solution of the Problem of optimizing route with using the risk criterion // Materials of the International Scientific Conference "Intellectual decision-making systems and problems of computational intelligence" (ICDMCI-2021), 24-28 May 2021, Jelezny Port.
20. 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>
21. Zinchenko S., Tovstokoryi O., Ben A., Nosov P., Popovych I., Nahrybelnyi Ya. Automatic optimal control of a vessel with redundant structure of executive devices // International Scientific Conference "Intellectual decision-making systems and problems of computational intelligence" (ICDMCI-2021), 24-28 May 2021, Jelezny Port.
22. 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", September 9-12, 2020, p. 149-152, Kherson
23. 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", September 9-12, 2020, p. 319-325, Kherson.
24. Zinchenko S., Moiseenko V. Increasing the accuracy and reliability of a dynamic positioning laser system // Materials of the VII International Scientific and Practical Conference "Life Safety in Transport and Production: Education, Science, Practice", September 9-12, 2020, p. 326-330, Kherson.
25. 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>
26. Zinchenko S.M., Nosov P.S., Popovych I.S. Control redundancy as a quantitative measure of maneuverability // Науковий вісник ХДМА, 2021. № 3(21). С. 23-35.
27. Зинченко С.Н., Гарболинская О.И., Шалаева А.А. Создание упрощенной математической модели судна для решения прикладных задач управления // Матеріали Х МНПК «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», Херсон, 29-31 травня 2018р., с.208-211
28. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г. Оптимальное управление судном при подходе к объекту швартови // Матеріали Х МНПК «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», Херсон, 29-31 травня 2018р., с.56-59
29. 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 2018р., с.27-29

МІНІМІЗАЦІЯ ВИТРАТ ПАЛИВА ПРИ ВИКОНАННІ ОПЕРАЦІЙ ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ

*Зінченко С.М., Кириченко К.В., Поліщук В.О., Корнелюк О.М.
Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Питання зменшення споживання енергії та палива на судні, а також супутні питання зменшення викидів та покращення навколишнього середовища є особливо актуальними на сьогодні [1]. Шляхи вирішення цих питань різні, але найчастіше для цього використовуються конструктивні рішення [2], гідродинамічні рішення [3], вітрила [4] або вдосконалені силові енергетичні установки. Оптимізація руху та економія палива також можлива завдяки правильному плануванню маршруту, психологічній підготовці екіпажу, використанню систем підтримки прийняття рішень, ергатичних [5] або автоматизованих систем з автоматичними модулями керування [13-27]. На думку авторів, найбільш перспективним напрямком на найближчі 10-15 років, до появи повністю роботизованих суден, є розробка та впровадження автоматизованих систем з автоматичними модулями керування. Функції людини в таких системах зводяться лише до запуску автоматичного модуля та спостереження за його роботою, що значно зменшує частку ручного керування судном, вплив людського чинника на процеси керування, сприяє зменшенню кількості аварій та катастроф [6]. Прикладом автоматичного модуля у автоматизованій системі, який використовується майже на всіх судах, є автопілот. На судах із системами динамічного позиціонування (DP-systems) модулі автоматичного керування також знайшли широке застосування. До складу DP-system входять надлишкові структури активного керування, які використовуються для резервування. У керівництві користувача [7] описані три сучасні системи динамічного позиціонування: Navis, Marine Technologies та Rolls Royce.

Оптимальні керування та надлишкові структури використовуються у різних галузях народного господарства, а саме: авіаційній [8], космічній [9], судновій [10] та інших [11, 12].

Актуальність дослідження. Із зазначеного вище видно, що надлишкові структури керування широко використовуються у різних галузях народного господарства. Разом з тим, авторами не знайдені відомі рішення для автоматизованих систем керування рухом суден, які дозволили б зменшити енергоспоживання за рахунок використання надлишковості керування. Тому, розробка методів, алгоритмічного і програмного забезпечення модулів автоматичного оптимального керування судном з надлишковими структурами виконавчих пристроїв є актуальною науково – технічною задачею.

Постановка задачі. На рис. 1 наведена схема надлишкового керування судном OSV3.

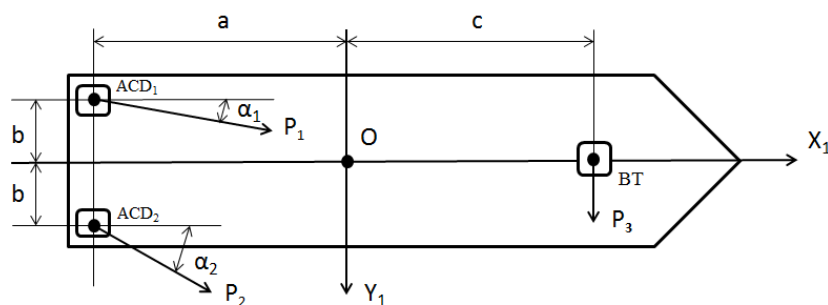


Рисунок 1 – Схема надлишкового керування судном OSV3

Надлишкова структура керування включає перший азимутальний пристрій ACD1, другий азимутальний пристрій ACD2, та носовий підрулюючий пристрій ВТ. Перший азимутальний пристрій ACD1 створює вектор сили упору гвинта $\mathbf{P}_1 = (P_1 \cos \alpha_1, P_1 \sin \alpha_1, 0)$ та має обмеження на керування $-P_{ACD}^{\max} \leq |\mathbf{P}_1| \leq P_{ACD}^{\max}, -\pi \leq |\alpha_1| \leq \pi$. Другий азимутальний пристрій ACD2 створює вектор сили упору гвинта $\mathbf{P}_2 = (P_2 \cos \alpha_2, P_2 \sin \alpha_2, 0)$ та має обмеження на керування $-P_{ACD}^{\max} \leq |\mathbf{P}_2| \leq P_{ACD}^{\max}, -\pi \leq |\alpha_2| \leq \pi$. Носовий підрулюючий пристрій ВТ створює бокову силу $\mathbf{P}_3 = (0, P_3, 0)$ та має обмеження на керування $-P_{BT}^{\max} \leq |\mathbf{P}_3| \leq P_{BT}^{\max}$.

Потрібно розробити метод, алгоритмічне та програмне забезпечення автоматичного модуля керування, які забезпечили б мінімізацію енерговитрат на підтримування заданої позиції судна при проведенні динамічного позиціонування.

Результати дослідження. Математична модель наведеної на рис. 1 структури має вигляд

$$\begin{cases} P_x = P_1 \cos \alpha_1 + P_2 \cos \alpha_2 \\ P_y = P_1 \sin \alpha_1 + P_2 \sin \alpha_2 + P_3 \\ M_z = P_1 b \cos \alpha_1 - P_2 b \cos \alpha_2 - P_1 a \sin \alpha_1 - P_2 a \sin \alpha_2 + P_3 c \end{cases}, \quad (1)$$

Цільова функція, що забезпечує мінімальні енерговитрати, має вигляд

$$Q(P_1, P_2, P_3) = P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

Обмеження на керування представлені системою (3)

$$\begin{cases} -P_{ACD}^{\max} \leq |\mathbf{P}_1| \leq P_{ACD}^{\max} \\ -\pi \leq |\alpha_1| \leq \pi \\ -P_{ACD}^{\max} \leq |\mathbf{P}_2| \leq P_{ACD}^{\max} \\ -\pi \leq |\alpha_2| \leq \pi \\ -P_{BT}^{\max} \leq |\mathbf{P}_3| \leq P_{BT}^{\max} \end{cases} \quad (3)$$

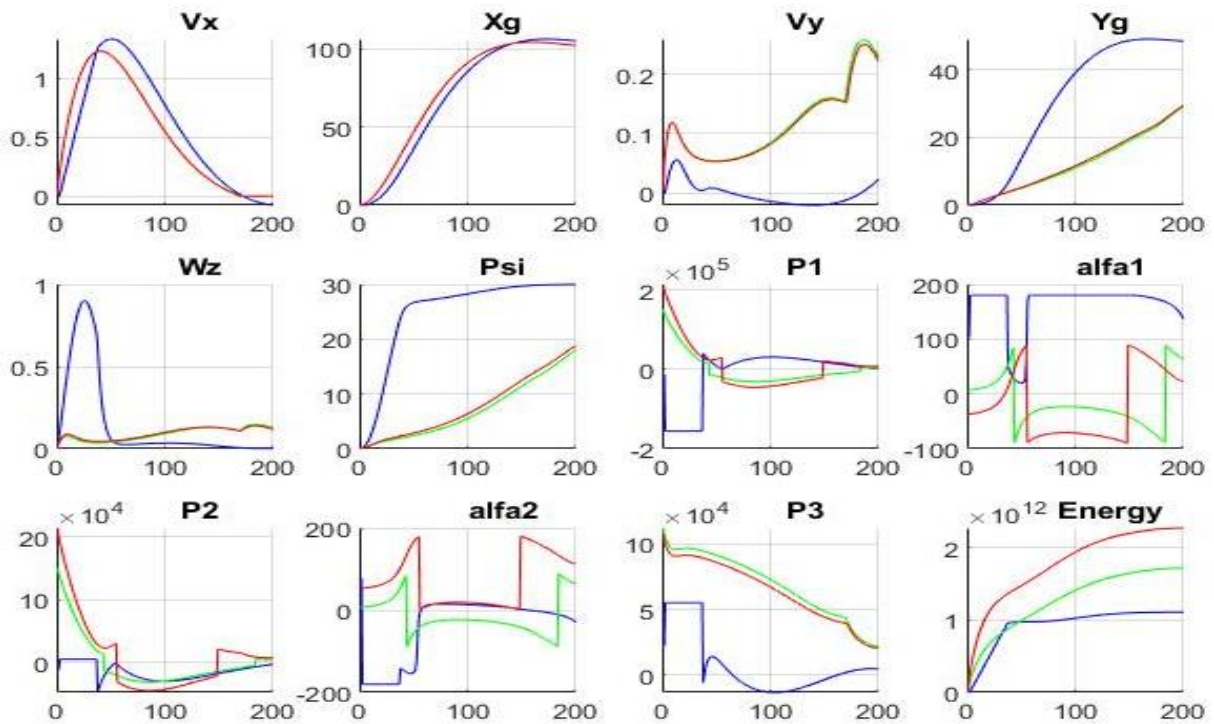
Для знаходження оптимальних параметрів керувань $P_1, \alpha_1, P_2, \alpha_2, P_3$, що мінімізують цільову функцію (2), за наявності нелінійних (1) та лінійних (3) обмежень, використана оптимізаційна процедура, подібна `fmincon` (*) MATLAB

$$\text{fmincon}(@\text{fun}, \mathbf{x0}, \mathbf{A}, \mathbf{b}, \mathbf{Aeq}, \mathbf{beq}, \mathbf{lb}, \mathbf{ub}, @\text{nonlcon}). \quad (4)$$

Сумарні сили P_x, P_y та момент M_z , що використовуються в обмеженнях (1), визначаються за допомогою ПДД – регулятора

$$\begin{cases} P_x = k_1(X_g - X_g^*) + k_2(V_x - V_x^*) + k_3 \int (X_g - X_g^*) dt \\ P_y = k_4(Y_g - Y_g^*) + k_5(V_y - V_y^*) + k_6 \int (Y_g - Y_g^*) dt \\ M_z = k_7(\varphi - \varphi^*) + k_8(\omega_z - \omega_z^*) + k_9 \int (\varphi - \varphi^*) dt \end{cases} \quad (5)$$

Оптимізаційна процедура (4) та визначення параметрів P_x, P_y, M_z , із використанням ПД – регулятора (5), виконується на кожному кроці обчислення.



Результати моделювання процесів динамічного позиціонування із цільовою функцією (2) наведені на рис.2 (сині графіки).

Рисунок 2 – Результати моделювання процесів динамічного позиціонування із цільовою функцією $Q(P_1, P_2, P_3) = P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 \rightarrow \min$

Для порівняння, червоним та зеленим кольором зображені графіки процесів двох не оптимальних схем керування: схеми рівновекторного керування та схеми рівномодульного керування з ортогональними векторами. На графіках Energy(t) представлені інтеграли цільової функції (2) у часі. Як видно із даного графіку, оптимальне керування (синій графік) дозволяє зменшити енерговитрати на (35-50)%, у порівнянні з неоптимальними схемами керування.

Висновки. Розроблено метод оптимального керування офшорним судном із надлишковою структурою двох кормових азиподів і носовим підрюлюючим пристроєм, на відміну від існуючих методів забезпечує мінімізацію енерговитрат на проведення операцій динамічного позиціонування;

розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення модулів автоматичного керування у автоматизованій системі, що використовують даний метод;

працездатність та ефективність методу, алгоритмічного і програмного забезпечення перевірені математичним моделюванням у середовищі MATLAB. Результати моделювання підтвердили зменшення енергоспоживання на (35-50)%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Vidoza J.A., Andreasen J. G., Haglind F., Reis M., Gallo W. Design and optimization of power hubs for Brazilian off-shore oil production units. Energy. 2019. Vol. 176 (1). P.656-666. DOI: 10.1016/j.energy.2019.04.022

2. Kai Li, Yanyun Yu, Yunlong Wang, Zhenwu Hu. Research on structural optimization method of FRP fishing vessel based on artificial bee colony algorithm. Advances in Engineering Software. 2018. Vol. 121. P. 250-261. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2018.03.011

3. Feng Y., Chen Z., Dai Yi, Wang F., Cai J., Shen Z. Multidisciplinary optimization of an offshore aquaculture vessel hull form based on the support vector regression surrogate model. *Ocean Engineering*. 2018. Vol.166. P.145-158. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2018.07.062
4. Ma Y., Bi H., Hu M., Zheng Y., Gan L. Hard sail optimization and energy efficiency enhancement for sail-assisted vessel, *Ocean Engineering*, 2019. Vol. 173 (1). P. 687-699. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.01.026
5. Nosov Pavlo, Zinchenko Serhii, Plokhikh Victor, Popovych Ihor, Prokopchuk Yurii, Makarchuk Dmytro, Mamenko Pavlo, Moiseienko Vladyslav, Ben Andrii. Development and experimental study of analyzer to enhance maritime safety. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021, Vol. 4, No. 3(112): Control processys, P. 27-35
6. Luo M., Shin S. Half-century research developments in maritime accidents: Future directions. *Accident Analysis & Prevention*, 2019, Vol. 123, P. 448-460. DOI: 10.1016/j.aap.2016.04.010
7. Navi – Trainer 5000. Transas offshore simulator. Instructor manual. Transas MIP Ltd. 2012.
8. Xin Bao, Chao Jiang. 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](https://doi.org/10.1007/978-981-19-6613-2_454)
9. Leparoux Clara, Herisse Bruno, Jean Frédéric. Structure of optimal control for planetary landing with control and state constraints. *ESAIM Control Optimisation and Calculus of Variations*, 2022, Vol. 28. DOI: 10.1051/cocv/2022065
10. Huang W., Xu H., Wang J., Miao C., Ren Y., Wang L. Redundancy Management for Fault-tolerant Control System of an Unmanned Underwater Vehicle. 5th International Conference on Automation, Control and Robotics Engineering (CACRE): Proceedings, China, 19-20 Sept. 2020. DOI: 10.1109/CACRE50138.2020.9230038
11. Xin Cheng, Shuai Deng, Baixin Cheng, Lu Meiqian, Rougang Zhou. Optimization of bias current coefficient in the fault-tolerance of active magnetic bearings based on the redundant structure parameters, *Automatika*, 2020, Vol. 61(4), P. 602-613. DOI: 10.1080/00051144.2020.1806012
12. Li W., Shi G. Redundancy management strategy for electro-hydraulic actuators based on intelligent algorithms. *Advances in Mechanical Engineering*. 2020. DOI: 10.1177/1687814020930455
13. 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>
14. 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 2017р., с.230-235
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. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Шалаева А.А. 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 2017р., с.236-240
17. 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>
18. 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

19. 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>

20. Зинченко С. Н., Ляшенко В. Г., Грошева О. А. Оптимальное управление избыточными структурами азиподов // Матеріали V МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 13-15 вересня 2018 р., с.78-81

21. 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>

22. Зинченко С.Н., Носов П.С., Маменко П.П., Грошева О.А., Матейчук В.Н. Использование математической модели ЧЭ гирокомпаса для учета инерционной девиации // Матеріали VI МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 11-14 вересня 2019, с. 203 – 206

23. Zinchenko Serhii, Tovstokoryi Oleh, Nosov Pavlo, Popovych Ihor & Kyrychenko Kostiantyn. Pivot Point position determination and its use for manoeuvring a vessel, Ships and Offshore Structures, 2022, DOI: 10.1080/17445302.2022.2052480

24. 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, Kherson.

25. 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>

26. Moiseenko V.S., Zinchenko S.M., captain 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>

27. 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

ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА РИЗИКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИ УПРАВЛІННІ ВОДНИМ ТРАНСПОРТОМ

¹Клевцов К.М., ¹Букетов А.В., ²Голотенко О.С.

¹Херсонська державна морська академія (Україна)

²Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)

Вступ. Сьогодні на морському транспорті інтенсивно розвиваються системи супутникової навігації, радіолокаційні та гідроакустичні системи, удосконалюються засоби порятунку людини на морі та ін. Однак, аварійність на морському флоті все ще залишається високою і суттєво не знижується. Тому безпека на транспорті є одним із пріоритетних завдань сьогодення. У процесі морських перевезень залучено, зазвичай, кілька видів транспорту, технологічних ліній, засобів механізації. Для виконання перевезень необхідно реалізувати багато видів діяльності, серед яких важливе значення має проектування транспортно-логістичних систем доставки вантажів. Водночас актуальним при розробленні транспортно-логістичних систем є опрацювання питань забезпечення безпеки.

Мета роботи – оцінити ризики виникнення надзвичайних ситуацій при управлінні водним транспортом

Результати досліджень. Аналіз аварій при експлуатації водного транспорту показує, що сценарій розвитку надзвичайних ситуацій може відрізнятись. Однак, загальні уявлення щодо сценарію розвитку надзвичайних ситуацій можна використовувати як загальну модель при розрахунку інтегральної оцінки ризику виникнення аварійних надзвичайних ситуацій у процесі морських вантажоперевезень.

Отримавши інформацію про ймовірність виникнення несприятливої події та дізнавшись про можливі наслідки ризикового випадку, фахівець може оцінити ризик. При цьому необхідно враховувати наступні компоненти, які впливають на ідентифікацію ризиків морських перевезень портами України: зовнішні та внутрішні умови перевезень, можливі небезпеки, події, які провокують небезпеки, надзвичайні ситуації, втрати та запобіжні заходи.

Важливим етапом застосування підходу щодо інтегральної оцінки ризиків надзвичайних ситуацій при морських перевезеннях є визначення вагових оцінок кожного виду аварії, яка може виникнути у випадку настання ризикової події, і визначення коефіцієнта аварійності. Для того, щоб визначити вагові оцінки, необхідно знати інформацію: загальна кількість суден, що знаходяться в експлуатації, загальна кількість аварій та кількість конкретних типів аварійних випадків за визначений період часу.

На прикладі морського транспорту здійснено розрахунок вагових оцінок аварійності. Статистичний аналіз за січень-вересень 2021 року показав, що відбулось 38 аварійних випадків із суднами на морському та річковому транспорті. У тому числі навігаційного характеру 18: посадка на мілину – 9; зіткнення – 7; втрата стійкості у штормових умовах – 2; техніко-експлуатаційного характеру – 20: пошкодження головного двигуна 11, гвинто-кормового комплексу – 9 [1].

Таким чином, вагова оцінка кожного типу аварії (k_v) визначатиметься як відношення кількості суден (n), що зазнали руйнівного впливу, до загальної кількості суден (N), що зазнали аварії [2]. Тоді вагові оцінки за типами аварій будуть наступні: k_v ризику посадки на мілину – 0,237; k_v ризику зіткнення – 0,026; k_v ризику втрати стійкості у штормових умовах – 0,053; k_v відмови головного двигуна – 0,55; k_v пошкодження гвинто-кормового комплексу – 0,15.

Одним з найважливіших моментів на даному етапі оцінки ризиків є визначення коефіцієнта аварійності, який розраховується, як відношення кількості аварійних випадків даного виду, що відбулися з суднами, до загальної кількості суден, що знаходяться в експлуатації [2]. Таким чином, були отримані такі значення коефіцієнтів ризику

аварійності ($k_{ав}$) для кожного типу аварії: посадка на міліну – 0,003; зіткнення – 0,0004; втрата стійкості в штормових умовах – 0,001; відмова головного двигуна – 0,004; пошкодження гвинто-кермового комплексу – 0,001. У сумі коефіцієнти ризику аварійності дають значення 0,0094, що відповідає ймовірності надзвичайних ситуацій (аварій) на морському транспорті.

Оцінка ризику є складовою управління безпекою і полягає в систематичному використанні всієї доступної інформації для ідентифікації небезпек і визначення ризику можливих небажаних подій.

Висновки. Методика оцінки ризиків у морській індустрії будується на основі використання загальної моделі сценарію розвитку аварійних ситуацій, теорії нечітких множин та експертних оцінок. При розрахунку оцінок ризику необхідно враховувати причинно-наслідкові зв'язки: «обставини/умови – причини – наслідки».

Запропонована методика оцінки ризиків охоплює як методи розрахунку імовірнісних оцінок ризиків у морських перевезеннях, так і розрахунки коефіцієнтів ризику, тобто – очікуваної величини завдання шкоди судну, вантажу, навколишньому середовищу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Державна служба статистики України / Україна у цифрах у 2021 році / статистичний збірник за редакцією О.Г. Осауленка / [Електронний ресурс] <http://www.ukrstat.gov.ua/> Держстат України, 1998-2021 / Дата останньої модифікації: 24/09/2021.
2. Топалов В.П. Риски в судоходстві / В.П. Топалов, В.Г. Торський. – Одеса: Астропринт, 2007. – 368 с.

ВИБІР ВАРІАНТІВ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОКОМОТИВІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ

*Крашенінін О.С., Шапатіна О.О., Мацегора Д.О., Лагерєва О.В.
Український державний університет залізничного транспорту (Україна)*

Вступ. Різноманітність серій локомотивів, що забезпечують різні вимоги господарської діяльності, не завжди є основою їх ефективної роботи. Особливо це стосується локомотивів, які закуповуються закордоном.

Як показав досвід їх експлуатації, вони не завжди пристосовані до реальних умов експлуатації, що склалися в нашій країні. Це насамперед інтенсивна їх експлуатація і не пристосованість ремонтної бази до проведення ТО, ПР рухомого складу [1].

З іншого боку, діапазон потужностей, наприклад, вантажних локомотивів, що були закуплені, не відповідає традиційним, які враховують як довжину складу, так і довжину приймально-відправних шляхів і т.д.

Актуальність досліджень. Нажаль є багато факторів, які зараз унеможливають навіть мінімальні потреби в оновленні як локомотивного парку, так і осучасненні експлуатаційної та ремонтної діяльності господарств залізниць.

В цих умовах чи не найголовнішою задачею є правильний, обґрунтований вибір характеристик локомотивів з урахуванням його технічного стану [2].

Врахування цих факторів обумовлює актуальність питань, що розглядаються.

Мета дослідження полягає в розробці методики вибору варіантів характеристик локомотивів з урахуванням досягнення їх оптимальної ефективності.

В такій постановці були сформульовані наступні етапи реалізації поставленої мети:

1. Вибрати множину оцінок, що характеризують ефективність прийнятого рішення.
2. Оцінити часні відносні показники неоднорідної природи, які характеризують властивості локомотива.
3. Використовуючи спеціальні алгоритми, визначити значення функції ефективності.

Результати досліджень. При виборі можливих варіантів сполучення характеристик локомотивів обиралася функція ефективності $W_e(x(e))$, яка упорядковує за призначенням будь-які векторні оцінки

$$x, y \in X : x \geq y \Rightarrow W_e(x) \geq W_e(y) \quad (1)$$

Задача вибору оптимальних характеристик локомотива зводиться до наступної оптимізаційної задачі:

$$u : \max_{u \in U} W_e(x(u)). \quad (2)$$

Але в більшості випадків можна використовувати адаптивну форму функцій ефективності

$$W_e(x) = \sum_{i=1}^m f_i(x_i), \quad (3)$$

де x_i – оцінка i -ої компоненти показника ефективності;

$f_i(x_i)$ – часна функція ефективності по i -й компоненті показника.

На підставі цих положень проведені процедури експертного оцінювання варіантів зміни діапазону характеристик локомотивів, які ілюстровані схемами зміни функції ефективності і розрахунком коефіцієнтів для коригування функцій ефективності [3].

Висновки.

1. Для визначення характеристик проектного локомотива необхідно обирати часні відносні характеристики, які можна звести в єдину безрозмірну шкалу. Показано, що основними часними характеристиками доцільно обирати дальність перевезень без доекіпірування, зчіпну масу та економічність локомотиву.

2. За даними експертних оцінок визначені середньо експлуатаційні характеристики і їх діапазон зміни, що надає можливість найбільш інформативно формувати структуру ефективності проектів.

3. За спеціальними алгоритмами на конкретних прикладах показана процедура вибору оптимальних характеристик локомотива, які забезпечують оптимальну ефективність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Калабухін Ю.Є., Білецький Ю.В. Теоретичні положення оцінки техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу протягом життєвого циклу. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2010. Ч. 2. №1(143). С. 75-80.

2. Тартаковський Е.Д., Уманець М.Г., Аулін Д.О. Визначення життєвого циклу тягового рухомого складу (ТРС). Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, 2006. №72. С.82-86.

3. Крашенінін О.С., Фалендиш А.П. Оцінка життєвого циклу локомотивів. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, 2001. Вип. 46. С. 55-58.

MODEL OF CONTROL WITH HIERARCHICAL FUZZY LOGIC INFERENCE

Lazariava N.M.

*Kharkiv National University of Radio Electronics
(Ukraine)*

Introduction. When technological objects control, process forecasting is carried out based on the analysis of the current state, the dynamics of changes, taking into account the conditions of the surrounding environment. The complexity of control objects limits the application of mathematical methods due to the incompleteness of knowledge and requires universal methods without the application of a process model with the ability of the system to learn, which can be applied to many problems.

Relevance of research. Dynamic objects have a much larger number of influencing factors that determine the state of the object and environment than can be available for measurement and consideration in the model. The modern approach to monitoring, interpreting, and forecasting the state of dynamic objects with incomplete certainty and limited opportunities for control is based on artificial intelligence methods. Fuzzy logic allows the system to cope with the uncertainty of events, since fuzzy models are able to estimate both the internal state of a dynamic object and unobservable influencing factors from a range of available data. Fuzzy models, through tuning, can change properties or structure by learning from inputs that characterize the state of the object and environment.

Formulation of the problem. The goal is to create an artificial system capable of sufficiently simulating human intellectual activity related to analysis, forecasting, decision-making based on the use of soft computing, and building a fuzzy neural network model that implements unknown mapping $y^{(k)} = f(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)})$ to control dynamic objects.

Research results. Raw information is not valuable in itself because it is often incomplete, ambiguous, contradictory, poorly sourced, or simply wrong. Real-time processing of input variables with analysis and evaluation in the context of current events is what transforms incomplete scattered pieces of information into the knowledge about the object and environment, and allows synthesizing a control signal with high reliability of obtaining an adequate value.

The general structure of the relevant subject area is described:

- a set X that formalizes objects with many parameters and heterogeneous environmental factors;
- a set Y for formalizing control signals for all possible typical situations that arise.

The application of fuzzy control allows modelling dependencies formulated in the form of a linguistic rule base in terms of control influences on a defined set of input variables. The task consists in determining the mapping $f : (x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \hat{y}$ using the rule base, where \hat{y} is the output signal of the fuzzy control system. Based on the data of the computer experiment [1], the Sugeno knowledge base with the rules of the species was built.

$$R^{(k)} : IF (x_1 IS A_1^k AND \dots x_N IS A_N^k) THEN y = f^{(k)}(x_1, \dots, x_N),$$

$$f^{(k)}(x_1, \dots, x_N) = c_0^k + c_1^k x_1 + \dots + c_N^k x_N$$

Multifactor dependencies of control objects are represented by a tuples of features $X^{(m)} = x_1^{(m)}, x_2^{(m)}, \dots, x_N^{(m)}$ in the N -dimensional space for each of the m -possible sets of input data and a specific value of the output signal $\hat{y}^{(m)}$ for the m -set of data. In the construction of applied systems based on the principles of fuzzy logic, it is important not only to achieve the maximum adequacy and accuracy of control implementation in the defined subject area, but also the compactness of the base of logical rules. To reduce the dimensionality of the input data space, it is appropriate to use a hierarchical fuzzy logical derivation of the output variable during

modelling. The information received at the input of the fuzzy system is granulated in accordance with the procedure [2], which makes it possible to detect a certain degree of correlation of the value of the output variable $\hat{y}^{(m)}$ with a certain information event described by the tuple of features at the input $X^{(m)} = x_1^{(m)}, x_2^{(m)}, \dots, x_N^{(m)}$.

Let's group the input parameters as follows:

- movement parameters;
- path parameters;
- parameters of the surrounding environment, etc.

From the initial data, a fragment of which is shown in Table 1, the first level of the hierarchical system is formed.

Table 1 – Tuples of features of arbitrary sets of input data

	x_i	i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
X1	x_1	Vi	1,4	1,2	1,4	1,3	1,4	1,4	1,2	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4
	x_2	Vw	22	162	180	252	500	480	82	280	210	612	282	825	22	936
X2	x_3	Nv	1	2	8	7	20	4	1	8	7	12	3	15	1	18
	x_4	No	4	8	32	40	80	28	8	32	28	48	12	60	4	80
X3	x_5	T	-5	-25	35	-5	15	-15	-20	30	-2	18	-1	-10	-5	8
	x_6	B	70	180	90	45	30	-30	130	110	125	60	0	150	70	45
	x_7	Vv	2	2,7	3,5	0,8	4	7	2,7	3,5	0,5	10	5	2,3	2	8

We will determine the elements of a hierarchical fuzzy system and the relationship between them, synthesizing the sequential algorithms of local modules and the procedure for combining the output signals of individual modules to obtain the optimal output signal of the fuzzy control system.

By implementing a hierarchical fuzzy logical derivation to the input variables characterizing the current state of the control object and the environment, the influencing factors (x_1, x_2, \dots, x_n) are grouped into generalized criteria X_i . The granulation of the input parameters is conveniently to perform on the basis of the Mamdani method [3], which is a well-known system of fuzzy inference with a well-interpreted base of rules that have the form

$$R^{(k)} : IF x_1 IS A_1^{(k)} AND x_2 IS A_2^{(k)} AND \dots x_N IS A_N^{(k)} THEN y_j IS B_j^{(k)} ;$$

When applying the T-norm in the right part of the rules, which is implemented by the logical or arithmetic product operator

$$\mu_A(x) = \min(\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2), \dots, \mu_{A_N}(x_N)) ;$$

$$\mu_A(x) = \prod_{i=1}^N \mu_{A_i}(x_i)$$

Implementation of the hierarchical structure of the fuzzy logical derivation, which models the dependence, according to the data in the table 1 occurs at two levels using 3 subsystems [4]:

$$q_1 = f_1(x_1, x_2) ;$$

$$q_2 = f_2(x_3, x_4) ;$$

$$q_3 = f_3(x_5, x_6, x_7) .$$

Then, data in the form of fuzzy sets $X \subseteq \mathfrak{R}$, $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$, where n is the number of generalized criteria are received at the input of the decision making block. The membership functions of the intermediate values of the first hierarchical level of the fuzzy module, which performs dimensionality reduction of the input data according to the Mamdani algorithm, will be mathematically written

$$\mu_{B_j}(y_j) = \max(\min(\mu_B(y), \min(\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2) \dots \mu_{A_N}(x_N)))) .$$

Figure 1 shows the response surfaces of the generalized criteria for 3 subsystems, constructed according to the data in the Table 1.

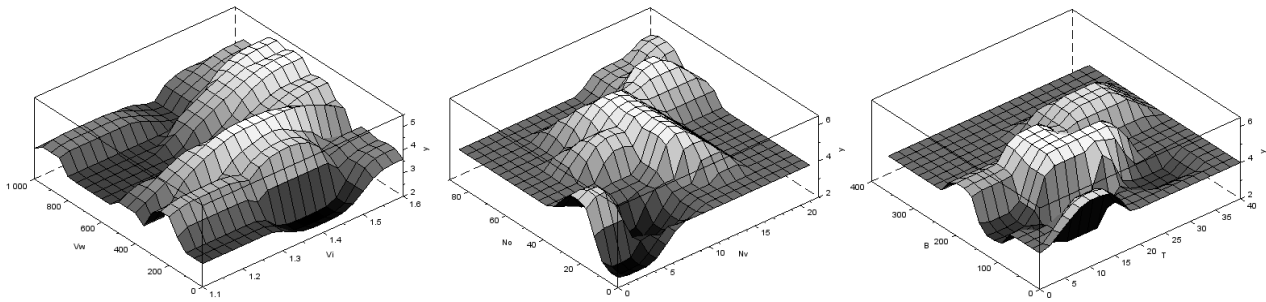


Figure 1 – Response surfaces of generalized criteria

Taking into account that the mapping $f : (x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \hat{y}$ will be implemented by the Sugeno knowledge base, it is necessary to match the outputs of the intermediate hierarchical level with the input of the next level. The defuzzification operation determines a clear point value of the output variables that are applied to the input of the Sugeno model at the current value of the input vector.

The Sugeno knowledge base with multidimensional fuzzy inference [5] has a compact size of the rule base and lower computational complexity due to the reduction of the number of implications and simplification of reasoning. Denoting the influencing factors with a n -dimensional vector $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, and the necessary controlling influence $Y = (y_1, y_2, \dots, y_k)$, the control model will represent a classifier - assigning an object with certain parameters to one of the classes. This is a mapping $X_i \rightarrow y_j, j = 1, 2, \dots, q$ that can be described by Sugeno fuzzy knowledge base in the form of fuzzy rules, as a generalized model for representing knowledge about the subject area

$$R^{(k)} : IF (X_1 IS A_1^k AND \dots X_N IS A_N^k) THEN y = f^{(k)}(x_1, \dots, x_N).$$

The control signal at the output of the hierarchical fuzzy system will be determined by a normalized weighted sum

$$\hat{y} = \frac{\sum_{j=1}^k w_j \cdot y_j}{\sum_{j=1}^k w_j} = \frac{\sum_{j=1}^k w_j \cdot \left(c_0^k + \sum_{i=1}^N c_N^k x_N \right)}{\sum_{j=1}^k w_j}.$$

The output signal reflects the current situations derived from information granules of input events using a base of fuzzy rules, the parameters of which are adapted using a neuro-fuzzy approach when implementing the system.

Conclusion. The model has a hierarchical structure, which is an effective way to overcome the «curse of dimensionality» problem caused by the large number of input parameters and the increase in the number of database rules. The constructed fuzzy model consists of fuzzy models of smaller dimensions, the outputs of which are the inputs of the model of the next level.

The methodology allows to combine the measured parameters of the control object and the environment as input data, as well as expert assessments. Preliminary fuzzy classification according to the Mamdani method allows you to granulate the data to take into account a greater number of influencing factors when assessing the situation to improve control accuracy.

REFERENCES

1. Lazarijeva N.M., Lazarijev O.V. Creating of a rule base according to numerical data for the fuzzy control system of retarders. X Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти та молодих вчених з автоматичного управління (12 квітня 2023 р). – Херсон-Хмельницький: ХНТУ, 2023 – с. 78-81.

2. Лазарева Н.М. Інтерпретація поточних ситуацій на основі грануляції вхідної інформації нейро-нечіткої системи керування. Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті» (АКІТ-2017) (16-17 листопада 2017 р.) м. Кропивницький – с. 14.

3. Mamdani E.H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. IEEE Transactions on Computers, vol. C-26, no. 12, pp. 1182-1191, Dec. 1977, doi: 10.1109/TC.1977.1674779.

4. Lazarijeva N. Modeling of multi-factory dependences in complex control systems by Sugeno fuzzy knowledge base. ISSN 2710 – 1673 Artificial Intelligence 2023 № 1. <https://doi.org/10.15407/jai2023.01.138>

5. Takagi T, Sugeno M., Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. SMC-15, no. 1, pp. 116-132, Jan.-Feb. 1985. <http://dx.doi.org/10.1109/TSMC.1985.6313399>

СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЗА КІЛЬКІСТЮ МЕТАЛЕВИХ ДОМІШОК У ЦИЛІНДРОВОМУ МАСЛІ

Левківська О. О., Врублевський Н. Р.

Відокремлений структурний підрозділ «Морський фаховий коледж Херсонської державної морської академії» (Україна)

Вступ. Абразивне зношування деталей циліндро-поршневої групи відбувається внаслідок дії частинок мінерального походження, що надходять у двигун разом із повітрям та паливом. Пил, що потрапляє в двигун через впускний тракт приводить до максимального зносу у верхній частині гільзи. Це обумовлено великою концентрацією пилу у верхній частині деталі та сильним подрібнюванням абразивних частинок між кільцями та стінкою циліндрів. Тому циліндро-поршнева група дизелів відноситься до об'єктів постійного контролю технічного стану. У сучасних умовах експлуатації суднових дизелів виконання частих візуальних інспекцій циліндрових втулок не завжди є можливим. Насамперед, це пов'язано з періодом безперервної роботи головних двигунів морських суден (наприклад, тривалість океанських переходів може досягати 20...30 діб), а також із великими витратами праці на їх виконання. Тож для діагностування технічного стану циліндрової групи застосовуються непрямі методи. Найпоширенішим і доступнішим для умов морського судна є визначення кількості металевих домішок у маслі, взятій із підпоршневого простору дизеля. Для цієї мети використовуються суднові лабораторії. Це займає багато часу, та унеможливує своєчасне реагування на збільшення кількості металевих домішок. Тому актуальна задача сьогодення – це розробка систем прямого контролю за вмістом металевих домішок у циліндровому маслі [1].

Основна частина. Для запобігання абразивному зношуванню деталей циліндро-поршневої групи, авторами була розроблена система контролю прямої дії. У цій системі для вирішення завдання прямого контролю було запропоновано ряд технічних та програмних засобів, які дозволяють здійснити контроль у реальному часі технічного стану деталей циліндрової групи.

Запропонована система контролю кількості металевих домішок у циліндровому маслі складається з комп'ютера на якому встановлено програмне забезпечення та індуктивних датчиків, які розташовані в підпоршневих просторах суднового дизеля (рис. 1).

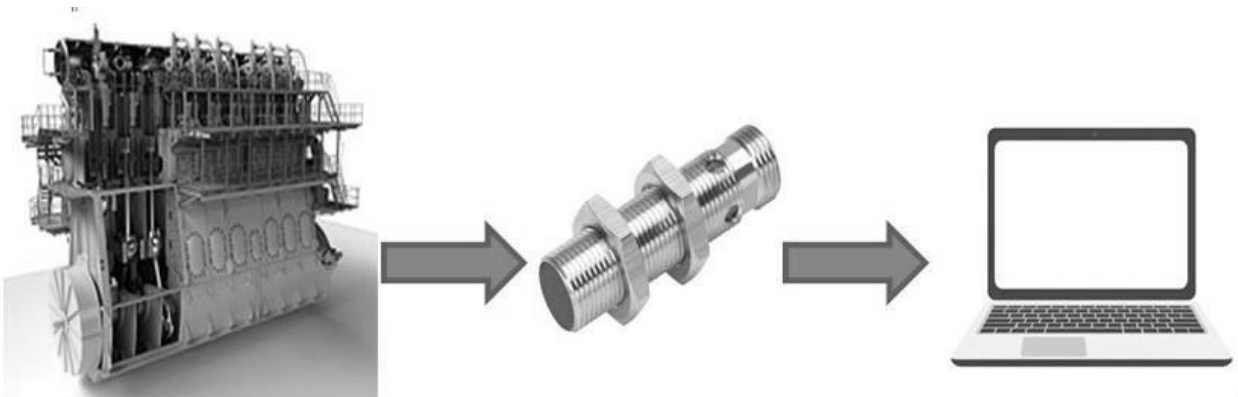


Рисунок 1 – Система контролю за кількістю металевих домішок у циліндровому маслі.

Індуктивні датчики дозволяють виявляти присутність металевих домішок у циліндровому маслі без необхідності торкатися його. На відміну від інших датчиків, такі прилади можуть виявити тільки метали та нечутливі до інших матеріалів, що підвищує їхню захищеність від перешкод. Навіть якщо в зону чутливості датчика потрапить

сторонній предмет, хибне спрацьовування буде виключено. У системі використовуються диференціальні індуктивні датчики – із двома магнітопроводами ш-подібної форми, що взаємно компенсує вплив на сердечник, що підвищує чутливість і точність вимірювань. По суті, є системою двох одинарних датчиків, із загальним якорем [2].

Принцип дії індуктивних датчиків ґрунтується на зміні параметрів магнітного поля котушки індуктивності, у зону якої потрапляє металевий об'єкт. Схема коливань усередині приладу генерує електромагнітне поле. Так як на ній виникають індуквані струми, коливання зменшується, що миттєво зчитує датчик (рис. 2).

Основні характеристики індуктивних датчиків:

- застосовуємо лише до металевих об'єктів;
- досить невелика відстань до об'єкта: до 80 мм;
- відносно низька ціна;
- тривалий термін служби;
- стійкість до несприятливих умов середовища;
- висока швидкість виміру.

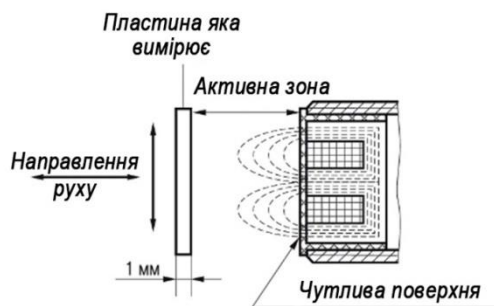


Рисунок 2 – Принцип дії індуктивного датчику.

Система працює наступним чином: сигнал від датчиків передається на комп'ютер, який обробляє його за наступною схемою (рис. 3) та на екрані відображає судномеханіку кількість металевих домішок у циліндровому маслі на даний момент часу. Якщо кількість металевих домішок переважає максимально допустимий вміст, система сигналізує судномеханіку. Датчики розташовані в підпоршневих просторах судового дизеля під кожним циліндром. Це дозволяє отримати вміст металевих домішок безпосередньо під кожним циліндром та дозволить судномеханіку завчасно відреагувати [3].

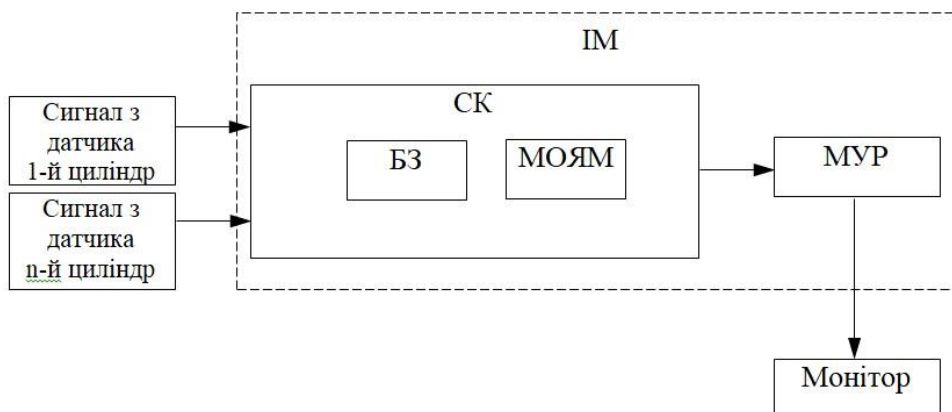


Рисунок 3 – Схема оброблення сигналу від датчиків системою контролю за кількістю металевих домішок у циліндровому маслі.

Принцип дії схеми оброблення сигналу від датчиків системою контролю за кількістю металевих домішок у циліндровому маслі:

- сигнал від датчиків поступає в інтелектуальний модуль (ІМ). ІМ – це пристрій, який на основі інформації про вхідні сигнали формує сигнал який визначає вид

синтезованого закону управління процесом контролю і при цьому несе інформацію, що відображається на моніторі. ІМ складається з системи контролю (СК), що включає базу знань (БЗ) та модуль оцінки якості масла (МОЯМ), де сигнал оцінюється та зрівнюється з максимально допустимими параметрами вмісту металевих часток;

– на основі отриманих даних СК модуль ухвалення рішення (МУР) виводить на монітор числову кількість вмісту металевих домішок, та сигналізує якщо він перевищує допустиме значення.

Висновок: авторами було вирішене завдання контролю за абразивним зношуванням деталей циліндро-поршневої групи. Кількість металевих домішок у циліндровому маслі залежить від інтенсивності абразивного зношування деталей циліндро-поршневої групи. Завдяки контролю вмісту металевих домішок у циліндровому маслі, можливо регулювати зношування деталей циліндро-поршневої групи. Контроль вмісту металевих домішок у реальному часі дозволить завчасно запобігти абразивному зношуванню деталей циліндро-поршневої групи. Тому використання даної системи контролю за кількістю металевих домішок у циліндровому маслі дозволить судномеханіку в реальному часі отримати результати вмісту металевих часток. Це допоможе йому завчасно відреагувати та не допустити зносу деталей циліндро-поршневої групи дизелів. Що в свою чергу призведе до збільшення терміну роботи суднового дизеля, та зменшення затрат на його ремонт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гранично допустимі знос і методи вимірювання зносу деталей навантажувальних машин. <https://budtehnika.pp.ua/9576-granichno-dopustim-znos-metodi-vimryuvannya-znosu-detaley-navantazhuvalnih-mashin.html> (Дата звернення 12.05.2023)
2. Індуктивні датчики: види і принцип роботи. <https://kipia.ru/articles/datchiki-induktivnye/> (Дата звернення 12.05.2023)
3. Система автоматичного керування режимами різання на основі нечіткої логіки [http://www.ugatu.ac.ru/publish/vu/stat/ugatu-2010-1\(37\)/26.pdf](http://www.ugatu.ac.ru/publish/vu/stat/ugatu-2010-1(37)/26.pdf). (Дата звернення 12.05.2023)

ОЦІНКА ТА КОРЕКЦІЯ ОПЕРАТИВНОГО СТАНУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ КЕРУВАННЯ МОРСЬКИМ СУДНОМ

Передерій В.І.¹, Борчик Є.Ю.²

¹*Херсонський національний технічний університет (Україна)*

²*Миколаївський національний аграрний університет (Україна)*

Вступ. На сьогодні незважаючи на досить високий рівень систем і засобів зв'язку, що використовуються в судноплаванні для безпеки судноводіння, як показують статистичні дані морської практики, якщо допускається викривлення або витік понад 20% отриманої на судно інформації, то в 60 випадках зі 100 це призводить до аварійних подій і випадків, арештів суден, морського розбою (піратства та терористичних актів) [1].

Для вирішення цих проблем Комітетом з безпеки на морі ІМО в червні 2017 року прийнята Резолюція MSC.428 (98) - управління морськими кіберризиками в системах управління безпекою, яка закликає адміністрації забезпечити належний облік кіберризиків в існуючих системах управління безпекою. З 1 січня 2021 р. морські адміністрації ряду країн почали перевірки суден які заходять в їх порти на предмет виконання рекомендацій ІМО з кібербезпеки.

Для забезпечення інформаційної і кібернетичної безпеки на судні постійно проводяться дослідження і розробка нових інформаційних технологій з використанням штучного та гібридного інтелекту.

Згідно результатів досліджень найбільш вразливими на судні є бортові системи які можуть включати: системи управління вантажами; мостові системи (системи капітанського містка); системи управління рухом і механізмами, а також системи управління потужністю; системи контролю доступу; системи обслуговування пасажирів і управління; мережі загального користування, для обслуговування пасажирів; адміністративні системи і системи соціального забезпечення екіпажу. Ці системи слід розглядати як неконтрольовані, і їх не слід підключати до будь-якої бортової системи, критичною для безпеки; комунікаційні системи - доступність підключення до Інтернету через супутник і / або іншу бездротовий зв'язок може підвищити вразливість суден.

У наукових роботах [2-4] запропоновані методи які дають можливість визначати сумарний ризик кібербезпеки об'єктів критичної інфраструктури, сумарні збитки в результаті дії множини кіберзагроз, сумарну величину збитків в результаті дії кіберзагрози за певний період часу, ймовірність виникнення максимальних втрат в результаті дії кіберзагроз. Зазначено також, що процес визначення та оцінки ризику від помилкових прийнятих рішень під впливом кіберзагроз, є основою та підґрунтям для наукових досліджень в області аналізу та удосконалення наявних, а також винаходу нових методів оцінки ризику, підвищення точності його оцінки, здійснення над ризиками математичних операцій.

У наукових дослідженнях [5,6] розглянуті питання створення інформаційної технології визначення, оцінки і корекції функціональної стійкості особи, що приймає рішення (ОПР) для процесу прийняття релевантних рішень у складних людино-машинних системах критичного призначення. Виділені основні найбільш негативно вразливі фактори на функціональну стійкість системи в критичних ситуаціях.

Враховуючи результати наукових досліджень з контролю та оперативного прийняття рішень з ліквідації загроз інформаційної і кібернетичної безпеки та функціональної стійкості в цілому, при керуванні морським судном, пропонується наступна інформаційна модель (рис.1).

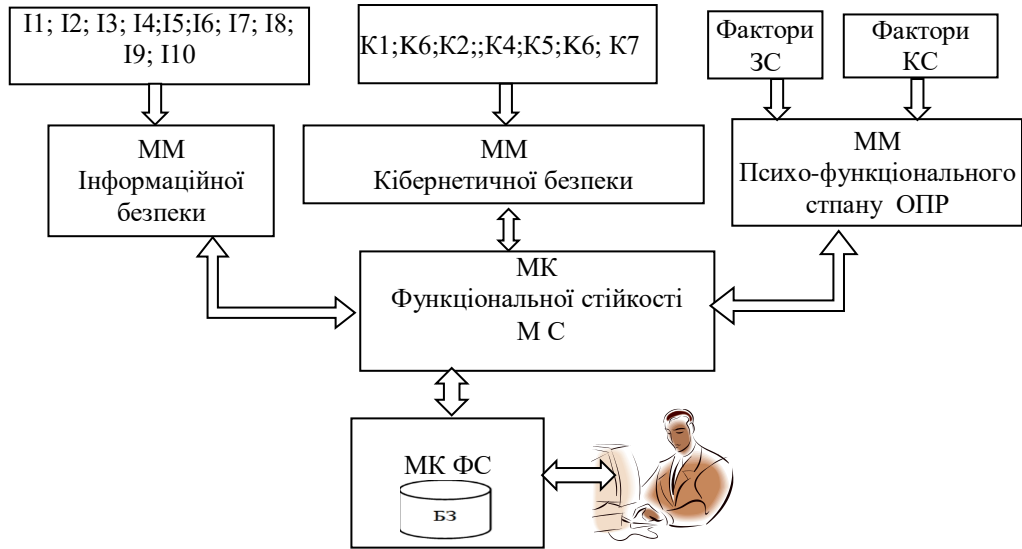


Рисунок 1 - Інформаційна модель оцінки та корекції оперативного стану функціональної стійкості керування морським судном.

Інформаційна безпека (Informational security) - це стан захищеності систем обробки і зберігання даних, яка контролюється та корегується модулем моніторингу (ММ) інформаційної безпеки відповідних вузлів: I1 - цілісність даних; I2 - доступність даних; I3 - конфіденційність даних; I4 - узгодженість даних; I5 - посилальна цінність; I6 - відмови апаратного забезпечення; I7 - відмови програмного забезпечення; I8 - некоректні дії користувачів; I9 - вплив дій адміністраторів; I10 - енергетичні відмови.

Кібернетична безпека (Cyber security) - це запобігання доступу хакерів до систем та інформації, що потенційно призводить до втрати конфіденційності та/або контролю. Контроль та корегування кібернетичної безпеки забезпечується модулем моніторингу (ММ) кібернетичної безпеки відповідних вузлів: K1 - попередньої підстановки в запити даних і перевірка на SQL - ін'єкції; K6 - зовнішній вплив; K2 - перевірки системи на віруси; K3 - перевірки входу користувача з правами адміністратора; K4 - доступності даних і ресурсів; K5 - перевірки інформації на присутність підміни даних; K6 - захищеність даних; K7 - перевірки даних на цілісність (використовуючи хеш).

Згідно інформаційної моделі для оцінки оперативного стану функціональної стійкості керування морським судном розроблена байєсова мережа довіри (БМД) (рис. 2).

БМД це імовірнісна графічна модель, що є набором випадкових величин та їх умовних ймовірностей за допомогою ациклічного орієнтованого графа.

Для будь-якої множини випадкових величин (вершин) A_1, A_2, \dots, A_n БМД ймовірність спільного розподілу обчислюється за умовними ймовірностями за ланцюговим правилом наступним чином:

$$P(A_1, \dots, A_n) = \prod_{i=1}^n P(A_i | Parents(A_i)), \quad (1)$$

де $Parents(A_i)$ - змінні - предки змінної A_i .

Для обчислення ймовірності того, що змінна B набуває значення b_j на БМД, що складається з вершин B, A_1, \dots, A_n використовується формула:

$$P(B = b_j) = \sum_{A_1, \dots, A_n} P(B = b_j, A_1, A_2, \dots, A_n) \quad (2)$$

де підсумовування здійснюється за всіма значеннями змінних A_1, A_2, \dots, A_n .

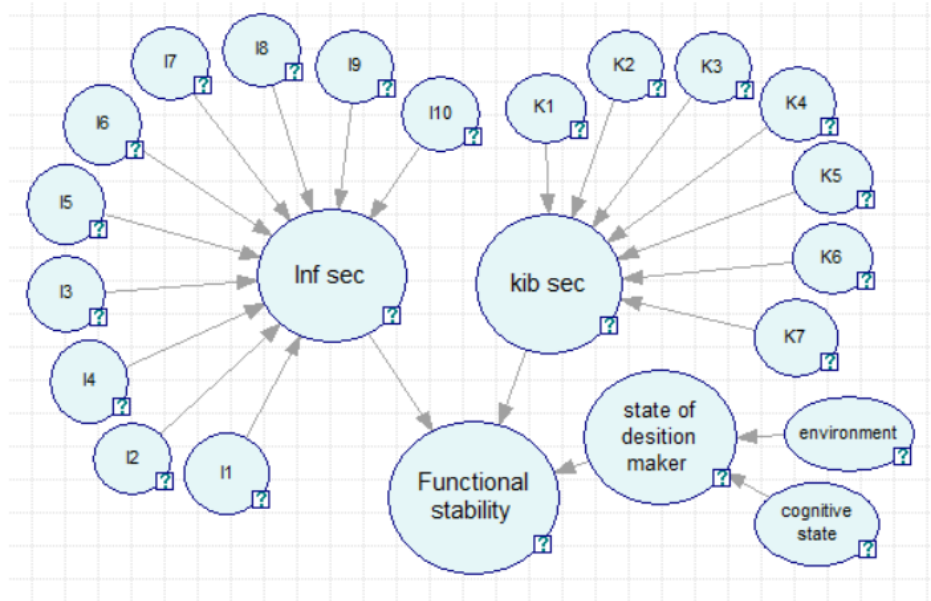


Рисунок 2 - Байєсова мережа довіри оцінки функціонального стану керування морським судном.

Цих формул достатньо для реалізації прямого виведення на БМД, тобто. визначення ймовірності значень вершини – листка за відомими ймовірностями значень вхідних (кореневих) вершин та умовними ймовірностями значень інших вершин БМД.

Вважається, що змінні мережі – бінарні, тобто мають два стани. Наприклад, змінні "Inf sec", "kib sec", "state of desition maker", "environment", "cognitive state" та "Functional stability" приймають значення: "positive" і "negative".

Безумовні та умовні ймовірності кореневих вершин та всіх інших вершин БМД оцінюють експерти - фахівці. Слід зазначити, що для простоти визначення експертами умовних ймовірностей вважається [6], що умовна ймовірність у якійсь вершині залежить від значень батьківських вершин окремо, а не від спільного розподілу значень цих вершин. Це спрощення призводить до того, що в даній роботі при обчисленні за допомогою системи Genie 2.0 використовуються тип "Noisy MAX" (зашумлений) для вершин, які мають батьків.

Висновки. Згідно запропонованої інформаційної моделі розроблена БМД яка дозволяє по вхідним даним (ймовірності станів безумовних вершин) розраховувати ймовірність знаходження функціонального стану керування морським судном.

Крім того, по розрахованим значенням ймовірностей станів " Inf sec", " kib sec", " state of desition maker " можна робити висновок про те який з перерахованих вище факторів (вершин) впливу на функціональну стійкість потребує корегування в першу чергу.

Запропонований підхід дозволить здійснювати контроль та оперативне прийняття рішень з ліквідації загроз інформаційної і кібернетичної безпеки та функціональної стійкості в цілому, при керуванні морським судном у реальному часі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Crowch T. Navigating the Human Element. / T. Crowch. MLB Publishing, Kent. UK, 2013, 223p.
2. Terje Aven. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*. 2016. V. 253. № 1. P. 1–13.

3. Jain P., Pasman H. J., Waldram S., Pistikopoulos E. N., Mannan M. S. Process Resilience Analysis Framework (PRAF): A systems approach for improved risk and safety management. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2018. V. 53. P. 61–73.

4. Mokhor V., Bakalynskiy O., Bohdanov O., Tsurkan V. Interpretation of the simple risk level dependence of its implementation in the terms of analytic geometry. *Information technology and security*. 2017. V. 5. № 1. P. 71–82.

5. Viktor Perederyi, Eugene Borchik, Oksana Ohnieva Information Technology of Control and Support for Functional Sustainability of Distributed Man-Machine Systems of Critical Application (2019) Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. Proceedings of the XV International Scientific Conference “Intellectual Systems of Decision Making and Problems of Computational Intelligence” (ISDMCI'2019), Ukraine, May 21–25, 2019. Pages 461-477 https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-26474-1_33 (https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1_33)]

6. Perederyi V., Borchik E. Information technology for determination, assessment and correction of functional sustainability of the human-operator for the relevant decision-making in human-machine critical application systems. Theoretical and practical aspects of the development of modern science: the experience of countries of Europe and prospects for Ukraine: monograph. Riga, Latvia: “Baltija Publishing”, 2019. – Pp. 490-509.

BIO-HOLONIC APPROACH TO THE CREATION OF NATURALLY RELIABLE AND SAFE TRANSPORTATION SYSTEMS

¹Prokopchuk Y., ²Nosov P., ²Zinchenko S., ²Ben A.

¹Institute of Technical Mechanics of NASU (Ukraine)

²Kherson State Maritime Academy (Ukraine)

Introduction and problem setting. The heightened intelligence, augmented reality, symbiotic nature, increased fault tolerance, and flexibility claimed by next-generation transportation and production systems entail profound modifications to the core of management systems [1 - 11]. The hyper-connectivity and new data management capabilities targeted by the "smart fleet" paradigm (Smart Fleet Management System Using IoT, Computer Vision, Cloud Computing, and Machine Learning Technologies) allow for the creation of more flexible and responsive management systems based on the collaboration of autonomous and connected smart objects in decision-making processes. Over the past 20 years, the integration of holonic, symbiotic, augmented reality, and bio-inspired paradigms has become the driving force behind these evolutions. Examples include the marine "Smart Fleet" concept using IBM Watson IoT tools; Airbus announced its intention to implement Watson IoT technologies in its aircraft and operations; Airbus and IBM have also implemented several successful smart projects in space; IBM and the U.S. Army: Army Priority #1 - Readiness (Predictive Maintenance for Stryker Fleet).

Characteristics of the bio-inspired approach [5, 6]: emergence, nonlinearity, self-organization, enactivism, and universality; Emerging Self-Integration; Over-connectivity abilities; Dynamic architectures Self-Improving System Integration; continuous self-improvement and autopoiesis, embodied self-modeling/reflection, total (embodied) prediction and auditing of all information flows (deep intuition), total diversification of communication and control mechanisms, morphological intelligence, multi-scalability, operational closure, self-organization, criticality, stochasticity, energy efficiency, and symbiosis (delegation of authority; outsourcing).

A significant influence on the development of multi-agent and holonic systems was the book by British publicist Arthur Koestler, 'Ghost in the Machine' (1967), which describes subsystems incorporated within a larger system, with the subsystem being named "holon" from the Greek word "holos," meaning "whole," and the suffix "-on," signifying "part." Holonomic is a dynamic encapsulation of the holonic view that originates from the word "holon" and designates a holarchical rather than a hierarchical, dynamic brain organization to encompass multiscale effects (Maximum Holon in the Holarchy [5]). Characteristics of the holonic approach in the industry [4, 5]: Dynamic architectures: Self-Configuration, Self-Optimizing Control, Reactivity, Adaptability, Cooperation, Openness, Autonomy; Digital-Twin based Architectures: towards virtualization. Energy efficiency can be defined as a goal for a holon. Human-Machine Interfaces are a core component of the holon.

Holarchies play a crucial role in the Paradigm of limiting generalizations (LGP) [5], for instance, sketch networks of various types represent holarchies. LGP serves as a methodological foundation for constructing bio-holonic control systems (Bio-Inspired Holonic Approach).

The present study aims to emphasize the conceptual evolutions in applying the bio-holonic approach in the management architecture of (marine) transportation systems (Holonic control architectures), ensuring enhanced collective situational awareness, and highlighting current research trends in this field. Situational awareness refers to an accurate understanding of what is happening around and what may occur based on information from all available sources in a mixed-reality environment (Visualization of Ships in a Mixed-Reality Environment and Automated Situational Awareness) [1, 2]. In practice (within the framework of LGP), this means the automatic resolution of the "continuum of tasks" in any situation (Self-Aware Computing Systems) [5, 6].

Main research material. According to Gartner (2019), the future lies in "Autonomous Things" capable of making decisions and communicating with each other to coordinate decisions. From a biological perspective, this is reflected, for example, in Jeff Hawkins' concept of "A Thousand Brains" and in the LGP. This view allows for a departure from Turing's architecture of computing systems and even (in general) from neuromorphic architecture. A future-oriented solution is the "Thinking Swarm of Cognitive Agents" (Smart-Everything Paradigm: Ambient Intelligence) combined with the "Global Mind" - a knowledge repository of civilization (prototypes - IBM Watson, GPT-4) - and the Metaverse (Avatars for Everyone: Avatar Migration in Vehicular Metaverses; Physical-Virtual Synchronization in the Vehicular Metaverse [2]). Augmented reality with "digital twins" and swarm intelligence enable the complete elimination of any interference in situation perception [1] (for example, turning a "rainy/snowy night" into a virtual "clear day"), which is especially relevant in automotive transport.

The bio-holonic approach implies the development of "intellectual mathematics" and "physics of the Mind" [5]. In this regard, an interesting approach called "Rulial Space" is being developed by Stephen Wolfram in his work [12]. It posits that both metamathematics and the corresponding physics arise as a result of a unique rulial structure, which corresponds to the entangled limit of all possible computations (The Concept of the Ruliad). The Ruliad can be defined as the entangled limit of everything that is possible computationally, i.e., the result of following all possible computational rules in all possible ways. In the context of a rulial multi-move system, the Ruliad tracks the entangled consequences of the gradual application of all possible computational rules. At each step, the rules are applied in all possible ways to each state. This process often generates multiple new states, leading to branching in the graph, but it can also involve merging multiple states transformed into the same state. A similar approach was embodied in the Paradigm of limiting generalizations, particularly in the basic concept of "sketch networks." Let us provide an example of its implementation in the test configurator [5, 6].

It is assumed that any state of a bio-holonic system or process can be described using a multitude of elementary tests $\{\tau\}$ (analogous to variables). Let us introduce the following notations:

‘Test’ – the name of the test; ‘^ Test...’ – the list of conditional test notations; ‘# TestX...’ – the list of references to more general tests;

$\{a/A\}$ – a set of external tests that affect the transformations within the Test; [Context] – the context within which the given test model is valid (for example, Z-task);

‘ D_j ’ – the name of the j -th domain (generalization of domains from bottom to top); ‘^ D_j ...’ – the list of conditional notations for the j -th domain; ‘# 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 – code heuristics, R – precursors); $\{Ag\}_j$ – agents (society, swarm of agents, expert environment); $\{NN\}_j$ – neural networks, the output layer of which converges with D_j (Morphological computation);

$\{LAoT\}_Z$ – all local "arrows of time" associated with the Z-task of discrimination-control; may reflect both personal experience of an agent and the experience of the agent system $\{Ag\}_Z$ as a whole;

z_j – domain elements, $[\wedge x_j...]$ – aliases of the j -th element; $[Int_j]$ – 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.

The general scheme of the test configurator (sketch network or cognitive model of any signal) using the syntax of lexical trees can be represented as follows (multiformality & multiphysics & multiscale & openness; Augmented Sensors, Cognitive Sensors: A simple model for mixing intuition, analysis, morphological computing, experience and collective self-organization; Rulial Space; Multiway Systems: minimal examples of the general process of multicomputation; Design for the Unexpected):

$Test [^{\wedge} Test...] [^{\#} TestX...] [^{\{a/A\}}] [Context] \{$
 $Dn [^{\wedge} Dn...] [^{\#} Dx...] \{ ; ; \} \{ \{On\}_n \} \{ \{Sg\}_n \} \{ \{S, R\}_n \} \{ \{NN\}_n \} \{ \{Ag\}_n \} \{ \{LAoT\}_n \}$
 \dots
 $D2 [^{\wedge} D2...] [^{\#} Dy...] \{ ; ; \} \{ \{On\}_2 \} \{ \{Sg\}_2 \} \{ \{S, R\}_2 \} \{ \{NN\}_2 \} \{ \{Ag\}_2 \} \{ \{LAoT\}_2 \}$
 $D1 [^{\wedge} D1...] \{ ; ; \} \{ \{On\}_1 \} \{ \{Sg\}_1 \} \{ \{S, R\}_1 \} \{ \{NN\}_1 \} \{ \{Ag\}_1 \} \{ \{LAoT\}_1 \},$
 $\forall \{ ; ; \} = \{ z_1 [^{\wedge} x_1...] [Int_1] \{ \{g/\mu\}_1 \}; \dots; z_k [^{\wedge} x_k...] [Int_k] \{ \{g/\mu\}_k \} \}.$

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) [5]. As an agent environment $\{Ag\}$, any available global intellectual resources may be used, for example, IBM Watson and/or GPT-4/5 by OpenAI.

The test model (parameter, signal) demonstrates that the key property of bio-holonic systems in terms of functional reliability is the existence of total audit and full diversification of all information flows (the concept of "artificial connectome"), which allows for the implementation of "soft" measurement and embodied forecasting (Predictive Processing) of any signal even in case of sensor failure (basis for ensuring fault tolerance, catastrophe resistance, and anti-fragility [10]). Prediction mechanisms or "artificial intuition" improve with experience and become more economical, embodied, and fast [5, 9].

We provide a formalized description of one of the typical tasks of discrimination (distinguishing task) based on experience [6]: it is necessary to relate an arbitrary sketch P (result of observation) to any situation from the precedent base $\Omega = \{a\}$. The sketch can be a small fragment of an image.

Each situation-image a is represented by a network of sketches (emotionally and factually charged sketches within the "Subjective Space - Time - Actions" - SSTA). It is also associated with a continuum of previously solved discrimination tasks $\{z/Z\}_a$, or more precisely $\{z/Z\}_{LAoT}_a$, taking into account the experience of solving each Z -task of discrimination, for example, the frequency profile of heuristic usage (the composition of discrimination tasks depends on Ω , i.e., the subject area). For sketch P , a continuum of discrimination tasks $\{z/Z\}_P$ is also solved. The solution to the discrimination task will be the following set of situation-images [6]:

$$\{\alpha\}_P = \{\alpha | \{z/Z\}_\alpha \cap \{z/Z\}_P \neq \emptyset \ \& \ \neg \exists Z\text{-task: } (z/Z)_\alpha \neq (z/Z)_P\}.$$

The path and speed of establishing the set $\{a\}_P$ depend on experience, i.e., on $\{\{z/Z\}_{LAoT}_Z\}_a$ (Cognitive Computing). Over time, this path improves and becomes more economical and faster (Asymptotic rationality). The more discrimination tasks $\{z/Z\}_a$ (for all a) and $\{z/Z\}_P$, and the greater the experience, the more reliable and accurate the solution to the target task. In terms of resource economy and speed, it is essential that the "continuum of tasks" is performed subconsciously (automatically; the essence of "Automated Situational Awareness"). Only the result may be realized. The mechanism of the "continuum of tasks" together with the test bank is the basis of "Self-Aware Computing Systems" in the LGP interpretation, particularly for transportation systems.

The report substantiates the thesis that one of the key tools for intuitive (fast, instant) problem-solving in discrimination tasks is the "Creative Stirring / Mixing Layer" within the "continuum of tasks" (Dynamic Competition Mechanism of Instant Decision). It is argued that the concepts of "Creative Stirring / Mixing Layer" and "Mixed Layer Depth" play an essential role in solving discrimination tasks and modeling reactions to event-observations within the SSTA framework [5, 7, 8]. The report examines the practical mechanism of "Creative Stirring / Mixing Layer" in solving any distinguishing task. The proposed scheme implements a dynamic competitive mechanism for instant decision-making, the purpose of which is to ensure the "survival" and achievement of the goals of the transport system in an aggressive and uncertain environment [13-17]. "Creative stirring layer" in each distinguishing task can be implemented with the help of the "Thinking Swarm of Cognitive Agents".

The totality of all test configurators $\{G(\tau)\}$ forms the basis of a multi-purpose knowledge bank: tests describe any essence of the subject area, including patterns or computational procedures $\{f/\mu\}$, where μ is an arbitrary implementation mechanism. Any smart environment agent, including a transport vehicle, can use these patterns. An arbitrary bank of mathematical and causal models k in the space $\{G(\tau)\}$ can be represented as a multitude of patterns [5] (Design for the Unexpected; Predicting the Unexpected; Rulial Space; Computational intelligence of a cognitive agent):

$$k = \{f/\mu \{J_c c/C\}: \{J_a a/A\}, J_e e/E \rightarrow \{J_b b/B\}, \mu \in \{\mu\}_f\},$$

where J is the truth evaluation operator, which is also a test; $\{c/C\}$ – precondition tests; $\{a/A\}$ – input data tests; e/E – resource tests; $\{b/B\}$ – output data format tests; μ - transformation/computation mechanisms. The knowledge bank demonstrates operational closure, which is inherent in biological systems [5]. An example of PLG application in the transportation sector is presented in [11].

Conclusion. The report describes a bio-holonic approach, according to which a fixed-level transportation system (holon) does not provide for the separation of the controlling and controlled subsystems. Delegating a significant portion of management functions to smart devices and cognitive agents, implementing forecasting and "soft" conflict resolution, total audit of information flows, and symbiosis ensure the necessary diversity and flexibility in management, as well as provide the transportation system (as a macro-holon) and its individual components with sustainable development and safe functioning under radical uncertainty. From a technical standpoint, the design pattern of the information-control subsystem of the future transportation system in the bio-holonic paradigm demonstrates how to design the unexpected, including how to predict the unexpected (designing systems and infrastructure to meet requirements and demands unknown at the design stage).

Methodologically, we consider the future transportation system as a "living" cognitive system or an ecology of interacting subsystems, each of which is also a "living" cognitive system. A "living" cognitive system is explained in terms of its open and fluid structure, dynamics, and operating mechanisms. We argue that this approach can help create sustainable transportation systems in the face of accelerating changes.

REFERENCES

1. 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.
2. Xu, M., Niyato, D., Zhang, H., Kang, J., Xiong, Z., Mao, S., Han, Z. (2023). Generative AI-empowered Effective Physical-Virtual Synchronization in the Vehicular Metaverse. 10.48550/arXiv.2301.07636.
3. Kounev, S., Kephart, J., Milenkoski, A., Zhu, X. (eds.) (2017). Self-Aware Computing Systems. Springer Cham. 10.1007/978-3-319-47474-8.

4. Derigent, W., Cardin, O., Trentesaux, D. (2021). Industry 4.0: contributions of holonic manufacturing control architectures and future challenges. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 32. 10.1007/s10845-020-01532-x.

5. Prokopchuk Y. (2022). *Intuition: The Experience of Formal Research*. Dnipro, Ukraine: PSACEA Press. 724 p. (in RU)

6. Prokopchuk Y. (2023). Cognitive approaches to intelligence: asymptotic rationality and continuum of distinction tasks. *Scientific and Technical International Conference Information Technology in Metallurgy and Machine Engineering*. Dnipro, Ukraine: Ukrainian State University of Science and Technologies, pp. 318 - 323. DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.086 (in UA)

7. Prokopchuk Y. (2022). Dynamic Competition Mechanism for Instant Decision: "Creative Stirring Layer". *Conference: Adaptive Learning Technologies (October 19-20, 2022)*. Odesa, Ukraine: South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky. pp. 11 – 13. (in UA)

8. Prokopchuk Y., Nosov P. (2022). Dynamic aspects of the process of making subjective quick decisions. *XVI International Conference «Modern Information and Communication Technologies on a Transport, in Industry and Education» (December 14-15, 2022)*. Dnipro, Ukraine: Ukrainian State University of Science and Technologies. p. 101. (in UA)

9. Prokopchuk Y., Nosov P., Zinchenko S., Popovych I. (2021). New approach to modeling deep intuition. *Materials of the 13th Scientific and Practical Conference «Modern Information and Innovative Technologies in Transport (MINTT-2021)»*. Kherson, Ukraine: XSMA. pp. 37 – 40.

10. Prokopchuk Y., Nosov P., Zinchenko S. (2021). The concept of "Cognitive Technical Systems" as a methodological basis for ensuring fault tolerance, disaster tolerance and antifragility. *II International Scientific Symposium INTELLIGENT SOLUTIONS-S: X-th International School-Seminar Decision Making Theory (Kyiv - Uzhhorod, Ukraine, September 29, 2021)*. Kyiv, Ukraine: Taras Shevchenko National University. pp. 135 – 136. (in UA)

11. Nosov P., Zinchenko S., Ben A., Prokopchuk Y., Mamenko P., Popovych I., Moiseienko V., Kruglyj D. (2021). Navigation safety control system development through navigator action prediction by data mining means. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2 No. 9 (110): Information and controlling system. 55-68. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229237.

12. Wolfram S. (2022). Charting a Course for “Complexity”: Metamodeling, Ruliology and More. *Complex Systems*, 31(2). pp. 165–190. <https://doi.org/10.25088/ComplexSystems.31.2.165>

13. Nosov P., Крапувко G., Ben A., Safonov M., Zinchenko S. Disabling the dynamic positioning of the vessel as a cause of the negative influence of human factor in maritime transport. *МНПК пам'яті професорів Фоміна Ю. Я. і Семенова В. С. (FS - 2019), 24 – 28 квітня 2019, Одеса – Стамбул – Одеса*. Pages 309-315.

14. Nosov, P., Zinchenko, S., Plokhikh, V., Popovych, I., Prokopchuk, Y., Makarchuk, D., Mamenko, P., Moiseienko, V., & Ben, A. (2021). Development and experimental study of analyzer to enhance maritime safety. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/3(112), 27–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239093>.

15. Zinchenko Serhii, Tovstokoryi Oleh, Nosov Pavlo, Popovych Ihor & Kyrychenko Kostiantyn (2023) Pivot Point position determination and its use for manoeuvring a vessel, *Ships and Offshore Structures*, 18:3, 358-364, <https://doi.org/10.1080/17445302.2022.2052480>.

16. Popovych, Ihor; Blynova, Olena; Nass Álvarez, Juan Luis; Nosov, Pavlo y Zinchenko, Serhii. A historical dimension of the research on social expectations of an individual. *Revista Notas Históricas y Geográficas*, número 27 Julio-Diciembre 2021. pp. 190-217.

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

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕФЕКТИВНОГО НАВЧАННЯ

Терновський В.Б., Трояк К.Ю.

*Національний університет «Одеська морська академія»
(Україна)*

Вступ. Останнім часом з'явилося багато публікацій про вражаючу продуктивність великих мовних моделей або Large Language Models (LLM) [1,2], зокрема попередньо навченого трансформера для генерації тексту Chat Generative Pre-Trained Transformer, широко відомого як ChatGPT [3]. Розробником є компанія OpenAI (OpenAI, L.L.C., Сан-Франциско, Каліфорнія, США).

LLM є інструментами штучного інтелекту, що засновані на багаторівневих рекурентних нейронних мережах, які навчаються на величезних обсягах даних для генерації тексту, схожого на людський. ChatGPT спирається лише на інформацію зі своєї бази даних, так як позбавлений доступу до Інтернету. Проте він надає користувачеві не список посилань, як це роблять звичайні пошукові системи, а безпосередню відповідь на запитання, що значно економить час.

В основі прототипу ChatGPT лежить модель OpenAI GPT-3.5, яка є доопрацьованою версією GPT-3. Етимологія ChatGPT пов'язана з чат-ботом (програмою, яка здатна розуміти та генерувати відповіді, тобто імітує справжню розмову з користувачем за допомогою текстового інтерфейсу) і заснована на архітектурі генеративного попередньо навченого перетворювача (GPT). Архітектура GPT використовує нейронну мережу для обробки природної мови, генеруючи відповіді на основі контексту вхідного тексту.

З моменту своєї появи у листопаді 2022 року ChatGPT швидко став широко відомою діалоговою системою питань та відповідей [4]. В Україні базовою версією чат-боту ChatGPT можна користуватися абсолютно безкоштовно.

У березні 2023 року OpenAI представила найновішу версію своєї великої мовної моделі штучного інтелекту – GPT-4, яка здатна приймати зображення як вхідні дані, хоча на виході вона як і раніше дає лише текст. Крім того, GPT-4 значно рідше реагує на запити щодо забороненого контенту та частіше надає фактичні відповіді порівняно з попередньою версією GPT-3.5.

Актуальність досліджень. За допомогою бота від OpenAI технологія штучного інтелекту стала доступна широкому колу людей, а не тільки програмістам та фахівцям у галузі машинного навчання, як було раніше. Модель навчена на великих наборах текстових даних кількома мовами і має значну універсальність виконуваних завдань, у тому числі може створювати програмний код. Інтерфейс програми максимально простий, отже будь-хто може легко ставити запитання.

Загальновідомо, що освіта має готувати людей до когнітивних, соціальних та емоційних навичок, а також до предметних знань для вирішення реальних проблем. Маючи ці набори навичок, людина може професійно виконувати певні завдання [5, 6]. Проте зростання розвитку штучного інтелекту викликає занепокоєння з приводу того, чому навчати і як навчати наступні покоління [7-10]. Вроджений опір людського розуму будь-яким змінам - добре описаний феномен, який можна зрозуміти з точки зору еволюційної та соціальної психології. Тому побоювання та суперечки, що виникли одразу після широкого випуску ChatGPT, здаються зрозумілими.

Таким чином, актуальним завданням є вивчення потенціалу використання ChatGPT в якості інструменту навчання [11].

Постановка задачі. Метою даного дослідження є вивчення можливостей використання ChatGPT для проведення аналізу даних за допомогою програмного коду

[12]. Щоб продемонструвати, як ChatGPT може допомогти студентам у виконанні стандартного навчального завдання щодо аналізу даних, ми доручили чат-боту згенерувати програмний код, за допомогою якого можна побудувати графіки. Для опису руху часто використовують графіки залежності координати та швидкості руху від часу. В якості прикладу було обрано стандартне завдання на дослідження руху судна при пасивному гальмуванні. В більшості випадків доцільно описувати рух судна за допомогою графіків, тому що це дає можливість не докладаючи значних зусиль порівняти час гальмування, а також відстань, яку проходить судно при пасивному гальмуванні при різних швидкостях руху.

Результати дослідження. Взаємодія з ChatGPT включала дві ітерації. Спочатку ми пояснили чат-боту мету завдання: побудувати графік на основі мови програмування Python та бібліотеки Seaborn для Python, Далі описали графік, який нам потрібний: відстань (S) - назва вертикальної вісі, час (t) - назва горизонтальної вісі, вказали кількість і назву ліній, які ми хочемо зобразити на графіку (п'ять ліній для різних режимів руху судна: передній найменший – ПСМ, передній малий – ПМ, передній середній – ПС, передній повний маневрений – ПМ, передній повний – ПП), обов'язково вказуємо боту дані значень S і t для кожного режиму руху судна, які були нами заздалегідь розраховані. Остання репліка – ми просимо робота вивести графік у форматі pdf.

У відповідь ChatGPT миттєво згенерував нам працездатний код, який ми скопіювати і зберегли у форматі файлу Python за умови, що на комп'ютері встановлена ця мова програмування з бібліотеками Seaborn і Matplotlib. Код не має потреби описувати, бо нам не потрібно його розуміти, а лише скопіювати і запустити.

Далі ми запускаємо файл з кодом через командну строку, використовуючи команду «python {назва файлу}», наприклад «python script.PY». Перед запуском цього файлу необхідно за допомогою командної строки (команда «cd {повний шлях до папки}») переміститися у папку, в якій знаходиться файл з кодом.

Після запуску коду, отриманого від ChatGPT, програма Python створює графік у форматі pdf, який був нам потрібен.

Результати оцінювали візуально, порівнюючи їх із вихідними даними, які були заздалегідь розраховані.

Перевагою запропонованого підходу є швидке отримання результату, а також можливість неодноразово змінювати умови завдання. Наприклад, ми можемо відредагувати цей графік у разі виявлення будь-яких недоліків шляхом повторної передачі чат-боту уточнених вихідних даних.

Наше дослідження продемонструвало потенціал ChatGPT, який можна використовувати як для виконання навчальних завдань, так і для формування у студентів навичок програмування.

Висновки. Зважаючи на обґрунтовані побоювання, висловлені з приводу можливого неправомірного використання ChatGPT, особливо в галузі освіти, в терміновому порядку необхідно розробити відповідні керівні принципи та правила, щоб забезпечити безпечне та відповідальне використання потенційних можливостей ChatGPT та інших LLM. При правильному підході технології LLM можуть прискорити інновації в галузі освіти та сприятимуть забезпеченню справедливості у дослідженнях за рахунок подолання мовних бар'єрів.

Ми вважаємо, що ChatGPT і, звичайно ж, його майбутні втілення, можна використовувати для прискорення навчання за рахунок можливості покращення передачі знань та навчання студентів критичній оцінці пояснень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D. M., Wu, J., Winter, C., ... & Amodei, D.

(2020). Language models are few-shot learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 1877-1901.

2. Guan, C., Mou, J., & Jiang, Z. (2020). Artificial intelligence innovation in education: A Twenty-year data-driven historical analysis. *International Journal of Innovation Studies*, 4(4), 134-147. <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2020.09.001>.

3. Stokel-Walker, C.; Van Noorden, R. What ChatGPT and generative AI mean for science. *Nature* 2023, 614, 214-216, DOI: 10.1038/d41586-023-00340-6.

4. Chatterjee, J; Dethlefs, N. This new conversational AI model can be your friend, philosopher, and guide ... and even your worst enemy. *Patterns (N Y)* 2023, 4, 100676, DOI: 10.1016/j.patter.2022.100676.

5. Mhlanga, D. (2022). Human-centered artificial intelligence: The superlative approach to achieve sustainable development goals in the fourth industrial revolution. *Sustainability*, 14(13), 7804.

6. Kim, J., Merrill, K., Xu, K., & Sellnow, D. D. (2020). My teacher is a machine: Understanding students' perceptions of AI teaching assistants in online education. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(20), 1902-1911.

7. Holmes, W., Porayska-Pomsta, K., Holstein, K., Sutherland, E., Baker, T., Shum, S.B., ... & Koedinger, K.R. (2021). Ethics of AI in education: Towards a community-wide framework. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 1-23.

8. King, M.R. A Conversation on Artificial Intelligence, Chatbots, and Plagiarism in Higher Education, *Cell. Mol. Bioeng.*, vol. 16, no. 1, pp. 1-2, Feb. 2023, DOI: 10.1007/S12195-022-00754-8/FIGURES/1.

9. Korteling, J.E.; van de Boer-Visschedijk, G.C.; Blankendaal, R.A.M.; Boonekamp, R.C.; Eikelboom, A.R. Human- versus Artificial Intelligence. *Front. Artif. Intell.* 2021, 4, 622364, DOI: 10.3389/frai.2021.622364.

10. Rudolph, J., Tan, S., & Tan, S. (2023). Chatgpt: Bullshit spewer or the end of traditional assessments in higher education? *Ed-Tech Reviews*, 1, 6(1). <https://doi.org/10.37074/jalt.2023.6.1.9>.

11. Mhlanga, D. (2023). Digital Transformation in Education: Relevant Paradigms and Theories of Teaching and Learning in the Industry 4.0. In: Kahraman, C., Haktanır, E. (eds) *Intelligent Systems in Digital Transformation. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 549. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16598-6_19.

12. E.A.M. van Dis, J. Bollen, W. Zuidema, R. van Rooij, and C. L. Bockting, ChatGPT: five priorities for research, *Nat.* 2023 6147947, vol. 614, no. 7947, pp. 224-226, Feb. 2023, DOI: 10.1038/d41586-023-00288-7.

СЕКЦІЯ:

ТРЕНАЖЕРНІ СИСТЕМИ ТА ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР НА ТРАНСПОРТІ

ОПЕРАТОРИ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ-«АВАРІЙНИКИ»: ПОМІТНЕ ГАСЛО, ЧИ ОБ'ЄКТИВНА РЕАЛЬНІСТЬ

^{1,2} Рева О.М., ² Камишин В.В., ³ Кириченко К.В., ⁴ Сагановська Л.А.

¹ Національний авіаційний університет, Україна

² Український інститут науково-технічної експертизи та інформації, Україна

³ Херсонська державна морська академія, Україна

⁴ Льотна академія Національного авіаційного університету, Україна

Вступ. Операторам складних полі ергатичних організаційних і активних транспортних систем керування та їх підсистем під час виконання професійних обов'язків зазвичай приписується експлікація таких двох протилежних функцій з забезпечення безпеки руху:

1. позитивний вплив на безпеку як результат сумлінного виконання правил експлуатації зазначених систем та активного втручання у ліквідацію наслідків відмов їх технічної частини, локалізації та усунення інших чинників негативного впливу. Виконанню цієї функції сприяє накопичуваний досвід надійного керування транспортними системами у різних умовах експлуатації, активне застосування систем штучного інтелекту та ефективна професійна підготовка [1, 2];

2. негативний вплив на безпеку як наслідок різноманітного прояву людського чинника (ЛЧ), що обумовлює щонайменше $\frac{2}{3}$ – $\frac{4}{5}$ загальної кількості аварій та катастроф на транспорті [1, 3-5 та ін.].

Актуальність досліджень. Позбавлення негативного впливу ЛЧ на безпеку руху можливо досягти лише за умов повного усунення людини-оператора (Л-О) з контуру управління, що на сьогодні є недосяжним з явних причин. Тому більш актуальним є прогнозування поведінки людини пов'язане, насамперед, зі схильністю до ризику, аварій, недисциплінованості тощо. Особливо важливим і актуальним є виявлення серед них осіб зі стійкою виразністю такої «схильності» (так званих «аварійників» відповідно до відомої теорії К. Марбе [6]). Зазначений підхід є закономірним і обґрунтованим [1, 5, 7-12 та ін.], оскільки тільки за оцінками фірми Boeing 8% пілотів виявилися винуватцями 92% негативних подій на авіаційному транспорті [9]. Тобто, «пусковим чинником» зазначених подій є фактично ті самі пілоти-«аварійники».

Зауважимо, що особливо яскраво виявляється схильність людини до ризику, аварій, прояву недисциплінованості в аварійних ситуаціях [5, 7].

Постановка задачі. Розповсюдити теорію «аварійників» у її сучасному розумінні [5] на усі види транспорту.

Результати досліджень. Виявлення та корекція поведінки «аварійників», яких останнім часом зазивають ще й «невдачливими» [11], має відбуватися таким чином.

По-перше, необхідно виявити ступінь властивості операторам транспортних систем небезпечних стратегій поведінки, оперативного мислення та прийняття рішень (ПР), що були відокремлені американськими вченими з ірраціонального боку професійних розумових здібностей пілотів (ігнорування, імпульсивність, невразливість, самовпевненість (поза ситуативна схильність до ризику), покірність) [13]. Встановлено, що у будь-якій представницькій вибірці можна виявити 2-4% осіб з яскраво вираженим проявом одночасно не менш чотирьох небезпечних стратегій. І саме ці особи мають вважатися «аварійниками» [14]. Немає підстав вважати, що статистика «аварійників»-судноводіїв буде суттєво відрізнитися від наведеної.

Діагностика небезпечних стратегій має відбуватися як за допомогою психологічного тесту, так і за допомогою спеціальних професійних ситуативних вправ, що відображують проблемні ситуації у конкретній операторській діяльності, рішення яких експлікує схильність до тієї чи іншої небезпечної стратегії поведінки, оперативного мислення та ПР.

На жаль, вітчизняні та закордонні дослідники не приділяють достатньо уваги розробці надійного і валідного психологічного тесту, який би дозволив з єдиних позицій здійснити діагностику усього спектру небезпечних стратегій. Експериментальна версія відповідного психологічного тесту REDID, розробленого одним зі співавторів понад 30 років тому, також не знайшла належного розповсюдження. Що має бути предметом спеціальних досліджень.

Для діагностики і корекції небезпечних стратегій поведінки, оперативного мислення та ПР пілотами американськими вченими було розроблено Керівництво ADM [13]. За оцінками експертів повсюдне використання зазначеного Керівництва сприятиме зменшенню авіаційних подій, аварій та серйозних інцидентів на 5-20% [15]. Однак, зазначений підхід знайшов розвиток у розробці відповідних професійних ситуативних вправ для авіадиспетчерів [5], що свідчить про пріоритет вітчизняної науки. Однак, знову ж вкажемо на нагальну потребу розробки такого роду Керівництва для молодих моряків-майбутніх судноводіїв.

В контексті наших досліджень під недисциплінованістю розумітимемо порушення норм моралі і поведінки, прийнятих у конкретному соціумі, зокрема у екіпажі судна чи на флоті у цілому. Не зважаючи на певні напрацювання з кваліметрії і діагностики недисциплінованості майбутніх авіаційних операторів «переднього краю» (пілотів, авіадиспетчерів) [16-18 та ін.], досвід цих напрацювань, на жаль не розповсюджених на практику підготовки моряків, хоча більшість сформульованих характерних рис недисциплінованості є природною ілюстрацією прояву небезпечних стратегій, про які йшлося вище.

Висновки. Представлені результати аналітичних досліджень, з одного боку, вказують на актуальність виявлення потенційних «аварійників» / «невдах» серед судноводіїв, а з іншого боку, дозволили сформулювати напрямки відповідних досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рева, А. Н. Человеческий фактор и безопасность полетов: (Проактивное исследование влияния) : монографія / А. Н. Рева, К. М. Тумышев, А. А. Бекмухамбетов; науч. ред. А. Н. Рева, К. М. Тумышев. – Алматы : КазГУ, 2007. – 242 с.
2. Gudelj, A., Krčum, M., & Krčum, P. The role of information technology in maritime education for hazard avoidance // *International Journal of Emergency Management*, 2008, 5(3-4), 219-234. doi:10.1504/IJEM.2008.025093
3. Ткаченко І.О. Ризики у транспортних процесах : навч. посібник / І. О. Ткаченко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 114 с.
4. Бень А. П., Паламарчук И. В. «Человеческий фактор при принятии решений в судовождении и пути снижения его влияния». *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2015, № 1, с. 4-9.
5. Рева, О. М. Сучасні проблеми людського чинника в авіації : навч. посіб. / О. М. Рева, С. П. Борсук, В. А. Шульгін ; под ред. О. М. Реви. – К. : Укр ІНТЕІ, 2018. – 124 с.
6. Marbe K. *Practische Psychologie der Unfälle und der Betriebs-scader.* – Munchen-Berlin, 1926
7. Пикала И. *Инженерная психология // Психология труда: Пер. со словац.; Общ. ред. и предисл. К.К. Платонова.* – М.: Профиздат, 1979. – С.190-210.
8. Курашвили В.А. Некоторые вопросы профессионального отбора и психологической подготовки летного состава / В.А. Курашвили, Д.И. Шпаченко, Л.И. Туркаль // *Проблемы безопасности полетов: Ежемес.бюл.* – М.: ВИНТИ, 1984. - №8. – С.35-41
9. Плотников Н.И. *Зарубежная практика профессиональной подготовки летного персонала.* – М.: ЦНТИГА, 1989. – 42 с.
10. Бондарчук И.Е. *О повышенной подверженности части лиц летного персонала*

риску "попадания в инциденты" / И.Е. Бондарчук, Н.М. Грицаенко // Безопасность полетов и человеческий фактор в авиации: тез. докл. VI науч.-практ. конф. - Ленинград, 15-17 окт.1991г.- Л.: АГА, 1991.- Секция 1,2.- С.70-71

11. Вайлетт Патрик Р. Невезучие летчики – судьба или свойства характера // Авиатранспортное обозрение, 2007. - № 76. – С.71-74.

12. Рева О.М. Пілоти-"аварійники": аналітичний огляд причин авіаційних подій за людським фактором / О.М. Рева, В.П. Булава // Залізничний транспорт України: наук.-практ. ж., 2008. - № 6. - С.37-41.

13. Jensen R.S., Andrien J. Aeronautical Decision Making for instrumental Pilot. DOT / FAA / PM-86/42.

14. Рева О.М. Оцінка небезпечних властивостей поведінки, оперативного мислення та прийняття рішень у майбутніх юристів // Проблеми пенітенціарної теорії і практики / О.М. Рева, О.В. Михайлов // Бюлетень Київського інституту внутрішніх справ. – К.: КІВС. - №4, 1999. – С.193-196.

15. Brecher V.R. A Question of Judgment // Flying, 1981, vol. 108.- №5.- P. 48-52.

16. Камишин, В. В. Суб-модель управління корекцією недисциплінованості курсантів-авіаційних операторів «переднього краю» / В. В. Камишин, О. М. Рева, Л. А. Сагановська // Матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. кафедри СЕУ і ТЕ Одеського національного морського університету, - Одеса, квітень 2021 року, – Харків : Вид-во Іванченко І.С., 2021. – С. 412-416.

17. Рева, О. М. Напрямки вдосконалення технології діагностики і корекції небезпечних стратегій поведінки, оперативного мислення і прийняття рішень в курсантів (студентів) - пілотів / О. М. Рева, С. О. Завгородній, Л.А. Сагановська // Актуальні проблеми безпеки на транспорті, в енергетиці, інфраструктурі : зб. матеріалів I Міжнар. наук.-практ. конф., - с.м.т. Лазурне, 8-11 вересня 2021 року, - Херсон : Морський інститут імені контр-адмірала Ф. Ф. Ушакова, 2021. – С. 109-111.

18. Розвиток технології інтегральної оцінки недисциплінованості курсантів-майбутніх операторів «переднього краю» складних транспортних систем керування / О.М. Рева, В.В. Камишин, С.О. Завгородній, Л.А. Сагановська, К.В. Кириченко // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (СЕУТТОО-2022) : матеріали 13-ї Міжнар. наук.-практ. конф., - Херсон, - 7-9 вересня 2022 р., – Херсон : ХДМА, 2022. - С. 190-192.

МОДЕЛЬ РЕАЛІЗАЦІЇ ВПЛИВУ НЕБЕЗПЕЧНИХ МЕТЕОФАКТОРІВ НА ПРИКЛАДІ ОБЛЕДЕНІННЯ ПОВІТРЯНОГО СУДНА В ПРОЦЕСІ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ

*Сорока М. Ю., Коваленко О. П., Землянський А. В.
Льотна академія Національного авіаційного університету
(Україна)*

Вступ. Обледеніння повітряного судна (ПС) відноситься до серйозних проблем безпеки польотів, яка може виникнути на будь-якому етапі польоту та закінчитись авіакатастрофою. За дослідженням О. Пітерцева, статистичні дані наступні: з 1978 по 2005 рік Національною Радою з безпеки на транспорті (NTSB) і Федеральним авіаційним управлінням (FAA) США зафіксовано 645 авіаційних подій з причини обледеніння. Система звітності NASA з безпеки польотів (ASRS) містить записи про 30 авіаподій за період 2006–2010 рр., спричинених наявністю умов обледеніння ПС у польоті. За іншими даними до 1998 р. зареєстровано 800 випадків льотних подій у загальносвітовому масштабі. Присутність на поверхні крил, стабілізаторах та інших елементах ПС відкладень льоду може значно змінити аеродинамічні властивості ПС та погіршити його керованість, що, в свою чергу, може призвести до аварійної події.

Актуальність дослідження є надзвичайно важливою, оскільки спрямована на покращення безпеки польотів ПС за допомогою підвищення якості моделювання впливу небезпечних метеофакторів, на прикладі визначення зон потенційного обледеніння ПС, в процесі тренажерної підготовки авіадиспетчерів.

Вагомий вплив обледеніння на політ ПС виражається в різкому погіршенні його аеродинамічних і льотних характеристик через зміну форми обтічних повітряним потоком частин, особливо крил і оперення. В результаті обледеніння зростає лобовий опір, зменшується підйомна сила, збільшується потрібна тяга і зменшується надлишок тяги двигунів, збільшується маса ПС. Це призводить до зменшення вертикальної швидкості набору висоти, зниження висоти стелі та максимальної швидкості, збільшення витрати палива, обмеження маневрених можливостей літака і погіршення його посадочних характеристик.

Найнебезпечнішим обледеніння є на малих швидкостях польоту, наприклад, на посадкових режимах. Відкладення льоду на окремих частинах ПС призводить до зміщення його центру ваги і, як наслідок, до зміни поздовжньої стійкості, виникненню «клювків» ПС. Істотно ускладнюється пілотування при обледенінні приймача повітряного тиску, що виражається у невірних показаннях таких приладів, як показчик швидкості, швидкість Маха, висотоміра тощо. При потраплянні льоду з поверхні ПС у авіадвигуни наслідки можуть бути трагічні.

Інтенсивність обледеніння (швидкість відкладення льоду) залежить від багатьох чинників, а саме, температури повітря на висоті польоту, мікроструктури і водності хмар, наявності опадів, часу перебування ПС в зоні обледеніння, швидкості польоту, типу ПС тощо. Найсприятливіші умови утворення інтенсивного обледеніння у внутрішньомасових хмарах спостерігаються в розвинених купчасто-дощових хмарах, так як вони складаються з великих переохолоджених крапель температурою до -23°C . Висока ймовірність обледеніння (до 90%) спостерігається протягом холодного періоду року в шаруватих і шарувато-купчастих хмарах, які зберігають рідко-крапельну структуру до -18°C . Найінтенсивніше обледеніння відмічається при польоті ПС в переохолодженому дощі в клині холодного повітря перед теплим фронтом (фронтом оклюзії) та холодним фронтом, що повільно переміщується.

Постановка задачі дослідження. Реалізація моделі дослідження в тренажерній підготовці авіадиспетчерів (на прикладі моделюючого комплексу роботи авіадиспетчера) проводиться з використанням інструменту полігон, який застосовується для моделювання

різних об'ємних об'єктів у моделювальному комплексі, таких як зона відповідальності, зони обмеження польотів та зони безпеки ПС. Для реалізації моделей впливу в моделюючому комплексі для зон відповідальності, розташованих у верхньому повітряному просторі (зони відповідальності районного центру), серед багатьох метеофакторів найцікавішим, на нашу думку, є саме обледеніння ПС.

Розглянемо детально вплив вищевказаного метеофактора на виконання польоту ПС на прикладі проходження холодного атмосферного фронту 2-го роду через зону відповідальності районного центру 18 серпня 2020 року. Фактична погода описуваного випадку в зоні атмосферного фронту наступна: купчасто-дощові хмари з нижньою межею хмар 600 м і верхньою межею хмар – 7000 м, видимість 10 км, між термінами спостережень – грози. Температура біля поверхні землі $+11,5^{\circ}\text{C}$, на рівні тропопаузи дорівнює $-57,0^{\circ}\text{C}$. Нульова ізотерма розташована на висоті 2200 м, ізотерма -10°C – на висоті 3700 м, ізотерма -20°C – на висоті 5200 м. У купчасто-дощових хмарах від висоти 2200 м до верхньої межі хмар – сильне обледеніння та між нижньою і верхньою межею хмар – сильна турбулентність. Вітер на висоті 1500 м – 340° 10 м/с, на висоті 3000 м – 320° 10 м/с, на висоті 5000 м – 320° 13 м/с, на висоті 7000 м – 340° 20 м/с, на висоті 9000 м – 340° 23 м/с, на висоті 11000 – 350° 30 м/с. Холодний фронт рухається на південний схід зі швидкістю 40 км/годину та поступово розмивається.

Для візуального відображення проходження холодного фронту в моделюючому комплексі використовується так званий "метеорологічний полігон" (який є дочірнім класом об'єкту "полігон") до якого відносяться метеорологічні параметри обледеніння ПС. Даний метеорологічний полігон являє собою складну геометричну фігуру в горизонтальному розрізі, обмежену за максимальною і мінімальною висотою в вертикальному розрізі. До властивостей полігону, окрім опису геометрії полігону (координати умовного центру полігону, координати вершин, опис ліній, що обмежують геометрію полігону, верхня і нижня висотні межі), відносяться дані, що дозволяють описати маршрут і параметри руху умовного центру полігону (холодного фронту). Слід зауважити, що для реалізації складних об'єктів у розрізі вертикальної площини можна використовувати декілька метеорологічних полігонів.

При розрахунку розташування метеополігону в просторі застосовується умовний центр полігону, який являє собою довільну точку, що входить в полігон і, як правило, є однією з його вершин (рис. 1). Координати всіх вершин полігону задаються відносно умовного центру полігону в прямокутній системі координат. Параметри руху полігону задаються у вигляді пари значень – швидкості та напрямку руху. При визначенні положення метеополігону перераховуються координати умовного центру полігону, а потім і координати вершин полігону щодо умовного центру.

Головною особливістю, яка відрізняє дану модель реалізації, є можливість динамічної зміни розміру і форми полігону в процесі його переміщення. Це досягається за рахунок вказівки маршрутів руху для окремих вершин полігону. Параметри руху вершин задаються за аналогією з параметрами руху умовного центру, а саме, швидкістю і курсом. Розрахунок нового положення вершини полігону відбувається відносно умовного центру. Таким чином, розрахунок координат нових вершин відбувається після розрахунку нових координат умовного центру полігону та його вершин. Такий спосіб реалізації зміни геометрії метеополігону дозволяє в простій і зручній для розуміння формі задавати параметри його переміщення та переміщення його вершин.

Для моделювання руху й еволюції холодного фронту використовуються дані фактичної синоптичної обстановки, представленої як на приземних картах погоди і картах абсолютної топографії, так і в інших доступних джерелах інформації, включаючи Інтернет-джерела (наприклад, відомості метеорологічного порталу Ventusky <https://www.ventusky.com>). За наявними картографічними даними визначається початкове місцезнаходження холодного фронту, а за наявними метеорологічними даними – задаються параметри переміщення й еволюції холодного фронту.

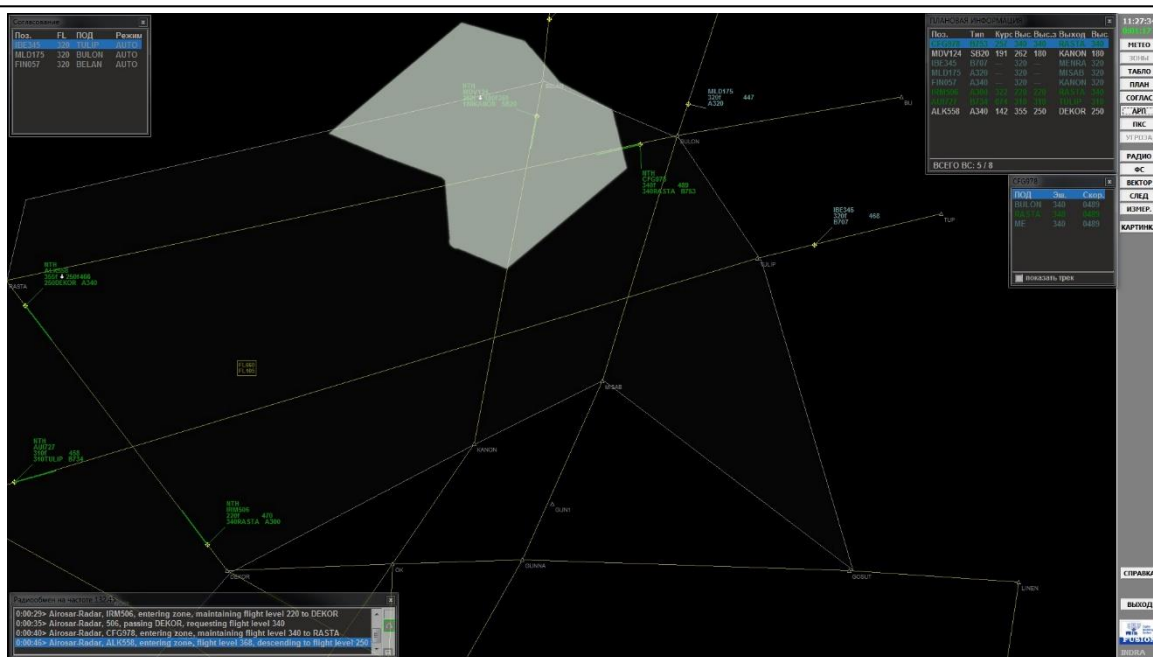


Рисунок 1 – Відображення проходження холодним фронтом метеополігону через зону відповідальності районного центру

В подальшому, реалізація моделі впливу небезпечних метеофакторів в моделюючому комплексі для зон відповідальності, розташованих у верхньому повітряному просторі спрямована на розробку моделей розвитку атмосферних утворень (як атмосферних фронтів, так і повітряних мас) по кожному аеропорту або сектору управління повітряним рухом в залежності від сезону року.

В результаті дослідження виявлено, що в автоматизованих системах управління повітряним рухом (АС УПР), що застосовуються в Україні, не проводиться виведення інформації про умови погоди на дисплеї радіолокаторів, тому в тренажерному моделюючому комплексі в процесі підготовки авіадиспетчерів пропонуємо передбачити два режими моделювання проходження атмосферних утворень:

- без візуалізації (для підвищення рівня реалізму);
- з візуалізацією (для наочності на етапі навчання) при цьому реалізація механізму впливу метеофакторів на модель польоту ПС не залежить від режиму моделювання.

Додатковим навчальним ефектом застосування метеорологічних полігонів, побудованих за описаною методикою, може стати використання алгоритмів розрахунку появи небезпечних метеорологічних факторів, на прикладі обледеніння, на основі фактичних даних умов погоди: температури, вологості тощо.

Висновки. Запропонована модель реалізації небезпечних метеорологічних факторів (на прикладі обледеніння ПС) дозволить підвищити якість моделювання динамічної повітряної обстановки та знизити негативний вплив людського фактора на її моделювання у випадках, коли результат впливу небезпечних метеофакторів віддано на розгляд пілота-оператора. Також підвищення якості моделювання динамічної повітряної обстановки в процесі тренажерної підготовки авіадиспетчерів позитивно вплине на результати практичної підготовки авіадиспетчерів в цілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пітерцев О.А. Інформаційна технологія виявлення зон потенційного обледеніння повітряних суден. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний авіаційний університет, К.: 2017. – 215 с.

2. Авіаційні правила України «Метеорологічне обслуговування цивільної авіації»/ Затверджено Наказ Державної авіаційної служби України № 166 від 09.03.2017 р. – 25 с.

3. Зміни до Авіаційних правил України «Метеорологічне обслуговування цивільної авіації» / Затверджено Наказ Державної авіаційної служби України № 1226 від 05.08.2021 р. – 53 с.

4. Авіаційні правила України «Організація повітряного руху» / Затверджено Наказ Державної авіаційної служби України № 1920 від 09.12.2021 р. – 155 с.

ПОЕТАПНІСТЬ ВИРІШЕННЯ ПОТЕНЦІЙНО-КОНФЛІКТНИХ СИТУАЦІЙ АВІАДИСПЕТЧЕРАМИ З ПОГЛЯДУ СВОЄЧАСНОСТІ

Сорока М.Ю., Коваленко О.П., Землянський А.В.

Льотна академія Національного авіаційного університету (Україна)

Вступ. Своєчасність прийняття рішень авіадиспетчерами під час вирішення потенційно-конфліктних ситуацій (ПКС) є дуже важливою складовою забезпечення безпеки польотів. За будь-якої ПКС авіадиспетчери мають вмінати максимально швидко зібрати усі необхідні дані, оцінити конфліктну ситуацію та прийняти обмірковано правильне рішення. Занадто довге обмірковування дій або навіть будь-яка затримка не допускається, оскільки це може призвести до послідуєчих проблемних наслідків. Професійне рішення та швидке його прийняття дозволяють досягти максимального результату за мінімальних ризиків. Для гарантованого прийняття швидких та обмірковано правильних рішень авіадиспетчерам необхідно постійно підвищувати кваліфікацію як у теоретичній площині, так і в тренажерно-практичній, зокрема на тренажерних засобах підготовки.

Актуальність дослідження. У сучасних тренажерних системах, що застосовуються в процесі підготовки авіадиспетчерів як на авіаційних підприємствах, так і майбутніх авіадиспетчерів (курсантів) в навчальних закладах, наприклад, у Льотній академії Національного авіаційного університету. Основою оцінювання успішності виконання навчальних завдань авіадиспетчерами і курсантами є професійна думка інструкторів. Безперечно, високий рівень підготовки інструкторського складу тренажерних комплексів не підлягає сумніву, але в ситуації, коли основою оцінювання будь-яких дій є думка людини, це може призвести до зростання впливу людського фактора чи суб'єктивності оцінювання. Також підсилює поточну ситуацію переважно дистанційна форма навчання курсантів, яка призводить до підвищення навантаження як на викладачів та інструкторів, так і на курсантів під час їх тренажерної підготовки. Тому актуальність дослідження, яке дозволить автоматизувати завдання з виявлення порушень, у тому числі під час тренажерної підготовки майбутніх авіадиспетчерів, є безсумнівним.

Постановка задачі дослідження. Задача нашого дослідження – на основі існуючих інструментів, а саме моделюючого комплексу роботи авіадиспетчера, який застосовується в навчальному процесі Льотної академії Національного авіаційного університету, провести аналіз поетапності прийняття рішень авіадиспетчерами (курсантами) під час парирования ПКС та визначити, як своєчасність прийняття обмірковано правильних рішень впливає на результати професійної діяльності авіадиспетчерів.

У процесі дослідження були визначені та структуровані етапи вирішення ПКС авіадиспетчерами з погляду своєчасності на основі Концепції контролю загроз і помилок, яка наведена в Циркулярі 314 Міжнародної організації цивільної авіації [1]. Контроль факторів загрози та помилок (КЗП) являє собою генеральну концепцію забезпечення безпеки польотів в тому, що стосується виробництва польотів і працездатності фахівця авіаційної галузі. Незважаючи на те, що концепція КЗП була спочатку розроблена для застосування в кабіні екіпажу повітряного судна (ПС), її також можна використовувати на різних рівнях, в різних секторах в межах як однієї організації, так і різними організаціями авіаційної галузі. Відповідно до диспетчерів управління повітряним рухом – авіадиспетчерів і курсантів, концепція КЗП складається з трьох основних компонентів: загроз, помилок та небажаних станів. Контроль небажаних станів є одним з основних компонентів концепції КЗП та має таке ж значення, як і контроль факторів загроз і помилок. Контроль небажаних станів, значною мірою, постає останньою можливістю уникнути небезпечних наслідків і, таким чином, забезпечити дотримання заданого рівня безпеки польотів при управлінні повітряним рухом.

Для виявлення переходу ситуації в небажаний стан внаслідок помилкових дій чи бездіяльності авіадиспетчерів пропонується розглянути ситуацію з виникненням потенційно-конфліктної ситуації, як одного з варіантів небажаного стану безпеки польотів. Елементи процедури рішення ПКС, вироблені в ході аналізу процесу виявлення і вирішення ПКС, зазначені на таблиці 1.

Таблиця 1 – Елементи процедури рішення ПКС авіадиспетчерами

№	Найменування	Опис
1	Виявлення ПКС	Визначити наявність ПКС та виявити ПС, які є її учасниками
2	Класифікація ПКС	Визначити тип ПКС для вибору методу вирішення
3	Визначення методів вирішення ПКС	Вибрати метод вирішення ПКС
4	Процедури вирішення ПКС	Виконати необхідні операції згідно з обраним методом
5	Парирування ПКС екіпажами ПС	Виконання екіпажами ПС вказівок щодо запобігання ПКС
6	Відстеження розвитку ситуації	Моніторинг виконання вказівок

Обов'язково необхідно зауважити, що елементи «Парирування ПКС екіпажами ПС» та «Відстеження розвитку ситуації» виконуються паралельно з виконанням інших операцій. Також слід зазначити, що час на парирування ПКС залежить від декількох факторів:

- обраного методу дозволу ПКС;
- часу реакції екіпажу ПС на отримані вказівки;
- часу інерції ПС;
- часу виконання ПС заданих екіпажем операцій тощо.

Схематично процедура парирування ПКС авіадиспетчерами зображена на рисунку 1.

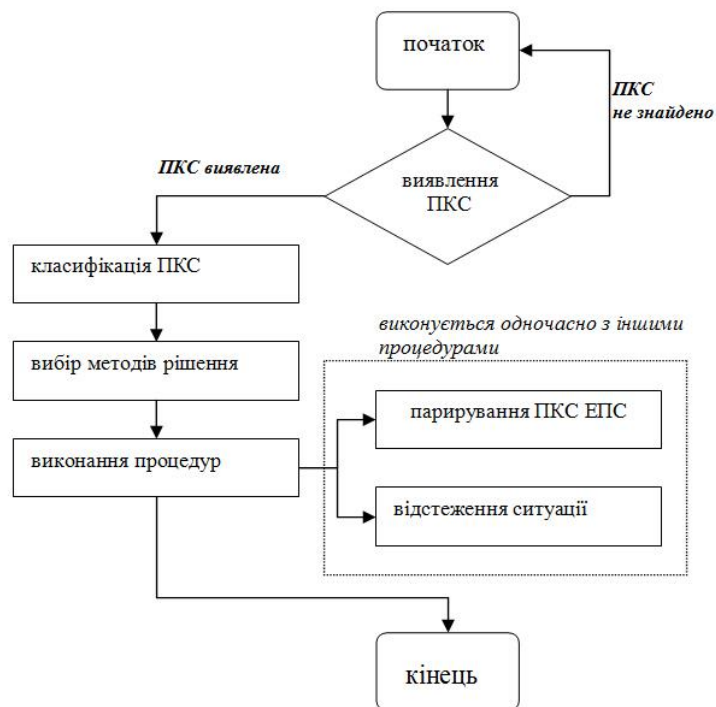


Рисунок 2 – Схема процедури парирування ПКС авіадиспетчером

Відповідно, необхідно враховувати, що час парирування ПКС екіпажами ПС є важко прогнозованою величиною. В результаті аналізу даних, отриманих в процесі виконання вправ на моделюючому комплексі роботи авіадиспетчера, який застосовується

в навчальному процесі Льотної академії Національного авіаційного університету, було визначено, що середній час на парирування ПКС курсантом становить 60 секунд.

Розглянувши Концепцію контролю загроз і помилок стосовно поставленої в дослідженні задачі визначення своєчасності прийняття рішень при вирішенні ПКС авіадиспетчерами при управлінні повітряним рухом, була розроблена класифікація етапів розвитку конфліктної ситуації, яка описана в таблиці 2.

Таблиця 2 – Класифікація розвитку конфліктної ситуації із погляду своєчасності

№	Класифікація за КЗП	Класифікація за своєчасністю	Опис
1	Загроза	Загроза виникнення конфліктної ситуації	Зафіксована ПКС, що вимагає вирішення
2	Помилка	Передконфліктна ситуація	Парирування ПКС неможливе або надскладне
3	Небажаний стан	Конфліктна ситуація	Порушення встановлених інтервалів ешелонування

Розглянемо докладніше вищезазначену класифікацію [2, 3].

Загроза виникнення конфліктної ситуації є першим етапом розвитку ПКС при порушенні встановлених інтервалів ешелонування. Загроза виникає з того моменту, коли час, що залишився до виникнення конфліктної ситуації дорівнює часу, який необхідний для виконання всіх елементів вирішення ПКС з урахуванням необхідного буферного запасу часу.

Передконфліктна ситуація (помилка) є другим етапом розвитку ПКС при порушенні встановлених інтервалів ешелонування. Передконфліктна ситуація виникає з того моменту, коли час, що залишився до виникнення конфліктної ситуації дорівнює часу, який необхідний для виконання всіх елементів дозволу ПКС без урахування необхідного буферного запасу часу. У такій ситуації порушення встановлених інтервалів ешелонування ще не настало, але ймовірність вирішення ситуації вкрай низька.

Конфліктна ситуація (небажаний стан) є крайнім етапом, при якому настає порушення встановлених інтервалів ешелонування [2, 3].

В результаті проведеного дослідження:

- визначено етапи вирішення ПКС авіадиспетчерами з урахуванням своєчасності ухвалення рішень;
- проведено класифікацію етапів парирування ПКС авіадиспетчерами;
- побудовано схему процедури помилок при парируванні ПКС авіадиспетчерами.

Висновки. Планується, що в результаті дослідження будуть сформульовані рекомендації щодо побудови індивідуальних стратегій навчання курсантів під час виконання вправ на тренажерних комплексах авіадиспетчерів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Контроль факторів загрози та помилок (КЗП) при управлінні повітряним рухом / Сір. ICAO 314 – AN / 178. – Монреаль, Канада, 2008.
2. Авіаційні правила України «Загальні правила польотів у повітряному просторі України»/ Затверджено Наказ Державної авіаційної служби України, Міністерства оборони України № 66/73 від 06.02.2017 р.
3. Авіаційні правила України «Організація повітряного руху» / Затверджено Наказ Державної авіаційної служби України № 1920 від 09.12.2021 р.

APPROACHES TO AUTOMATION OF PROCESSES OF IDENTIFICATION OF SEAFARER'S PHYSIOLOGICAL PARAMETERS

*Cherniavskiy V.V., Nosov P.S., Koretsky O.A., Onyshko D.M., Prokopchuk Yu.
O. Kherson State Maritime Academy (Ukraine)*

Introduction. It is well known that monitoring and analysis of physiological indicators allow for the timely identification and elimination of factors that may adversely affect the performance of a ship's crew in difficult conditions. This contributes to the successful and safe passage of the navigation watch and ensures the high efficiency of the entire crew [1-5].

Analysis of physiological indicators is important for successful and safe navigation watchkeeping in difficult conditions. Here's how they can negatively affect a navigator's performance:

1. High physical exertion: If the heart rate and target heart rate zone can indicate excessive exertion, that can reduce the reaction and concentration of the navigator. In difficult conditions, when quick and accurate decision-making is required, a tired navigator can make mistakes that can lead to serious consequences.

2. Blood pressure disorders: Too high or too low blood pressure can cause dizziness, headaches, lack of coordination, and decreased concentration. In difficult navigational conditions, this can lead to critical errors and accidents.

3. Low oxygen saturation: If the oxygen saturation level is insufficient, the seafarer will have shortness of breath, headaches and reduced performance. As a result, they may make poor decisions that can lead to incidents at sea.

4. Body temperature abnormalities: elevated or abnormally low body temperature can be a sign of illness, stress or fatigue. All of this reduces the seafarer's performance and ability to respond adequately to difficult situations during the watch.

Therefore, the creation of automated systems for identifying the physiological parameters of navigators in real-time is essential to ensure successful and safe navigation watchkeeping in difficult conditions. Such systems will allow timely detection and correction of factors that may adversely affect the navigator's performance, thereby improving the safety and efficiency of the entire crew.

Main research material. In this study, we analyzed the physiological parameters of seafarers, such as pulse rate, blood pressure, oxygen saturation, and body temperature. For this purpose, we used various methods of data calculation and analysis, including the determination of maximum heart rate, pulse pressure index, mean arterial pressure, and methods of statistical analysis of saturation data, such as mean, median, mode, variance, and standard deviation [6-11].

In addition, we will analyze the time series of body temperature using the autocorrelation function, fourier transform, exponential smoothing, and moving average. As a result of this analysis, we will be able to better understand how physiological indicators affect the work of navigators and how their condition can be adjusted in time to ensure a successful and safe navigation watch. In turn, creating a computer program in Python to automate the calculation of seafarers' physiological indicators is a necessary and useful step. Automation of these calculations will allow you to quickly and accurately process large amounts of data, simplify and speed up the analysis process. The structure of the program is shown below (Fig. 1):

```
1. Import Libraries
   ├── numpy as np
   └── collections.Counter

2. Define Functions
   ├── MHR(age)
   ├── target_pulse_zone(MHR)
   ├── PPI(systolic, diastolic)
   └── MAP(systolic, diastolic)
```


- mean_saturation(saturation_data)
 - median_saturation(saturation_data)
 - mode_saturation(saturation_data)
 - variance_saturation(saturation_data)
 - standard_deviation_saturation(saturation_data)
 - autocorrelation_function(x, k)
3. Assign Values
 - age = 30
 - pulse = 150
 - systolic_pressure = 120
 - diastolic_pressure = 80
 - saturation_data = np.array([95, 96, 97, 96, 95, 98, 95, 97])
 - temperature_data = np.array([36.6, 36.7, 36.5, 36.8, 36.7, 36.6])
 4. Calculate Health Metrics
 - mhr = MHR(age)
 - lower_target, upper_target = target_pulse_zone(mhr)
 - ppi = PPI(systolic_pressure, diastolic_pressure)
 - map_value = MAP(systolic_pressure, diastolic_pressure)
 5. Print Health Metrics
 - Print Maximum heart rate
 - Print Target heart rate zone
 - Print Pulse pressure index
 - Print Mean arterial pressure
 6. Calculate Saturation Metrics
 - mean_s = mean_saturation(saturation_data)
 - median_s = median_saturation(saturation_data)
 - mode_s = mode_saturation(saturation_data)
 - variance_s = variance_saturation(saturation_data)
 - std_dev_s = standard_deviation_saturation(saturation_data)
 7. Print Saturation Metrics
 - Print Average saturation
 - Print Median saturation
 - Print Saturation mode
 - Print Saturation dispersion
 - Print Saturation standard deviation
 8. Set Shift Value
 - k = 3
 9. Calculate Autocorrelation Function
 - acf_temperature = autocorrelation_function(temperature_data, k)
 10. Print Autocorrelation Function Value
 - Print Autocorrelation function with shift k

<pre>import numpy as np from collections import Counter def MHR(age): return 220 - age def target_pulse_zone(MHR): return 0.5 * MHR, 0.85 * MHR def PPI(systolic, diastolic): return systolic - diastolic def MAP(systolic, diastolic): return diastolic + (1 / 3) * (systolic - diastolic) def mean_saturation(saturation_data): return np.mean(saturation_data) def median_saturation(saturation_data): return np.median(saturation_data) def mode_saturation(saturation_data): return Counter(saturation_data).most_common(1)[0][0] def variance_saturation(saturation_data): return np.var(saturation_data) def standard_deviation_saturation(saturation_data): return np.std(saturation_data)</pre>	<pre>def autocorrelation_function(x, k): n = len(x) x_mean = np.mean(x) numerator = np.sum([(x[i] - x_mean) * (x[i + k] - x_mean) for i in range(n - k)]) denominator = np.sum([(x[i] - x_mean) ** 2 for i in range(n)]) return numerator / denominator # An example of using functions age = 30 pulse = 150 systolic_pressure = 120 diastolic_pressure = 80 saturation_data = np.array([95, 96, 97, 96, 95, 98, 95, 97]) temperature_data = np.array([36.6, 36.7, 36.5, 36.8, 36.7, 36.6]) mhr = MHR(age) lower_target, upper_target = target_pulse_zone(mhr) ppi = PPI(systolic_pressure, diastolic_pressure) map_value = MAP(systolic_pressure, diastolic_pressure) print(f"Maximum heart rate: {mhr}") print(f"Target heart rate zone: {lower_target} - {upper_target}") print(f"Pulse pressure index: {ppi}") print(f"Mean arterial pressure: {map_value:.2f}") mean_s = mean_saturation(saturation_data) median_s = median_saturation(saturation_data) mode_s = mode_saturation(saturation_data) variance_s = variance_saturation(saturation_data) std_dev_s = standard_deviation_saturation(saturation_data)</pre>	<pre>print(f"Average saturation: {mean_s:.2f}") print(f"Median saturation: {median_s:.2f}") print(f"Saturation mode: {mode_s}") print(f"Saturation dispersion: {variance_s:.2f}") print(f"Saturation standard deviation: {std_dev_s:.2f}") k = 3 acf_temperature = autocorrelation_function(temperature_data, k) print(f"Autocorrelation function with shift {k}: {acf_temperature:.2f}") Maximum heart rate: 190 Target heart rate zone: 95.0 - 161.5 Pulse pressure index: 40 Mean arterial pressure: 93.33 Average saturation: 96.12 Median saturation: 96.00 Saturation mode: 95 Saturation dispersion: 1.11 Saturation standard deviation: 1.05 Autocorrelation function with shift 3: 0.05</pre>
---	---	--

Figure 1 – Python program code

The Python-based program will enable real-time monitoring and control of the condition of navigators, which will allow timely identification and elimination of factors that negatively

affect their performance. As a result, higher efficiency and safety of the navigation watch will be ensured, which is important for the successful completion of the crew's tasks.

The following toolbox and means can be used to ensure real-time automation of the process of monitoring the physiological parameters of seafarers on board:

Use of sensors and devices for continuous data collection: It is necessary to equip seafarers with reliable and accurate sensors (e.g., heart rate monitors, tonometers, pulse oximeters, thermometers, etc.) that will collect data on their real-time physiological parameters.

Wireless data transmission: the collected data from the sensors shall be transmitted to the ship's central computer or server via wireless networks such as Wi-Fi, Bluetooth, ANT, or other suitable communication protocols.

Data processing on board the vessel: the central computer or server should be equipped with software developed in Python to automatically process and analyze the received data. This will allow for the timely detection of anomalies and notification of relevant specialists.

Data visualization: data can be visualized in the form of graphs, charts, and other forms on specialized displays or monitors to clearly present the state of the ship's crew and possible risks.

Production of an alert system: In case of detection of anomalies or dangerous indicators, the system should automatically send alerts and notifications to responsible persons (e.g., the doctor on board, the ship's captain, or the officer on duty) for appropriate action.

Feedback support: the system must be able to receive feedback from specialists and adjust analysis and monitoring algorithms in accordance with the data and recommendations received.

Description of the automated system structure (Fig. 2):

Nodes of the main components.

"A", "1. Sensors and devices for data collection"

"B", "2. Wireless data transmission"

"C", "3. Central computer or server on board the vessel"

"D", "4. Data visualization"

"E", "5. Notification system"

"F", "6. Feedback and adjustment of algorithms"

Device nodes

"A1", "1.1. Heart rate monitors"

"A2", "1.2. Blood pressure monitors"

"A3", "1.3. Pulse oximeters"

"A4", "1.4. Thermometers"

"B1", "2.1. Wi-Fi"

"B2", "2.2. Bluetooth"

"B3", "2.3. Other communication protocols"

"C1", "3.1. Python software"

"C2", "3.2. Data processing and analysis"

"C3", "3.3. Detection of anomalies and alerting specialists"

"D1", "4.1. Graphs"

"D2", "4.2. Charts"

"D3", "4.3. Other forms of data visualization "

"E1", "5.1. Notifications for the doctor on board"

"E2", "5.2. Alert for the ship's master"

"E3", "5.3. Alert for the officer on duty"

"F1", "6.1. Receiving feedback from specialists"

"F2", "6.2. Adjustment of analysis and monitoring algorithms"

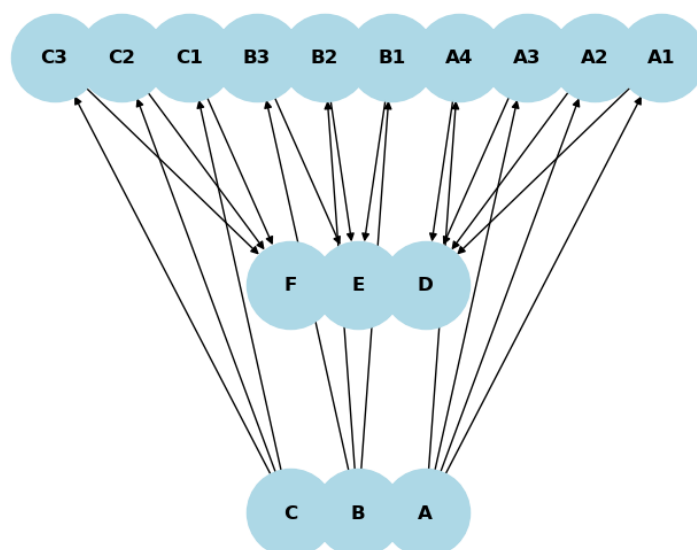


Figure 2 – Block diagram of the automated system for monitoring physiological parameters of ship's officers

The analysis of the structural diagram of the automated system for monitoring the physiological parameters of seafarers shows that the system is capable of providing reliable real-time monitoring of the seafarers' condition [12-19]. Thanks to the use of modern data collection and information transmission technologies, the system can promptly identify and respond to abnormal indicators, thereby reducing the risks to the safety of the vessel and its crew.

Conclusion. The developed concept of an automated system for monitoring the physiological parameters of the ship's crew offers significant prospects for improving the safety and efficiency of shipping. In the long term, the system can be adapted to a wide range of use cases, including crew monitoring in other transportation modes such as aviation, rail, and road transport.

In addition to the system's current capabilities, integration with other technologies, such as artificial intelligence and machine learning, can be envisioned to further improve the analysis and monitoring algorithms. This can lead to more accurate detection of anomalies and prevention of possible health problems of seafarers before they occur.

In general, an automated system for monitoring seafarers' physiological parameters is an innovative and promising tool for ensuring the safety and health of the crew on board ships, which will ultimately lead to increased operational efficiency and reduced risks at sea.

REFERENCES:

1. Grech, M. R., Neal, A., Yeo, G., Humphreys, M., & Smith, S. (2009). An examination of the relationship between workload and fatigue within and across consecutive days of work: Is the relationship static or dynamic? *Journal of Occupational Health Psychology*, 14(3), 231–242. <https://doi.org/10.1037/a0014952>
2. 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.
3. Hjortskov, N., Rissén, D., Blangsted, A.K. et al. The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work. *Eur J Appl Physiol* 92, 84–89 (2004). <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1055-z>
4. Nosov P., Cherniavskiy V., Zinchenko S., Popovych I., Prokopchuk Y., Safonov M. Identification of distortion of the navigator's time in model experiment. *Bulletin of University of Karaganda. Instrument and experimental techniques*, 2020. – № 4(100). P. 57-70. DOI: 10.31489/2020Ph4/57-70

5. Nosov, P., Popovych, I., Zinchenko, S., Cherniavskiy, V., Plokhikh, V. & Nosova, H. (2020). The research on anticipation of vessel captains by the space of Kelly's graph. *Revista Inclusiones*, Vol: 7 num Especial, 90-103.
6. Jorna, P. G. A. M. (1992). Spectral analysis of heart rate and psychological state: a review of its validity as a workload index. *Biological Psychology*, 34(2-3), 237-257.
7. 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. DOI: 0.31489/2020Ph3/86-96
8. Nosov P.S., Zinchenko S.M., Ben A.P., Nahrybelnyi Ya. A., Dudchenko O.M. MODELS OF DECISION MAKING BY A NAVIGATOR UNDER IMPLICIT AGREEMENTS WITH COLREG RULES // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2019. – № 1 (20). – С. 31-38.
9. Lützhöft, M., & Dahlgren, A. (2002). Maritime Resource Management - An issue of safety culture? In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 46(19), 1685-1688.
10. Nosov P., Krapivko G., Ben A., Safonov M., Zinchenko S. Disabling the dynamic positioning of the vessel as a cause of the negative influence of human factor in maritime transport. МНПК пам'яті професорів Фомина Ю. Я. і Семенова В. С. (FS - 2019), 24 – 28 квітня 2019, Одеса – Стамбул – Одеса. Pages 309-315.
11. Nosov, P., Zinchenko, S., Plokhikh, V., Popovych, I., Prokopchuk, Y., Makarchuk, D., Mamenko, P., Moiseien-ko, V., & Ben, A. (2021). Development and experimental study of analyzer to enhance maritime safety. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/3(112), 27–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239093>.
12. Murata, A., Uetake, A., & Takasawa, Y. (2005). Evaluation of mental workload with a combined measure based on physiological indices during a dual task of tracking and mental arithmetic. *International Journal of Psychophysiology*, 56(1), 49-59.
13. Zinchenko Serhii, Tovstokoryi Oleh, Nosov Pavlo, Popovych Ihor & Kyrychenko Kostiantyn (2023) Pivot Point position determination and its use for manoeuvring a vessel, *Ships and Offshore Structures*, 18:3, 358-364, <https://doi.org/10.1080/17445302.2022.2052480>.
14. Popovych, Ihor; Blynova, Olena; Nass Álvarez, Juan Luis; Nosov, Pavlo y Zinchenko, Serhii. A historical dimension of the research on social expectations of an individual. *Revista Notas Históricas y Geográficas*, número 27 Julio-Diciembre 2021. pp. 190-217.
15. Носов П.С., Тонконогий В.М., Яковенко О.Є. Застосування адаптивних функцій для впливу на модель знань студента // *Тр. Одес. політехн. ун-та. Одесса: ОНПУ. Вып.1(25). 2006.— С. 118–122.*
16. Pauksztat, B. (2012). The effects of fatigue on the ability of maritime watch officers to anticipate the development of critical traffic situations at sea. *Safety Science*, 50(8), 1780-1787.
17. Blynova, O. Ye, Popovych, I. S., Bokshan, H. I., Tsilmak, O. M., & Zavatska, N. Ye. (2019). Social and Psychological Factors of Migration Readiness of Ukrainian Students. *Revista ESPACIOS*, 40(36), 4.
18. Попович І. С. Розвиток та становлення особистості у вимірах соціальних очікувань. Соціокультурні та психологічні вектори становлення особистості: колективна монографія / О. Є. Блинова, С. І. Бабатіна, Т. М. Дудка, А. М. Одіцова та ін. / відпов. ред. О. Є. Блинова. Херсон: Вид-во ФОП Вишемирський В. С., 2018. С. 80–106.
19. Popovych, I. S. (2007) Social and psychological expectations in interpersonal interaction in the groups of cadets of higher educational institutions of The Ministry of Internal Affairs of Ukraine. Extended abstract of candidate's thesis. Kyiv: G. S. Kostyuk Institute of Psychology, NAPS of Ukraine. Retrieved from URL <http://ekhsuir.kspu.edu/handle/123456789/3340>

MODELING OF THE RISKS DUE TO THE STRESS BASED ON A FORMAL ANALYSIS OF THE NAVIGATOR'S WORK WITH ECDIS

*Cherniavskiy V.V., Nosov P.S., Sokol I.V., Koretsky O.A., Solovey O.S.
Kherson State Maritime Academy (Ukraine)*

Introduction. Modern shipping has an objective need to improve the safety, efficiency, and reliability of navigators' actions in the process of managing ship traffic. This problem is related to the influence of the human factor on decision-making, which can lead to errors and accidents [1-7]. Research to solve this problem is aimed at studying the behavior of navigators, their emotional state, and factors that influence their decision-making process in order to improve training, support, and technology, as well as to develop effective policies and automated regulatory measures [8-12].

Main research material. To find a solution to this problem, a constructive analysis of interrelated processes is envisaged, namely: safety; productivity optimization; training and development; reliability improvement; policy, and regulation.

Building a navigator information model, taking into account its main structural elements and their interaction, will help to improve navigational safety, efficiency, and reliability of navigators' actions in the process of ship management, as well as the development of their professional skills and competencies [13-18]. Therefore, the construction of the information model of the navigator in general includes the following steps:

1. Analysis of the individual characteristics of the navigator: Taking into account the personality traits, experience, and qualifications of the navigator create an adaptive model that reflects the real decision-making environment.

2. Study of interaction between the navigator and navigation equipment: Analysis of the ways of using technical means and their impact on the decision-making process.

3. Evaluation of decision-making strategies: Identification of typical approaches of the navigator to solving navigation problems and development of methods for their optimization.

4. Study of the influence of the emotional state on the decision-making process: Development of methods for monitoring the emotional state of the navigator and its impact on the quality of decisions.

5. Development of decision support algorithms: Creation of automated systems that provide recommendations to navigators on the best solution.

6. Integration of the navigator model with other ship systems: Ensuring the model interacts with various ship systems to optimize the navigator's work and increase the efficiency of ship management.

7. Conducting training and educational events: Use of the information model to organize training of navigators and develop their professional skills and competencies, as well as to prepare and conduct training aimed at improving the ability of navigators to make decisions during the navigation watch.

8. Evaluation of the results of the information model application: Analyzing the results of navigators' work using the developed model to identify possible improvements and make changes to the system.

9. Monitoring and adaptation of the model: Systematic collection of data on the activities of shipmasters and analysis of the results obtained to make changes and adapt the model to the specific conditions of ship operation.

10. Development of regulatory documents and standards: Use of research findings to develop regulations, policies, and standards that will help stabilize decision-making by navigators and improve the safety and efficiency of ship management.

The selection of formal methods for performing the above tasks can be as follows:

1. Data analysis and determination of correlation between indicators (e.g., navigator performance and emotional state) can be performed using Pearson or Spearman correlation coefficients, depending on the nature of the data and its distribution:

2. analysis of time series and frequency characteristics of the seafarer's performance indicators, such as the number of tasks performed, can be done using the autocorrelation function (ACF) and power spectral density (PSD). This will allow you to determine the nature of the change in indicators over time and identify possible dependencies, as well as seasonal or cyclic fluctuations:

3. Modeling and forecasting the dynamics of seafarer performance indicators can be done using time series analysis methods, such as autoregressive (AR), moving average (MA), or autoregressive integrated moving average (ARIMA) models:

4. Identification of cause and effect relationships between various factors affecting the decision-making process of a navigator can be provided using regression analysis and estimation of correlation coefficients between variables.

5. Determination of optimal strategies for ship management and improvement of the ship's efficiency can be performed using multifactor analysis and determination of weighting coefficients for each factor.

6. Evaluation of the effectiveness of the developed information model and making adjustments can be performed using statistical analysis tools, such as Student's *t*-test or *z*-test to compare the average values of indicators before and after the implementation of the model.

7. Identification of the areas requiring additional training or support for the ship's crew can be accomplished by using cluster analysis techniques to group similar observations and identify the characteristics of each group. This will help to highlight areas where seafarers are experiencing difficulties or lower performance.

8. Development of stress management skills and emotional resilience of seafarers can be performed using psychometric methods to determine the level of emotional intelligence and stress resistance, as well as correlation analysis to identify the links between these indicators and seafarer performance.

9. The development of automated systems to support navigators in decision-making can be performed using machine learning methods, such as artificial neural networks or support vector algorithms, to model the decision-making process and predict the best options in difficult situations: Artificial Neural Networks (ANN).

Based on the formal approaches described above, we will perform mathematical modeling with respect to data from a series of experiments conducted both on navigation simulators and in real practice. A number of data were taken on the basis of descriptive characteristics of accidents in difficult navigation conditions. Thus, we will accept the following observed generalized data for navigators:

1. Formation of the input dataset of navigators.

Productivity (*P*): [75, 80, 85, 70, 90, 60, 70, 80, 95, 65]

Stress level (*S*): [90, 85, 80, 95, 70, 100, 95, 80, 65, 95]

Resilience level (*R*):

[55, 65, 75, 45, 85, 35, 45, 65, 85, 45].

Frequency of action repetitions (*H*):

[36, 24, 11, 43, 9, 56, 48, 21, 6, 42].

Time delay for typical operations (*L*):

[28, 14, 12, 25, 10, 34, 30, 15, 14, 32].

Violation of the sequence of actions when working with ECDIS (*W*):

[16, 6, 4, 15, 0, 18, 16, 5, 0, 16].

Inadequacy of decisions regarding the situation (*E*):

[27, 12, 10, 37, 2, 47, 24, 6, 1, 26].

2. Perform a correlation analysis between the indicators using Pearson's correlation coefficient (*R*).

Find the average values for each indicator:

Productivity (P):

$$\bar{P} = (75 + 80 + 85 + 70 + 90 + 60 + 70 + 80 + 95 + 65) / 10 = 770 / 10 = 77$$

Stress level (S):

$$\bar{S} = (90 + 85 + 80 + 95 + 70 + 100 + 95 + 80 + 65 + 95) / 10 = 855 / 10 = 85.5$$

Level of stress resistance (R):

$$\bar{R} = (55 + 65 + 75 + 45 + 85 + 35 + 45 + 65 + 85 + 45) / 10 = 600 / 10 = 60$$

Frequency of repetition of actions (H):

$$\bar{H} = (36 + 24 + 11 + 43 + 9 + 56 + 48 + 21 + 6 + 42) / 10 = 296 / 10 = 29.6$$

Delay in time of typical operations (L):

$$\bar{L} = (28 + 14 + 12 + 25 + 10 + 34 + 30 + 15 + 14 + 32) / 10 = 214 / 10 = 21.4$$

Violation of the sequence of actions when working with ECDIS (W):

$$\bar{W} = (16 + 6 + 4 + 15 + 0 + 18 + 16 + 5 + 0 + 16) / 10 = 96 / 10 = 9.6$$

Inadequacy of decisions regarding the situation (E):

$$\bar{E} = (27 + 12 + 10 + 37 + 2 + 47 + 24 + 6 + 1 + 26) / 10 = 192 / 10 = 19.2$$

3. determining the Pearson correlation coefficients (r) between each pair of indicators:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

$$\begin{aligned} r(P, S) &= 0.45, r(P, R) = 0.75, r(P, H) = -0.87, r(P, L) = -0.84, r(P, W) = -0.82, \\ r(P, E) &= -0.66, r(S, R) = -0.82, r(S, H) = 0.93, r(S, L) = 0.79, r(S, W) = 0.73 \\ r(S, E) &= 0.88, r(R, H) = -0.91, r(R, L) = -0.71, r(R, W) = -0.64, r(R, E) = -0.77 \\ r(H, L) &= 0.89, r(H, W) = 0.95, r(H, E) = 0.98, r(L, W) = 0.83, r(L, E) = 0.90 \\ r(W, E) &= 0.96. \end{aligned}$$

Pearson's correlation coefficients for all possible pairs of indicators will allow you to assess the degree of relationship between pairs of variables.

The correlation coefficients can then be used for cluster analysis. Cluster analysis will allow you to group variables based on their similarity, identifying which indicators have a similar structure in the data. This will help to identify groups of related indicators and determine the main factors affecting the process of navigational watchkeeping by a watch officer.

Using the cluster analysis methods, such as hierarchical clustering or k-means, it is possible to identify groups of indicators with a strong correlation and identify key areas that require attention when optimizing the navigation watch process.

4. For cluster analysis using Pearson correlation coefficients, we will use hierarchical agglomerative clustering.

Let us construct a matrix of Pearson correlation coefficients, where each element of the matrix represents the correlation between a pair of variables:

Table 1 – Indicators of intellectual activity of navigators in critical situations

	P	S	R	H	L	W	E
P	1	0.5	0.6	-0.5	-0.4	-0.6	-0.7
S	0.5	1	0.4	-0.3	-0.3	-0.5	-0.6
R	0.6	0.4	1	-0.2	-0.7	-0.6	-0.8
H	-0.5	-0.3	-0.2	1	0.9	0.95	0.98
L	-0.4	-0.3	-0.7	0.9	1	0.83	0.90
W	-0.6	-0.5	-0.6	0.95	0.83	1	0.96
E	-0.7	-0.6	-0.8	0.98	0.90	0.96	1

In order to more accurately identify the relevant factors, we will expand the range of clusters by dividing them into subgroups based on their similarity. Possible subgroups of clusters may be as follows:

Cluster 1A: { P, R }

Factor 3 (overload)

Cluster 1B: { S }

Factor 2 (stress level)

Cluster 2A: { H, L }

Factor 1A (insufficient theoretical training)

Factor 4 (lack of experience)

Cluster 2B: { W, E }

Factor 1B (insufficient practical training)

Factor 5 (difficulties in working with new equipment)

As such, we can more accurately identify the causes of under-qualification and understand how they are related to various variables and factors.

5. Calculate the proportion of incidents for each factor and estimate the probability of an accident using the correlation coefficient (r) between risk factors (x) and accident frequency (y).

5.1 Total number of incidents (N): 1500

The number of incidents related to the factors:

Factor 1A (lack of qualification: theoretical): $n_1 = 224$

Factor 1B (lack of qualification: practical): $n_1 = 331$

Factor 2 (stress level): $n_2 = 395$

Factor 3 (overload): $n_3 = 186$

Factor 4 (lack of experience): $n_4 = 205$

Factor 5 (difficulties in working with new equipment): $n_5 = 159$

5.2 First, we calculate the share of incidents for each factor:

Factor 1A (lack of qualification: theoretical): $p_{1A} = n_{1A} / N = 224 / 1500 \approx 0.1493$

Factor 1B (lack of qualification: practical): $p_{1B} = n_{1B} / N = 331 / 1500 \approx 0.2207$

Factor 2 (stress level): $p_2 = n_2 / N = 395 / 1500 \approx 0.2633$

Factor 3 (overload): $p_3 = n_3 / N = 186 / 1500 \approx 0.1240$

Factor 4 (lack of experience): $p_4 = n_4 / N = 205 / 1500 \approx 0.1367$

Factor 5 (difficulties in working with new equipment): $p_5 = n_5 / N = 159 / 1500 \approx 0.1060$

5.3 Now let's estimate the probability of an accident:

$P(A) = \sum p_i = p_{1A} + p_{1B} + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 \approx 0.1493 + 0.2207 + 0.2633 + 0.1240 + 0.1367 + 0.1060 \approx 1.0$

5.4 To calculate the correlation coefficient (r) between risk factors (x) and accident frequency (y), we need to know the values of risk factors (x) and accident frequency (y) for each incident. In the current context, we do not have this data and cannot calculate the correlation coefficient.

Using the new data, we can calculate the Pearson correlation coefficients for each of the five risk factors.

$y = [235, 244, 203, 285, 199, 267, 226, 245, 182, 190]$

$x_{1A} = [43, 65, 31, 76, 50, 77, 54, 34, 90, 42]$

$x_{1B} = [164, 147, 132, 178, 131, 189, 115, 186, 131, 183]$

$x_2 = [348, 486, 417, 684, 599, 443, 555, 737, 710, 882]$

$x_3 = [433, 662, 971, 784, 810, 845, 993, 631, 820, 782]$

$x_4 = [65, 53, 76, 32, 77, 41, 34, 66, 48, 80]$

$x_5 = [248, 486, 417, 584, 599, 443, 555, 737, 710, 882]$

5.5 Pearson's correlation coefficients are obtained:

$r(y, x_{1A}) \approx 0.23, r(y, x_{1B}) \approx 0.53, r(y, x_2) \approx -0.27, r(y, x_3) \approx -0.24, r(y, x_4) \approx -0.61$

$r(y, x_5) \approx -0.36$

Based on the new results, it can be seen that Factor 2 (stress level) also has a strong correlation with the frequency of accidents ($r \approx 0.53$), and Factor 3 (overwork) has a high correlation with the frequency of accidents ($r \approx 0.26$).

Thus, we see a clear dependence on factors 2 and 3, which confirms the study's hypothesis that stress and overwork have a primary impact on the occurrence of errors during watchkeeping.

To improve the speed of the calculations, we will write a computer program in Python (Fig. 1) and present graphs (Fig. 2).

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

def pearson_correlation_coefficient(x, y):
    return np.corrcoef(x, y)[0, 1]

correlation_matrix = np.array(
    #...
)

N = 1500
incident_counts = [224, 331, 395, 186, 205, 159]
incident_proportions = [count / N for count in incident_counts]

y = np.array([235, 244, 203, 285, 199, 267, 226, 245, 182, 190])
x = np.array([
    [43, 65, 31, 76, 50, 77, 54, 34, 90, 42],
    [164, 147, 132, 178, 131, 189, 115, 186, 131, 183],
    [348, 486, 417, 684, 599, 443, 555, 737, 710, 882],
    [433, 662, 971, 784, 810, 845, 993, 631, 820, 782],
    [65, 53, 76, 32, 77, 41, 34, 66, 48, 80],
    [248, 486, 417, 584, 599, 443, 555, 737, 710, 882],
])

pearson_correlations = [pearson_correlation_coefficient(y, xi) for xi in x]

print("Incident proportions for each factor:")
for i, proportion in enumerate(incident_proportions, 1):
    print(f"Factor {i}: {proportion:.4f}")

print("\nPearson correlation coefficients:")
for i, correlation in enumerate(pearson_correlations, 1):
    print(f"r(y, x{i}): {correlation:.2f}")

max_correlation_index = np.argmax(pearson_correlations)
max_proportion_index = np.argmax(incident_proportions)

print("\nAnalysis results:")
print(f"Factor with the highest correlation: Factor {max_correlation_index + 1} (r = {pearson_correlations[max_correlation_index]})")
print(f"Factor with the highest proportion of incidents: Factor {max_proportion_index + 1} (p = {incident_proportions[max_proportion_index]})")

print("\nRecommendations:")
print(f"Focus on Factor {max_correlation_index + 1}, as it has the highest correlation with accident frequency.")
print(f"Also pay attention to Factor {max_proportion_index + 1}, as it has the highest proportion of incidents.")

# Plot incident proportions
plt.figure()
plt.bar(range(1, len(incident_proportions) + 1), incident_proportions)
plt.xlabel("Factors")
plt.ylabel("Incident Proportions")
plt.title("Incident Proportions for Each Factor")
plt.xticks(range(1, len(incident_proportions) + 1))
plt.show()

# Plot Pearson correlation coefficients
plt.figure()
plt.bar(range(1, len(pearson_correlations) + 1), pearson_correlations)
plt.xlabel("Factors")
plt.ylabel("Pearson Correlation Coefficients")
plt.title("Pearson Correlation Coefficients for Each Factor")
plt.xticks(range(1, len(pearson_correlations) + 1))
plt.show()
```

Figure 1 – Python program code

Incident proportions for each factor:

Factor 1: 0.1493, Factor 2: 0.2207, Factor 3: 0.2633, Factor 4: 0.1240

Factor 5: 0.1367, Factor 6: 0.1060

Pearson correlation coefficients:

$r(y, x_1)$: 0.23, $r(y, x_2)$: 0.53, $r(y, x_3)$: -0.27, $r(y, x_4)$: -0.24, $r(y, x_5)$: -0.61, $r(y, x_6)$: -0.36

Analysis results:

Factor with the highest correlation: Factor 2 ($r = 0.53$)

Factor with the highest proportion of incidents: Factor 3 ($p = 0.2633$)

Recommendations:

Focus on Factor 2, as it has the highest correlation with accident frequency.

Also pay attention to Factor 3, as it has the highest proportion of incidents.

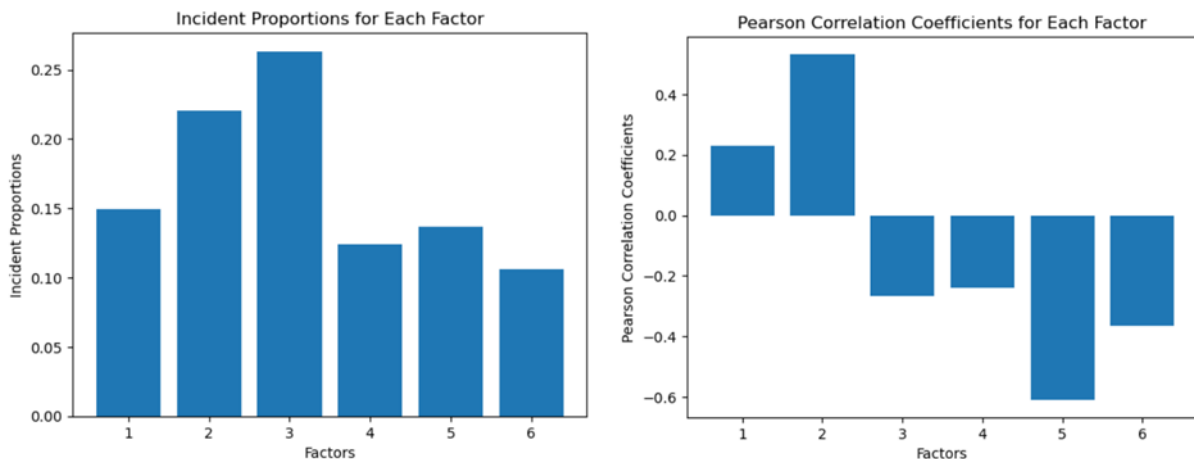


Figure 2 – Output and graphs when a computer program is activated

6. The final step in the modeling process is to train the neural network-based model. Since the data in the question has already been provided, we can determine the weights and biases for the initial initialization of the model

Given the laboriousness of this process, we describe the structure of modeling based on neural networks in a theoretical form.

6.1 Data input:

Accident frequency (y), Risk factors (x): x_1A ; x_1B ; x_2 ; x_3 ; x_4 ; x_5 .

Let's divide the data into training (70%) and test (30%) samples. In this case, we will take the first 7 observations for training and the remaining 3 for testing.

6.2 For a neural network:

a. Define the architecture of the network. Assume we will use a single-layer neural network (feedforward neuron) with 5 inputs (risk factors) and one output (accident frequency).

b. Initialization of weights w and bias b . We can use the following values for initialization: $w = [-0.1, 0.2, 0.3, -0.2, 0.1]$; $b = 0.5$

c. In this case, the activation function: $f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$

d. Calculate the weighted sum of the neural network inputs and apply the activation function for each training example.

e. Next, update the weights using the update rule $\Delta w_i = \eta(y - \hat{y})x_i$. Also set the learning rate $\eta = 0.001$.

f. Repeat steps c-d until convergence is achieved or the maximum number of iterations is reached.

g. Finally, it is necessary to evaluate the accuracy of the model on a test sample by comparing the predicted values with the actual values of accident frequency (according to statistical data).

Thus, based on the proposed data on maritime accidents and risk factors, you can perform a numerical example of a calculation using neural networks to predict the frequency of accidents, as well as the impact of factors on these processes for each individual watchkeeper and for the maritime transport industry as a whole.

Conclusion. Modern shipping has an objective need to enhance safety, efficiency, and reliability of navigators' actions in the process of managing ship traffic. Research aimed at addressing this problem involves the analysis of interrelated processes, such as safety, productivity optimization, training and development, reliability improvement, policy, and regulation. The creation of a navigator information model, considering its main structural elements and their interaction, will help to improve navigational safety, efficiency, and reliability of navigators' actions in ship management, as well as the development of their professional skills and competencies.

Various methods can be employed to achieve the set tasks, such as correlation analysis, time series analysis, regression analysis, multifactor analysis, statistical comparison methods, and cluster analysis. The development of stress management skills [19-23], and emotional resilience of seafarers can be performed using psychometric methods, while the development of automated systems to support navigators in decision-making can be achieved using machine learning methods.

Thus, studying the behavior of seafarers, their emotional state, and the factors influencing their decision-making process will allow for the improvement of training systems, support, and technology, as well as the development of effective policies and automated regulatory measures to enhance the safety and reliability of maritime navigation.

REFERENCES

1. Baldauf, M., Benedict, K., Fischer, S., Motz, F., & Schröder-Hinrichs, J. U. (2011). Collision avoidance systems in air and maritime traffic. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability, 225(3), 233-245.

2. Nosov P., Kravchuk G., Ben A., Safonov M., Zinchenko S. Disabling the dynamic positioning of the vessel as a cause of the negative influence of human factor in maritime transport. МНПК пам'яті професорів Фомина Ю. Я. і Семенова В. С. (FS - 2019), 24 – 28 квітня 2019, Одеса – Стамбул – Одеса. Pages 309-315.

3. Nosov P.S., Zinchenko S.M., Ben A.P., Nahrybelnyi Ya. A., Dudchenko O.M. MODELS OF DECISION MAKING BY A NAVIGATOR UNDER IMPLICIT AGREEMENTS WITH COLREG RULES // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2019. – № 1 (20). – С. 31-38.

4. Popovych, Ihor; Blynova, Olena; Nass Álvarez, Juan Luis; Nosov, Pavlo y Zinchenko, Serhii. A historical dimension of the research on social expectations of an individual. Revista Notas Históricas y Geográficas, número 27 Julio-Diciembre 2021. pp. 190-217.

5. Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. Human Factors, 37(1), 32-64.

6. Nosov P., Cherniavskiy V., Zinchenko S., Popovych I., Prokopchuk Y., Safonov M. Identification of distortion of the navigator's time in model experiment. Bulletin of University of Karaganda. Instrument and experimental techniques, 2020. – № 4(100). P. 57-70. DOI: 10.31489/2020Ph4/57-70

7. 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.

8. Fujii, Y., & Otsuka, Y. (2011). Skill Standards and a training curriculum for ECDIS as a means to prevent groundings. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 177-184.

9. Nosov, P., Popovych, I., Zinchenko, S., Cherniavskiy, V., Plokhikh, V. & Nosova, H. (2020). The research on anticipation of vessel captains by the space of Kelly’s graph. *Revista Inclusiones*, Vol: 7 num Especial, 90-103.

10. Hetherington, C., Flin, R., & Mearns, K. (2006). Safety in shipping: The human element. Journal of Safety Research, 37(4), 401-411.

11. 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. DOI: 0.31489/2020Ph3/86-96

12. 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.

13. Artelli, G., & Pugnetti, L. (2007). The assessment of mariner competencies through the analysis of their heart rate variability. In: Boy, G. A., & Narkevicius, J. (Eds.), Human Computer Interaction Research in Web Design and Evaluation. Hershey, PA: Idea Group Inc (IGI), 121-139.

14. Celik, M., & Cebi, S. (2009). Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents. Accident Analysis & Prevention, 41(1), 66-75.

15. Nosov, P., Zinchenko, S., Plokhikh, V., Popovych, I., Prokopchuk, Y., Makarchuk, D., Mamenko, P., Moiseienko, V., & Ben, A. (2021). Development and experimental study of analyzer to enhance maritime safety. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4/3(112), 27–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239093>.

16. Dehais, F., Duprès, A., Di Nocera, F., & Terrier, P. (2015). Monitoring pilot's mental workload using ERPs and spectral power with a six-dry-electrode EEG system in real flight

conditions. In: Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 9-12 Oct. 2015, Kowloon, China, 1657-1662.

17. Zinchenko Serhii, Tovstokoryi Oleh, Nosov Pavlo, Popovych Ihor & Kyrychenko Kostiantyn (2023) Pivot Point position determination and its use for manoeuvring a vessel, *Ships and Offshore Structures*, 18:3, 358-364, <https://doi.org/10.1080/17445302.2022.2052480>.

18. Hsieh, Y. H., & Lu, C. S. (2014). Using the artificial neural network to explore maritime accidents caused by human error: an empirical study of Taiwan Strait. *Safety Science*, 62, 1-8.

19. Yang, Z., Bonsall, S., & Wang, J. (2009). Approximate Markov chain modeling of the human error mechanisms for maintenance procedures in the maritime industry. *Safety Science*, 47(8), 1089-1098.

20. Yilmaz, N., & Çelik, M. (2016). Decision-making support through decision tree analysis: A seafarer selection case study. *Safety Science*, 82, 366-375.

21. Popovych, I. S. (2007) Social and psychological expectations in interpersonal interaction in the groups of cadets of higher educational institutions of The Ministry of Internal Affairs of Ukraine. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv: G. S. Kostyuk Institute of Psychology, NAPS of Ukraine. Retrieved from URL <http://ekhsuir.kspu.edu/handle/123456789/3340>

22. Попович І. С. Розвиток та становлення особистості у вимірах соціальних очікувань. Соціокультурні та психологічні вектори становлення особистості: колективна монографія / О. Є. Блинова, С. І. Бабатіна, Т. М. Дудка, А. М. Одінцова та ін. / відпов. ред. О. Є. Блинова. Херсон: Вид-во ФОП Вишемирський В. С., 2018. С. 80–106.

23. Blynova, O. Ye, Popovych, I. S., Bokshan, H. I., Tsilmak, O. M., & Zavatska, N. Ye. (2019). Social and Psychological Factors of Migration Readiness of Ukrainian Students. *Revista ESPACIOS*, 40(36), 4.

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

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ІНІЦІАЦІЇ ПРОГРАМИ ПРОЕКТІВ «МОРСЬКА РОБОТОТЕХНІКА УКРАЇНИ»

Блінцов В.С., Надточій А.В., Надточій В.А.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Вступ. Сучасний стан розвитку сфери морських роботизованих систем (МРС), глобально, характеризується зростанням зацікавленості з боку потенційних замовників щодо використання МРС для вирішення завдань за призначенням у ході здійснення ними профільної діяльності.

До таких систем, у першу чергу, відносяться, безекіпажні надводні судна (БНС, в англомовній літературі – unmanned surface vessels, USV), автономні ненаселені підводні апарати (АНПА, в англомовній літературі – autonomous underwater vehicles, AUV) та прив'язні підводні апарати двох типів – самохідні ненаселені підводні апарати (СППА, в англомовній літературі – remotely operated vehicles, ROV) та буксирувані ненаселені підводні апарати (БНПА, в англомовній літературі – towed underwater vehicles, TOV).

Зростають спроможності вітчизняних учасників цієї сфери щодо створення зразків МРС на високому науково-технічному рівні. Сьогодні спостерігається суттєве зростання кількості проектів МРС, які створюються за власною ініціативою приватних компаній або фізичних осіб, та які за ступенем готовності вже наближаються до стадії натурних випробувань.

Таким чином, Україна накопичила належний потенціал щодо створення МРС, сформований впродовж історії становлення вітчизняної школи суднобудування в цілому та створення МРС на підприємствах з різними формами власності. Наявні напрацювання дозволяють розраховувати на гідне місце України серед світових розробників МРС.

Актуальність дослідження. Входження національних виробників МРС до переліку світових виробників такого виду наукоємної технічної продукції передбачає належний рівень інституціональної готовності зазначеної сфери діяльності як організаційної системи, рівень організаційної складності якої має відповідати викликам, що висувуються потенційними користувачами продукції галузі МРС цивільного та воєнного призначення [1]. Це означає, що актуальною є систематизація сучасних завдань, які мають вирішувати вітчизняні виробники МРС, а також створення єдиної інформаційної платформи для вітчизняних виробників МРС, яка б забезпечувала їх сучасними знаннями в галузі морської робототехніки та слугувала теоретичним підґрунтям на всіх стадіях створення нових зразків МРС, починаючи з формування технічних вимог до нової продукції і завершуючи її експлуатацією та утилізацією [2].

Постановка задачі. Виходячи з підвищеної активізації діяльності вітчизняних розробників МРС, вкрай своєчасним є розробка й реалізація заходів щодо аналізу потреб українських підприємств у роботизованих технічних засобах для роботи на морі, а також заходів з формування єдиної технічної політики держави у вказаній галузі. Для цього необхідно розробити і прийняти до виконання відповідну концепцію започаткування й розвитку вітчизняної галузі морської робототехніки.

Результати досліджень. З позицій проектного менеджменту вказана задача може бути сформульована як програму проектів «Морська робототехніка України», започаткування її реалізації – як ініціалізація вказаної програми [3].

Результатом процесу ініціації програми проектів «Морська робототехніка України» є статут програми – документ, який формально санкціонує програму проектів. До нього необхідно включити:

- потреби бізнесу, заради задоволення яких робиться програма проектів;
- опис продуктів програми проектів.

Статут програми, опис отриманого у результаті його реалізації продукту, фактори зовнішнього турбулентного оточення є основою для розробки попереднього

змісту проекту як першого варіанту документованої бази для прийняття наступних рішень по програмі проектів, що містить обґрунтування, основні результати та цілі програми.

Процес розробки програми проектів «Морська робототехніка України» доцільно починати з формування її концепції. Формування концепції програми проектів прийнято ділити на наступні етапи:

формулювання цілей, досягнення яких забезпечується реалізацією програми проектів;

формулювання попередніх альтернативних варіантів (сценаріїв розвитку програми проектів), що задовольняють цілям інвестора;

відбір варіантів програми, прийнятних з точки зору термінів реалізації та інших умов.

Концепція програми проектів багато в чому визначається стратегічними цілями його ініціаторів. Для розробки концепції проекту доцільно сформувати робочі групи:

- група з маркетингу, завданням якої є визначення ціни та обсягів реалізації кінцевої продукції;

- виробнича група, яка оцінює ймовірну собівартість виробів і вимоги до сировини та комплектуючих, які будуть використовуватися для їх виробництва;

- фінансова група, яка має оцінювати витрати на реалізацію програми проектів та визначати джерела та обсяги фінансування;

- інші групи, які збирають інформацію про середовище навколо програми проектів, законодавчу базу, податки, а також інші відомості, що мають відношення до програми.

Отримані на етапі формування концепції результати оформляються у вигляді резюме програми проектів, де викладається суть програми по наступних аспектах:

- мета програми проектів;

- основні особливості й альтернативи програми проектів;

- організаційні, фінансові, політичні та інші проблеми, які потрібно враховувати в подальшому;

- необхідні організаційні та інформаційні заходи щодо розробки програми проектів.

Виходячи з існуючої ситуації в Україні, роботи зі створення МРС знаходяться на початковому етапі, що вказує на необхідність розробки, на початковому етапі, концептуальної моделі ініціації програми проектів «Морська робототехніка України», яка має слугувати теоретико-методологічною основою для виконуваних сьогодні робіт та подальших досліджень.

Відомо, що концептуальна модель — модель предметної області, що складається з переліку взаємопов'язаних понять, які використовуються для опису цієї області, разом з властивостями й характеристиками, класифікацією цих понять тощо [4].

Концептуальна модель ініціації програми проектів «Морська робототехніка України» наведена на рис. 1. Концептуальна модель передбачає реалізацію процесів управління, які спрямовані на створення науково обґрунтованого рішення щодо початку процесу ініціації програми проектів «Морська робототехніка України».

Розроблена концептуальна модель передбачає формування ініціативної групи фахівців-менеджерів з профільних організацій, компетентних у галузі морської техніки та таких, що за своїми професійними компетентностями здатні забезпечити формування концепту програми проектів.

Розроблена концептуальна модель передбачає вирішення наступних основних завдань, від яких залежить принципова можливість реалізації програми проектів «Морська робототехніка України»:

- формування інформаційної платформи програми проектів;

- формування множини можливих проектів (базових);

- попереднє визначення необхідних ресурсів;

- побудова фазового портрету програми проектів;

- визначення концепту реалізації програми проектів;

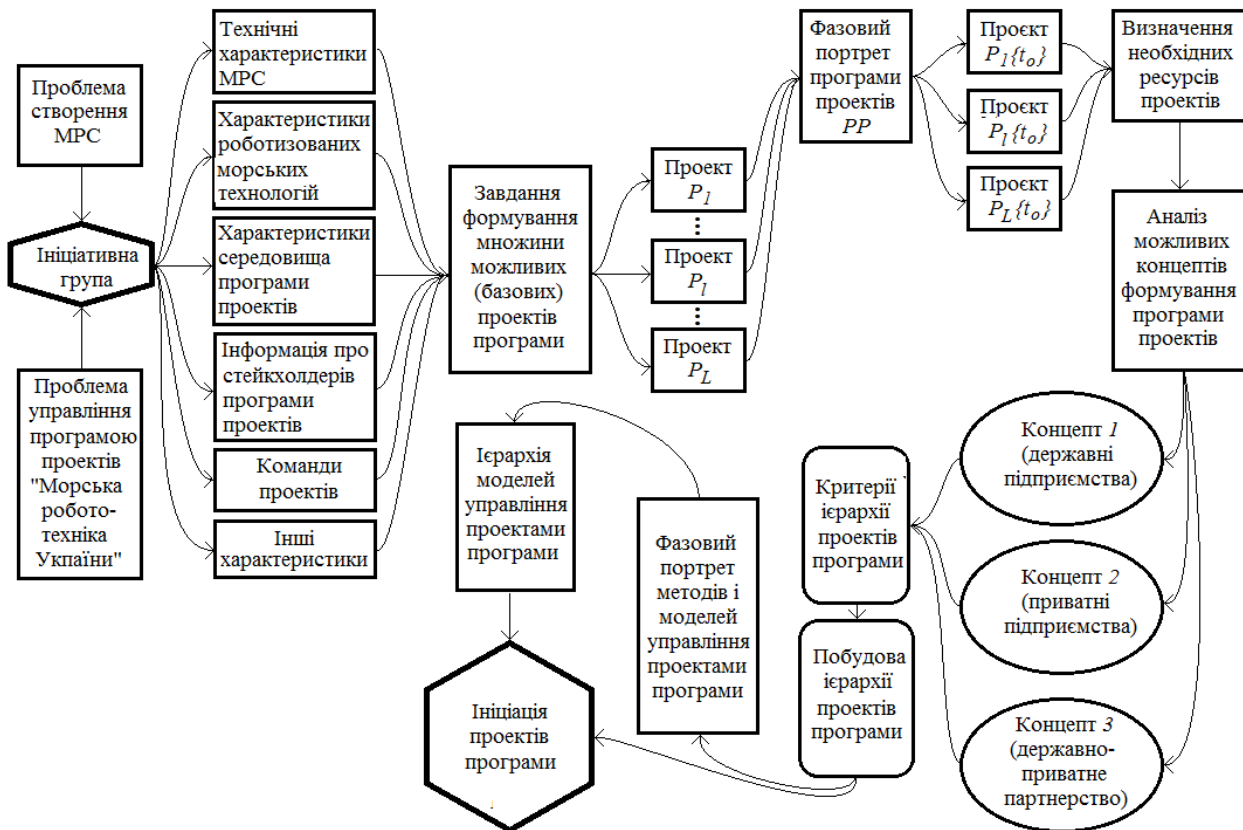


Рисунок 1 – Концептуальна модель ініціації програми проектів «Морська робототехніка України»

- розробка критеріїв побудови ієрархії програми проектів;
 - побудова ієрархії програми проектів;
 - визначення ієрархії розробки та вдосконалення моделей управління програмою проектів «Морська робототехніка України».

Основні змістовні складові інформаційної платформи наступні:

- потреби кінцевих користувачів МРС в Україні;
 - характеристики можливих команд проектів та менеджерів, яких доцільно залучати до управління програмою проектів «Морська робототехніка України».

Результатом формування інформаційної платформи має бути сформована множина можливих (базових) L проектів програми «Морська робототехніка України».

Власне множину L базових проектів має розробляти сформована команда (команди) менеджерів, які управляють процесами створення цих проектів, керуючись сучасними досягненнями науки та враховуючи потреби України. Результатом їх роботи має бути множина базових проектів $P = \{P_1; \dots; P_i; \dots; P_L\}$, на базі яких формується програма проектів PP програми «Морська робототехніка України».

Наступним кроком реалізації концептуальної моделі є побудова фазового портрету програми проектів PP , який визначає ступінь готовності окремих проектів до реалізації за критеріями часу, фінансових спроможностей стейкхолдерів тощо.

В результаті аналізу фазового портрету встановлюються особливості майбутньої реалізації базових проектів $P = \{P_1; \dots; P_i; \dots; P_L\}$ та вибудовується послідовність (першочерговість) реалізації проектів P_i програми проектів PP у часі, виходячи з обмежених ресурсів проектів (ресурсів часу, фінансових, кадрових та інших ресурсів).

Далі визначається концепт реалізації програми проектів PP , реально досяжних в умовах фактичного оточення проектів. Визначення концепту проекту (передпроектна підготовка) – це первісний і один з найважливіших етапів розробки програми «Морська

робототехніка України», результатом виконання якого є прийняття рішення щодо обраних варіантів реалізації програми..

Реалізація конкретних проєктів P_i , концептуально може бути забезпечена державним бюджетом, приватними компаніями (стейкхолдерами) або на підставі державно-приватного партнерства (концепти 1, 2 і 3 на рис. 1).

Далі ініціативна група пропонує (розробляє) систему критеріїв для формування ієрархії множини проєктів $P = \{P_1; \dots; P_i; \dots; P_L\}$, виходячи з ресурсних обмежень програми проєктів. Запропонована система критеріїв має слугувати формальним інструментарієм для побудови ієрархії проєктів безпеки цих об'єктів.

Наступним важливим кроком концептуальної моделі має бути синтез фазового портрету методів і моделей управління проєктами програми «Морська робототехніка України». За результатами виконання цього кроку визначається різниця між необхідними і наявними інструментами реалізації проєктів, зокрема, визначається необхідність у створенні множини моделей управління технічними проєктами створення МРС. Основним продуктом розробки фазового портрету методів і моделей управління програмою проєктів має бути ієрархія моделей управління, яка вказуватиме на необхідність визначеної ієрархії їх розробки.

Узагальнюючим результатом розробки концептуальної моделі ініціації програми проєктів «Морська робототехніка України» має бути прийняття рішення відносно успішного запуску програми на основі чіткого визначення цілей і завдань програми, призначення керівної групи менеджерів для управління програмою, ідентифікації організацій-виконавців та стейкхолдерів, розробки статуту програми проєктів.

Висновок. Запропонована концептуальна модель ініціації програми проєктів «Морська робототехніка України» може слугувати науково-методологічною основою для створення вітчизняного сектору виробництва засобів морської робототехніки в інтересах українських організацій цивільного та оборонного призначення.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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.
2. Бушуєв С. Д., Козир Б. Ю. Інноваційні механізми управління програм розвитку морських транспортних кластерів. *Управление развитием сложных систем*, 2011. №7. С. 5–7. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Urss_2011_7_3
3. Управління успішними проєктами створення складної техніки : Монографія / Г. В. Бабкін, В. С. Блінцов, Є. А. Дружинін, С. Г. Кійко, Н. Р. Книрик, К. В. Кошкін, Д. М. Крицький, С. С. Рижков, С. О. Слободян, Т. А. Фаріонова. — Миколаїв : Видавництво Торубари В. В., 2017. — 336 с.
4. Саченко О.А. Концептуальна модель портфельного управління інноваційними проєктами модернізації обладнання енергопідприємств. *Управління проєктами та розвиток виробництва*, 2015. №4(56). С. 61-70. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uprv_2015_4_9

ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ПОЛЬОТОМ ТРАНСПОРТНОГО ЛІТАКА

Кохан В.В., Калашник Г.А.

*Льотна академія Національного авіаційного університету
(Україна)*

Вступ. Оптимізація управління польотом літака передбачає використання різних технологій та методів з метою забезпечення максимальної ефективності та безпеки польоту. Для цього використовуються такі методи як автоматизація управління, використання новітніх технологій, тренування пілотів, моніторинг системи стану літака, зменшення енергоспоживання.

Сучасні транспортні літаки розглядаються як складні комп'ютерні системи, які можуть бути автоматизовані для забезпечення точності та ефективності польоту. Наприклад, система "автопілота" здатна забезпечити точність виконання маршруту та знизити навантаження на пілота. Штучний інтелект та прикладні програми дозволяють пілотам отримувати більш детальну інформацію про погодні умови та стан систем літака. Це дозволяє забезпечити більш точне та ефективне управління польотом. Тренування пілотів забезпечує знання та інтуїцію пілота, збільшує його навиків та досвіду, що дозволяє управляти літаком більш ефективним та точним способом. Системи моніторингу дозволяють відслідковувати стан літака та вчасно виявляти неполадки, що забезпечує безпеку польоту. Низьке споживання палива є одним з важливих факторів в оптимізації управління літаком. Використання сучасних двигунів та технологій полегшує цей процес.

Усі ці технології та методи дозволяють забезпечити максимальну ефективність та безпеку польоту.

Оптимізація управління польотом транспортного літака може бути здійснена за допомогою різних методів прийняття рішень. Прийняття рішень це дії над множиною альтернатив, в результаті якої отримується підмножина вибраних альтернатив (зокрема одна альтернатива). Звужувати множину альтернатив можливо, якщо існує спосіб порівняння альтернатив між собою і визначення переважаючих.

Актуальність досліджень. Дослідження прийняття рішень та оптимізація управління польотом транспортного літака є надзвичайно актуальним та важливим, оскільки ці процеси мають значний вплив на ефективність та безпеку авіаперевезень.

По-перше, транспортні літаки перевозять значні кількості пасажирів і вантажів, що призводить до значних економічних витрат. Оптимізація управління польотом дозволить знизити ці витрати і забезпечити економію часу для пасажирів та перевізників.

По-друге, оптимальний режим польоту з найменшою кількістю переривань та збільшення частоти польотів дозволить підвищити обсяги перевезень та призведе до оптимізації екологічної ситуації.

По-третє, високий рівень безпеки польоту є однією з головних пріоритетних задач у авіаційному транспорті, що дозволить забезпечити найвищий рівень безпеки польоту, зменшити витрати на попередження неприємних ситуацій, підвищити ефективність використання засобів захисту від некерованих авіаційних ракет (в умовах сьогодення, під час російсько-Української війни) та підвищити якість авіаперевезень.

Отже, дослідження зазначеної теми є внеском у покращення якості авіаперевезень, скорочення їх витрат і підвищення стандартів безпеки.

Постановка задачі. Включає ряд етапів та кроків, які потрібно провести, щоб досягти максимальної ефективності та безпеки польотів.

Першим етапом є формулювання мети та задач дослідження. Мета спрямована на зниження витрат на пальне, максимізацію перевезень, підвищення ефективності польоту

або забезпечення високого рівня безпеки. Другим етапом є збір та аналіз даних. На цьому етапі йде збір інформації про польоти, включаючи дані про маршрути, погодні умови, навколишнє середовище, характеристики літака та вимоги клієнтів. Дані аналізуються за допомогою статистичних методів та моделювання, щоб отримати розуміння процесів, які відбуваються в ході польотів. Третім етапом є розробка алгоритмів та моделей для прийняття рішень. На цьому етапі створюються математичні моделі, які відображають процеси польоту та забезпечують більш точне прогнозування ризиків та вибір оптимальних рішень. Розробка алгоритмів враховує не тільки економічні та технічні аспекти, але й питання безпеки польотів. Четвертим етапом є розробка інформаційної системи для прийняття рішень. Система повинна забезпечувати доступ до даних та моделей дослідження для виявлення проблем та шляхів їх вирішення, та допомагати пілотам приймати рішення в режимі онлайн на основі отриманих даних. Останнім етапом є впровадження системи та перевірка її ефективності. Система повинна підтвердити свою ефективність на практиці, забезпечуючи значний рівень безпеки та економії витрат на паливо, та стати основою для нормативних стандартів державної авіації України.

Результати досліджень. Автоматизація управління польотом транспортного літака є сучасною тенденцією в авіації. Системи автоматичного управління польотом дозволяють екіпажу ефективно керувати літаком та забезпечувати безпеку польоту. До переваг автоматизованої системи управління польотом транспортного літака належать підвищення точності та ефективності керування літаком, зниження втоми та стресу для пілотів, що важливо для підвищення безпеки польоту, автоматичне виявлення та усунення проблем польоту, що дозволяє пілоту швидко реагувати на них та уникати серйозних негативних наслідків, зниження витрат на технічне обслуговування та підготовку літаків. Таким чином, автоматизація управління польотом транспортного літака є важливим чинником для забезпечення безпеки та ефективності польоту. В сучасній авіації вона використовується як допоміжний інструмент для пілотів, що допомагає забезпечувати безпеку та ефективність польоту.

Оптимізація управління польотом транспортного літака можна застосувати такі моделі прийняття рішень як: статична модель, функціональна модель, модель вирішення проблем за допомогою систем автоматичного рішення задач, модель множинного вибору.

Статична модель прийняття рішень, базується на теоретико-ігровій концепції, добре відома й поширена в багатьох реальних обставинах разового вибору варіантів (планів, дій, альтернатив, стратегій і т. д.), пов'язаних із невизначеним впливом середовища на ситуацію вибору, який проводить орган прийняття рішень [1]. Дана модель застосовується коли якість рішення залежить від зовнішніх факторів, на які орган управління не впливає, параметри й збурення незмінні в часі, тобто модель є статичною.

Функціональна модель прийняття правових рішень використовує комбінацію штучного інтелекту, алгоритмів оптимізації та оцінювальних порівнянь, що доручає управляючому системі прийняття найкращих рішень у даному контексті. Управляюча система використовує велику базу знань для підтримки рішення, та прискорює процес прийняття рішень. Аналіз практичних аспектів реалізації систем підтримки прийняття рішень свідчить, що останнім часом актуальною постає розробка інтелектуальних засобів підтримки прийняття рішень, що полягає у створенні систем підтримки прийняття рішень на базі методів математичного моделювання і сучасних методів штучного інтелекту спільно із апаратом експертних систем [2].

Модель вирішення проблем за допомогою систем автоматичного рішення задач є потужним алгоритмом, що використовує дані для аналізу заданої проблеми і формування оптимальних рішень з обмеженим часом рантайму. Таким чином, це рішення постійно змінюється відповідно до наявних даних. Найбільше значення при автоматизації процесу управління має застосування операційної системи для реалізації математичних моделей. Саме етап вироблення рішень впливає найбільшою мірою на якість управління системою ,

оскільки від того, наскільки обґрунтованим буде рішення, залежить успіх її функціонування [3].

Модель множинного вибору може бути застосована для знаходження оптимального рішення і стимулювання ефективної діяльності за рахунок поєднання відомих результатів з певними атрибутами й параметрами. Це дозволяє використовувати параметри та атрибути для оцінювання рівня безпеки і забезпечення відповідності рішення якомусь питанню і його атрибутам. Але, дана модель прийняття рішень конкретно в наших умовах не прийнятна.

Висновки. В залежності від ситуації пілота можуть бути застосовані різні техніки і методи оптимізації прийняття рішень. Наведені в тексті моделі можуть допомогти пілоту у прийнятті найкращих рішень за рахунок використання наявних даних. Наведені методи можуть допомогти пілоту в прийнятті оптимального рішення та забезпеченні відповідності до рівня безпеки, а запровадження штучного інтелекту для моніторингу стану систем в літаку допоможе аналізувати дані з літака і генерувати призначення або рекомендації по знаходженню базових проблем, що дозволить забезпечити максимальну ефективність та безпеку польоту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ус С.А., Коряшкіна Л.С. Моделі й методи прийняття рішень. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, 2019, Дніпропетровськ. С.214-215.
2. Бідюк П.І., Тимошук О.Л., Коваленко А.Є., Коршевнік Л.О. Системи і методи підтримки прийняття рішень. Підручник, 2022, Київ. С.41-42.
3. Лістровий С.В., Мірошник М.А., Клименко Л.А. Теорія автоматичного керування, штучний інтелект і автоматизація процесу прийняття рішення. Навчальний посібник, 2019, Харків. С.14.
4. Міца О.В., Лавер В.О. Системний аналіз. Навчально-методичний посібник, 2021, Ужгород. С.14-17.

ANALYSIS OF IMPROVEMENT OF DIAGNOSIS NON-DESTRUCTIVE TESTING METHODOLOGY OF AIRCRAFT SYSTEMS

Krasnozhon V., Syroizhka I.

Flight Academy of the National Aviation University (Ukraine)

Introduction. Aircraft systems are complex and critical technical objects, the operation of which is associated with high requirements for safety and reliability. To ensure these requirements, it is necessary to carry out regular maintenance and repair of aircraft systems, including monitoring their condition using non-destructive testing (NDT) methods.

Relevance of the research. NDT methods make it possible to detect and evaluate defects and damage in the materials and structures of aircraft systems without disturbing their performance. NDT can detect cracks, corrosion, porosity, delamination, misassembly and other inconsistencies. NDT methods are also used to control the quality of production and repair of aircraft systems.

Aircraft systems are made up of various materials and components such as metals, composites, plastics, ceramics, rubber, etc. Each of these materials has its own characteristics of physical properties, structure and behavior under loads, which influence the choice and effectiveness of NDT methods. In addition, aircraft systems are exposed to various external influences during operation, such as temperature changes, humidity, ultraviolet radiation, aerodynamic forces, lightning strikes, etc., which can also cause defects and damage.

Formulation of the problem. That is why there is a constant need to improve the methodology for diagnosing aircraft systems using NDT. Improving the NDT methodology consists of the development and implementation of new or improved NDT methods and techniques, as well as in optimizing the parameters and conditions for NDT to increase its sensitivity, resolution, speed, accuracy and economy.

The main NDT methods used in aviation are NDT methods of surface control and NDT methods of deep control.

Surface NDT methods are designed to detect defects and damage on or near the surface of materials and structures. These methods include capillary testing (CT), magnetic particle testing (MPT), eddy current testing (ECT), laser shearing, etc.

The results of the research.

Capillary testing (CT)

Capillary testing, also known as penetration testing (PT) or fluorescent penetration testing (FPT), is one of the most common NDT methods for surface defects in aviation. For this method, parts are coated with liquid paint by dipping, spraying, or brushing. The paint penetrates into cracks and other defects on the surface due to the capillary effect. The excess paint is then removed from the surface and the part is illuminated with ultraviolet light. Defects become visible as luminous lines on a dark background.

The advantages of CT are its low cost, easiness of implementation, high sensitivity to small cracks and other surface defects. The disadvantages of CT are surface defects limitation, the need of preliminary surface preparation (cleaning, grinding, enameling), the possibility of environmental contamination with paint and ultraviolet light, and difficulties in interpreting the results in the presence of multiple or overlapping defects.

Magnetic particle testing (MPT)

Magnetic particle inspection, also known as magnetic inspection, is another common NDT method for surface defects in aviation. Parts made of ferromagnetic materials (such as steel) are subjected to a magnetic field by connecting to a current source or by using a permanent magnet. Then, magnetic powder (dry or in the form of water or oil suspension) is applied to the surface. The powder is concentrated in places where the magnetic flux is disturbed, forming visible contours of defects.

The advantages of MPT are its high sensitivity to surface and subsurface defects in ferromagnetic materials, the possibility of using both in laboratory and field conditions, as well as the relative cheapness and simplicity of equipment. The disadvantages of the MPT are its limitation to only ferromagnetic materials, the need for preliminary magnetization of parts, the possibility of environmental pollution by magnetic powder and electric current, as well as the difficulties in interpreting the results in the presence of multiple or overlapping defects.

Eddy current testing or electromagnetic testing (ECT)

Eddy current testing, also known as electrical testing (ET), is one of the most universal NDT methods for surface and subsurface defects in aviation. For this method, parts made of conductive materials (such as metals and carbon or metal fiber composites) are subjected to an alternating magnetic field generated by a coil or probe connected to the generator of high frequency currents. Under the action of a magnetic field, eddy currents are induced in the part, which depend on the electrical and magnetic properties of the material, its geometry and the presence of defects. The change in eddy currents is registered by a coil or probe and converted into a signal on the screen or indicator.

The advantages of ECT are its high sensitivity to surface and subsurface defects in conductive materials, the possibility of using both for ferro- and non-magnetic materials, as well as for composites with conductive fibers, the possibility of determining not only the presence, but also the characteristics of defects (depth, orientation, size), as well as the possibility automation of the control process. The disadvantages of the ECT are its limitation to only conductive materials, the need for pre-calibration of equipment on standard samples, the influence of various factors (temperature, surface contamination, part geometry) on the test results, as well as the high cost and complexity of the equipment.

Laser shearography

Laser shearography, also known as optical holography or optical interferometry, is one of the modern NDT methods for surface and subsurface defects in aviation. For this method, parts made of various materials (such as composites, metals, plastics, etc.) are exposed to laser illumination and registration using a special camera. Then the part is loaded with some influence (thermal, vacuum, mechanical, etc.), which causes deformation of the surface. Repeated laser illumination and registration make it possible to obtain an interference pattern in which regions with different phases of light are visible. These areas correspond to the presence of defects or damage.

The advantages of laser shearography are its high sensitivity to surface and subsurface defects in various materials, the possibility of using it for large parts, as well as for sandwich structures with slow thermal processes, the ability to obtain complete information about surface deformation in real time, as well as the possibility of process automation control. The disadvantages of laser shearography are its high cost and equipment complexity, the need for pre-calibration of equipment on standard samples, the influence of various factors (temperature, humidity, vibration, lighting) on the test results, as well as the difficulty of interpreting the results in the presence of multiple or overlapping defects.

Deep NDT methods are designed to detect defects and damage in the depth of materials and structures. Such methods include ultrasonic testing (UT), radiographic testing (RGT), acoustic emission (AE), etc.

Ultrasonic testing (UT)

Ultrasonic testing, also known as acoustic testing (AT), is one of the most effective NDT methods for depth testing in aviation. For this method, parts made of various materials (such as metals, composites, plastics, etc.) are exposed to ultrasonic illumination using a special transducer connected to a high-frequency current generator. Under the action of ultrasonic illumination, ultrasonic waves are reflected and refracted in the part, which depend on the acoustic properties of the material, its geometry and the presence of defects. Reflected and refracted waves are recorded by the transducer and converted into a signal on the screen or indicator.

The advantages of ultrasonic testing are its high sensitivity to deep defects in various materials, the ability to determine not only the presence, but also the characteristics of defects (depth, orientation, size), as well as the possibility of automating the control process. The disadvantages of ultrasonic testing are its limitation only to solid materials, the need for preliminary calibration of equipment on standard samples, the influence of various factors (temperature, surface contamination, and geometry of the detail) on the results of testing, as well as the high cost and complexity of the equipment.

Radiographic control (RGT)

Radiographic inspection, also known as x-ray inspection (XRT) or gamma inspection (GT), is one of the oldest NDT methods for depth inspection in aviation. For this method, parts made of various materials (such as metals, composites, plastics, etc.) are exposed to electromagnetic radiation using a special source (X-ray machine or radioactive isotope). The radiation passes through the part with different intensity depending on the density and thickness of the material, its geometry and the presence of defects. The radiation that has passed through the part is recorded on a special screen or tape, on which the shadows of defects are formed.

The advantages of RGT are its high sensitivity to deep defects in various materials, the possibility of obtaining a two-dimensional image of the entire part or part of it, and the possibility of using it for large parts. The disadvantages of RGT are its high cost and complexity of equipment, the need for preliminary calibration of equipment on standard samples, the influence of various factors (temperature, surface contamination, and geometry of the detail) on the results of control, as well as the danger to personnel health from ionizing radiation.

Acoustic emission (AE)

Acoustic emission, also known as acoustic control (AC), is one of the promising NDT methods for in-depth control in aviation. For this method, parts made of various materials (such as metals, composites, plastics, etc.) are subjected to some influence (load, temperature, chemical agent, etc.), which causes microscopic damage or deformation in them. In this case, ultrasonic waves appear in the material, which are called acoustic emission. Acoustic emission is recorded using special sensors connected to the signal analyzer. Signal analysis allows you to determine the presence, location and characteristics of defects or damage.

The advantages of AE are its high sensitivity to deep defects in various materials, the possibility of using for large, as well as for sandwich structures with slow thermal processes, the possibility of monitoring the state of parts in real time and under workloads, as well as the possibility of automating the control process. The disadvantages of AE are its high cost and complexity of equipment, the need for preliminary calibration of equipment on standard samples, the influence of various factors (temperature, humidity, vibration, noise) on the test results, as well as the difficulties in interpretation of the results in the presence of multiple or overlapping defects.

Examples of New or Improved NDT Techniques for Aircraft Materials and Components

For NDT materials, various methods are used, such as ECT, ultrasonic testing, RGT, AE, etc. However, these methods have their limitations and disadvantages when working with different types of materials. Therefore, new or improved NDT techniques for materials have been recently developed and implemented, which can improve the efficiency and accuracy of detection and characterization of defects.

For example, for HTC materials, new types of probe are used, such as massive aperture probe (MAE), phased array probe (PAE), or giant magnetoresistance (GMR) probe. These probes allow you to increase the resolution and depth of penetration of the ECT, as well as simplify the process of scanning and data analysis.

For ultrasonic materials, new types of transducers are used, such as electromagnetic acoustic transduction (EMAT) transducers, laser ultrasonic transduction (LUT) transducers, or optical ultrasonic transduction (OUT) transducers. These transducers make it possible to carry out non-contact ultrasonic testing of materials, as well as to increase the sensitivity and resolution of ultrasonic testing.

For RGT materials, new types of radiation are used, such as neutron radiation or terahertz radiation. These types of radiation make it possible to increase the contrast and clarity of RGTs, as well as to detect defects in highly absorbent composites.

For AE materials, new types of sensors are used, such as optical fiber sensors or sensors with microelectromechanical systems (MEMS). These sensors make it possible to increase the sensitivity and resolution of the AE, as well as to simplify the process of mounting and connecting the sensors.

Conclusion. We can say that NDT is an integral part of the aviation industry, as it allows you to ensure the quality and safety of aviation materials and compounds at all stages of their life cycle. However, NDT also requires constant development and adaptation to new materials and compounds that appear in aviation. Therefore, it is important to study and implement new or improved NDT techniques that improve the efficiency and accuracy of detection and characterization of defects in aircraft materials and compounds. It is also important to use combined or hybrid methods of NDT, which allow increasing the information content and reliability of NDT.

REFERENCES

1. THE APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES DURING MAINTENANCE TO ENSURE THE RELIABILITY OF THE OPERATION OF AVIATION EQUIPMENT / K. Nesterenko et al. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. 2019. Vol. 1, no. 53. P. 129–132. URL: <https://doi.org/10.26906/sunz.2019.1.129> (date of access: 18.04.2023).
2. Fahr A. *Aeronautical Applications of Non-destructive Testing*. DEStech Publications, Inc, 2013. 510 p.
3. Successes and challenges in non-destructive testing of aircraft composite structures / H. TOWSYFYAN et al. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2020. Vol. 33, no. 3. P. 771–791. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.09.017> (date of access: 18.04.2023).
4. Gholizadeh S. A review of non-destructive testing methods of composite materials. *Procedia Structural Integrity*. 2016. Vol. 1. P. 50–57. URL: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2016.02.008> (date of access: 18.04.2023).
5. Acoustic emission monitoring of wear in aerospace self-lubricating bearing liner materials / P. Revill et al. *Wear*. 2021. P. 204102. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.204102> (date of access: 18.04.2023).
6. Adams R. D., Drinkwater B. W. Nondestructive testing of adhesively-bonded joints. *NDT & E International*. 1997. Vol. 30, no. 2. P. 93–98. URL: [https://doi.org/10.1016/s0963-8695\(96\)00050-3](https://doi.org/10.1016/s0963-8695(96)00050-3) (date of access: 18.04.2023).
7. Non-destructive testing (NDT) techniques for low carbon steel welded joints: A review and experimental study / J. R. Deepak et al. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 44. P. 3732–3737. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.578> (date of access: 18.04.2023).

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОВОЇ НАПРУЖЕНОСТІ В КАТАЛІТИЧНИХ ФІЛЬТРАХ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ В МОРСЬКИХ СИЛОВИХ УСТАНОВКАХ

Пирусунько М.А., Антончик М.Ю., Гонтарчук Я.Ю.

Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)

Вступ. При економічній оцінці ефективності організації перевезень на водному транспорті, встановленні загальних тенденцій та закономірностей його розвитку, розробці різних альтернативних схем та способів організації враховується вимоги щодо якості транспортного обслуговування. До вимог входить екологічна безпека та зниження рівня забруднення природного середовища [1].

Вимоги до технічних характеристик суден визначені міжнародними конвенціями, актами органів технічного нагляду, їх виконання впливає на безпеку судноплавства та ретельно контролюється. Постійно зростає об'єм робіт, яких необхідно провести для огляду судна класифікаційними товариствами.

Відпрацьовані гази дизелів є сумішшю газоподібних, рідких і твердих (у вигляді аерозольних частинок) сполук органічного походження і є предметом пильного вивчення із застосуванням новітніх методів досліджень. До основних токсичних компонентів відносяться: оксиди азоту - NO_x ; вуглеводні - C_xH_y ; оксид вуглецю - CO ; тверді частинки - ТЧ (всі речовини, за винятком незв'язаної води, які за звичайних умов представлені у відпрацьованих газах, у твердому або рідкому стані). Відпрацьовані гази дизелів містять у об'ємних відсотках 76...78 % азоту, 2...18 % кисню, 0,5...4,0 % парів води, діоксиду вуглецю та ще до 1200 компонентів із незначними концентраціями [2, 3].

З точки зору охорони навколишнього середовища нетоксичні компоненти відпрацьованих газів, не становлять інтерес. Однак, з погляду вивчення процесів у каталітичних нейтралізаторах інтерес становлять практично всі основні компоненти відпрацьованих газів, так як при моделюванні процесів очищення газів повинні дотримуватися баланси по вуглецю, кисню та водню. Нетоксичні компоненти у складі відпрацьованих газів можуть брати участь у процесах каталітичного очищення в нейтралізаторах та доокислення твердих частинок у сажевих фільтрах.

Перспективні розробки фірми AVL (Австрія), провідної роботи з нормування рівнів шкідливих викидів за дорученням ЄЕК ООН, передбачено новий підхід до оцінки концентрації ТЧ у відпрацьованих газах всіх типів дизелів, включаючи і судові. Основу цього підходу покладено оцінку та кількість твердих частинок за фракціями. Передбачається нормування викидів діоксидів вуглецю та сірки.

Актуальність дослідження. Нормування шкідливих викидів з відпрацьованими газами надалі передбачає не тільки посилення норм, а й розширення кола компонентів, що підлягають нормуванню. Тому при створенні матеріалів для очищення газових середовищ необхідно враховувати їхню стійкість до агресивних середовищ.

Одним з перспективних шляхів зниження техногенного впливу дизелів на навколишнє середовище є розвиток нового шляху в каталітичному очищенні відпрацьованих газів - використання нових перспективних пористих проникних матеріалів з інтерметалідів на основі руд мінералів і поліметалів високорозповсюджуваним високотемпературним синтезом (ВВС), що дозволяє здійснити заміщення рідкісноземельних металів [4].

Аналіз даних науково-технічної літератури, досліджень зразків пористих проникних ВВС-матеріалів показав, що вимоги до матеріалів, що використовуються для каталітичних блоків нейтралізаторів диктується як особливостями їх експлуатації, так і можливостями, що забезпечують їх функціональне призначення.

Питання адаптації каталітичних нейтралізаторів на транспортних засобах практично не розглянуто в дослідженнях. Водночас воно постійно виникає разом із питаннями вдосконалення каталітичного очищення відпрацьованих газів.

Агресивність відпрацьованих газів двигунів як середовища очищення на каталітичних матеріалах має свою специфіку, обумовлену складом відпрацьованих газів, що містять сірку та пари води.

Розглядаючи питання теплової напруженості каталітичних блоків нейтралізаторів необхідно звернутися до умов їх експлуатації. Тенденції розвитку двигунів внутрішнього згорання пов'язані зі зростанням середнього ефективного тиску, частоти обертання колінчастих валів та збільшенням робочого об'єму. Це зумовило появу низки проблем, у тому числі із зростанням теплових навантажень на каталітичні блоки нейтралізаторів відпрацьованих газів. При цьому тепловий потік через проникні пористі стінки стає більш інтенсивним. При постійних конструктивних умовах зростають температури і температурні градієнти, отже, і температурні напруги у стінках каталітичних блоків, знижуються показники тривалої міцності і стабільність механічних якостей матеріалів [5, 6].

Температурні напруги, що розвиваються в каталітичних блоках, обумовлюються їх конструктивною формою, теплофізичними характеристиками матеріалу і тепловим станом блоку і сполучених з ним елементів. При цьому температурне поле каталітичних блоків або визначальні параметри (рівні температури в характерних точках і температурні градієнти) за інших рівних умов є даними для порівняльного аналізу динаміки теплової напруженості в залежності від зміни параметрів потоку відпрацьованих газів.

Таким чином, завдання оцінки теплової напруженості має вирішуватися з урахуванням: градієнтів температур на вході та виході газів із стінки пористого матеріалу; витрати газів через стінку із використовуваного матеріалу; теплоємностей матеріалу та газів, теплопровідності; вмісту продуктів неповного згорання в газах; часу проходження через стінку; тривалість циклів теплового впливу газів; маси пористого матеріалу та інших [7, 8].

Процеси розподілу (перенесення) теплоти в просторі з неоднорідним полем температур, що мають місце при очищенні відпрацьованих газів в пористих проникних композитних матеріалах, мають свої особливості. Відпрацьовані гази, протікаючи через стінку композитного фільтра, не тільки віддають останньому тепло за рахунок молекулярного та конвективного механізмів перенесення та теплообміну випромінюванням, але має місце і внутрішнє джерело тепла, що виникає при каталітичному допалюванні оксиду вуглецю, вуглеводнів і твердих частинок (сажі). Це вносить корективи в опис теплопровідності, тепловіддачі та теплопередачі в проникних пористих каталітичних матеріалах.

Висновки. Результати науково-дослідних робіт, дослідно-конструкторських розробок та промислової експлуатації підтверджують ефективність застосування каталітичних фільтрів для широкого спектру застосування в енергетиці і в більшій мірі для екологізації суден. А питання проблеми теплової напруженості пористих проникних ВВС-каталітичних матеріалів фільтрів для очищення відпрацьованих газів є актуальним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Radchenko R., Pyrysunko M., Kornienko V., Gorbov V., Kalinichenko I. Effect of Utilization Exhaust and Recirculation Gases of Ship Diesel Engine in Absorption Chiller. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 367. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_43
2. Aawam, D.J. Control oriented modeling of a diesel active lean NOX catalyst aftertreatment system/ D.J. Aawam, M.J. Van Nieuwstadt, J.A. Cook, J.W. Grizzle// Trans. ASME. J. Dyn. Syst., Meas. and Contr. 2005, 127. №1. Pp. 1-12

3. *Bartsch, C.* Der Metallkatalysator als Variables System // MTZ: Motortechn. Z. - 2004. - 65. №10. - Pp. 798-803.
4. *Takami, A.* Mazda-LNT Katalytische Eigenschaften des neu geformten Tragermaterials/ A. Takami, Y. Tsushio, K. Harada, H. Yamada, S. Miyoshi, H. Iwakuni (Mazda Motor Corporation, Hiroshima, Japan)// MTZ: Motortechn. Z. -2009. -70, № 3.- Pp. 224-227.
5. Transantiago: clean up of Diesel-Bus Exhaust in Santiago de Chile. Durán Aliosha Reuioso (Center of Vehicle Certification and Control, Santiago, Chile). Öslerr. lug.- und Archit.- Z. 2007. -152, № 1.- Pp. 72-73.
6. *Wenz, M.* FE-Analyse eines Katalysators Fertigungsprozess und im Fahrzeugbetrieb/ M. Wend, S. Lakshiminarayanan, G. Wirth, M. Dong // MTZ: Motortechn. Z. - 2006. - 67, №1. - Pp. 28-31.
7. *Yamamoto, K.* Microstructure and particle-laden flow in diesel particulate filter/ K. Yamamoto, S. Satake, H. Yamashita// Int. J. Therm. Sci.- 2009. - 48, № 2.- Pp. 303-307.
8. *Zervas, E.* Impact of different configurations of a Diesel oxidation catalyst on the CO and HC tail-pipe emissions of a Euro4 passenger car/ Appl. Therm. Eng. 2008. - 28, № 8-9.- Pp. 962-966.

МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ СУДНОВОГО ДВИГУНА

Пирисунько М.А., Шалапко Г.Г., Суглоб Д.В.

*Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)*

Постановка проблеми. Одним із основних обов'язків екіпажу є спостереження за технічним станом всіх елементів судна, в тому числі і суднового енергетичного устаткування (СЕУ). Згідно з практикою, до 50-% всіх відмов дизельних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) пов'язане з втратою працездатності паливної апаратури, насамперед більше половини відмов ДВЗ припадають на відмови форсунок. Причому, на економічні та екологічні показники роботи ДВЗ істотно впливає саме технічний стан форсунок.

Безпеку плавання судна та його економічну ефективність визначає своєчасне виявлення передумов до виникнення тих чи інших порушень в роботі СЕУ. Створення простих у застосуванні, ефективних і оперативних в отриманні достовірної інформації методів діагностування стану енергетичного обладнання при експлуатації судна є актуальним і важливим завданням [1].

Основна частина. Розвиток методів і засобів діагностування ДВЗ є одним з головних напрямків в забезпеченні надійності суднової техніки. Вибір ефективних засобів та розвиток методів теплового діагностування судових ДВЗ і їх систем газовідводу є актуальним завданням для водного транспорту, що відповідає вимогам ІМО (Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі, Міжнародний кодекс з управління безпечною експлуатацією суден і запобіганням забрудненню) [2].

Обов'язковою умовою для створюваних ДВЗ стало відповідність їх екологічним нормам. Вони повинні відповідати додатку VI Міжнародної конвенції MARPOL 73/78, яка спрямована на радикальне зниження SO_x та NO_x в відпрацьованих газах судових ДВЗ.

У даний час теплонапружений та теплової стан є одним з головних обмежень в забезпеченні надійності теплових двигунів і установок. Це пов'язано з тим, що він справляє визначальний вплив на утворення тріщин у кришках і втулках циліндрів, денцях поршнів, руйнування прокладок між кришками і блоком циліндрів, швидкість газової корозії і довговічність клапанів, інтенсивність зношування в поєднанні «втулка циліндра - поршневий комплект», режим мастила і угар масла, та, в результаті - на економічність і ресурс судових ДВЗ.

Методи контролю за роботою ДВЗ працюють на оцінці теплового напруги по ряду непрямих показників: температури випускних газів, охолоджуючої води і масла, що виходить з головок поршнів, середнього індикаторного тиску, положення покажчика навантаження (паливної рейки) [3].

Індиціювання робочого процесу відноситься до числа найбільш поширених методів оцінки технічного стану ДВЗ. Однак воно дає недиференційовану оцінку стану деталей циліндропоршневої групи (ЦПГ), механізму газорозподілу дизеля та ін., та вимагає подальшого вельми кваліфікованого аналізу результатів діагностування [4].

До найбільш поширеніших методів діагностування технічного стану ДВЗ на практиці стали параметричний метод, по герметичності робочих порожнин, віброакустичний, інструментальний, по теплового стану, за складом продуктів зносу деталей, стробоскопічний і за складом відпрацьованих газів.

При застосуванні параметричного методу виконують безперервне або періодичне вимірювання одного або декількох діагностичних параметрів дизеля, серед яких: температура відпрацьованих газів по циліндрах; питома витрата палива; коефіцієнт надлишку повітря; температура втулок циліндрів, поршнів та інших деталей; максимальний тиск згоряння або середній індикаторний тиск; тиск стиснення; акустичні

та вібраційні характеристики; витрата повітря або перепад тиску повітря на різних ділянках повітряного або випускного тракту.

Для оцінки технічного стану систем, деталей ЦПГ, гідро- і пневмоприводів ДВЗ зазвичай застосовують метод діагностування по герметичності робочих порожнин. При цьому виконується опресовування плунжерних пар паливних насосів контроль робочого тиску в системах і порівняння його з гранично допустимими значеннями; перевірка щільності систем, пристроїв деталей дизеля під час гідравлічних випробувань та ін. Даний метод досить простий, саме тому набув широкого поширення в практиці експлуатації ДВЗ.

Діагностування по тепловому стану, що оцінюється температурою і швидкістю нагріву певних деталей та вузлів, застосовується для виявлення технічного стану третьових з'єднань, систем охолодження і змащення, редукторів і інших агрегатів і пристроїв ДВЗ.

Мета віброакустичного методу полягає у визначенні енергії акустичного сигналу, який зростає зі збільшенням зазору деталей, що вдаряються. Результуючий акустичний сигнал, що сприймається встановленими в певних місцях датчиками, розкладається на складові гармоніки по частоті. Далі проходить подальша оцінка енергії вібрації в кожній виділеній смузі. Даний метод відрізняється універсальністю і може бути використаний для великого числа сполучених деталей. До недоліків даного методу слід віднести труднощі надійного поділу корисних сигналів-перешкод.

Інструментальний методом діагностування застосовують на непрацюючому ДВЗ або без його розбирання, або з частковим розбиранням деяких його вузлів (наприклад, розкриття фільтрів, люків, для зняття форсунок та ін.). Технічний стан вузлів ДВЗ що перевіряється оцінюється безпосередньо за результатами контролю значень зносів основних деталей, які виміряні за допомогою простих приладів, пристосувань та інструментів. Використовуючи цей метод, можна діагностувати підшипники, приводи, передачі, механізм газорозподілу ДВЗ та ін. Метод інструментальної діагностики є найбільш обмеженим у можливостях і трудомістким, тому що вироблені вимірювання неможливо автоматизувати.

Для визначення інтенсивності зносу основних деталей ДВЗ використовується метод діагностування по концентрації продуктів зносу деталей, що труться та змащуються маслом. Даний метод дозволяє також отримувати інформацію про необхідність зміни масла, справність дії засобів очищення масла тощо.

Для оцінки якості роботи і справності паливної апаратури, якості регулювання фаз газорозподілу, зносів в деталях механізму газорозподілу і деталях ЦПГ застосовують діагностування по аналізах відпрацьованих газів ДВЗ.

Висновки. Сучасні системи діагностики технічного стану СЕУ енергетичного до яких, зокрема, відносяться суднові ДВЗ, служать для досягнення високих техніко-економічних показників експлуатації цих установок. У зв'язку з цим, удосконалення систем діагностики технічного стану судових ДВЗ є дуже актуальним завданням. Було проаналізовано різні методи діагностування судового теплоенергетичного обладнання, що визначає безпеку плавання судна і його економічну ефективність.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Наливайко, В.С.* Суднові двигуни внутрішнього згоряння [Текст] : підруч. / *В.С. Наливайко, Б.Г. Тимошевський, С.Г. Ткаченко.* – Миколаїв : Видавець Торубара В.В., 2015. – 332 с.
2. *Дяченко, В.Г.* Теорія двигунів внутрішнього згоряння [Текст]: навч. / *В.Г. Дяченко:* [пров. з укр.]. – Харків: ХНАДУ, 2009. – 500 с.
3. *Fisher, R.W., Brown, N.A.* (2005), Factors affecting the underwater noise of commercial vessels operating in environmentally sensitive areas. OCEANS.

4. Попов, Г.С. Регулювання та випробування паливної апаратури дизелів. Методичні посібники та вказівки до лабораторних робіт [Текст] / Г.С. Попов. – Миколаїв, 1973. – 36 с.

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ДВИГУНА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ, ПЕРЕОБЛАДНАНОГО ДЛЯ РОБОТИ НА ГАЗОВОМУ ПАЛИВІ

Погорлецький Д.С., Грицук І.В., Худяков І.В., Поліщук О.В.

Херсонська державна морська академія (Україна)

Вступ. Моніторинг процесів прогрівання двигуна транспортного засобу (ТЗ) з використанням системи теплової підготовки (СТП) на основі теплового акумулятора фазового переходу (ТАФП) має деякі труднощі і потребує формування вимірального комплексу на основі транспортного засобу.

Актуальність дослідження. Ефективність використання ТАФП у ТЗ залежить від контрольованості та своєчасності проходження теплових процесів, що вимагає наявності моніторингу параметрів роботи двигуна ТЗ. Для цього доцільно враховувати отриману інформацію із системи OBD, зокрема скануванням пам'яті електронного блока керування (ЕБК) ТЗ [1-6]. Транзитний сервер системи моніторингу параметрів технічного стану ТЗ розташований на борту ТЗ для виконання основних функцій включає основні складові елементи, які знаходяться у постійній взаємодії [1-3]: центральний програмований процесор (мікроконтролер); дисплей, екран, монітор або інші пристрої для відображення інформації; пристрій введення-виведення інформації керування системи моніторингу; запам'ятовувальний пристрій; програмні комплекси та їх інтерфейси; мережеві пристрої; пристрій обробки відео та фотоінформації; пристрої GSM; пристрої геопозиціонування (a-GPS, GPS, SBAS); пристрої для передачі даних: GPRS, Wi-Fi, Bluetooth та додаткові пристрої тощо. [1-5].

Постановка задачі. Для дистанційного дослідження параметрів технічного стану та процесів прогріву двигуна ТЗ, переобладнаного для роботи на зрідженому газовому паливі, за допомогою системи теплової підготовки на основі теплового акумулятора фазового переходу потрібно розробити та сформувати схему інформаційного взаємодії системи електронного керування двигуном ТЗ у поєднанні з системою дистанційного моніторингу процесів теплової підготовки.

Результати досліджень. Для забезпечення керування процесами прогріву ТЗ СТП оснащено блоком керування, який за допомогою складових елементів (Рис. 1) забезпечує безпосереднє керування температурним режимом ТЗ та передає необхідну інформацію через трекер у розроблену систему інформаційного обміну. Обмін інформацією в комплексі здійснюється через *GPS, GPRS, a-GPS, SBAS, Galileo, Internet* чи локальну мережу і дозволяє передавати цифрові, відео та голосові дані [1-6].

Система дистанційного моніторингу (СДМ) є інтелектуальним пристроєм та може самостійно вирішувати задачі з контролю технічних параметрів ТЗ у процесі руху. До пам'яті СДМ уносяться вихідні дані для роботи СТП, параметри ТЗ, двигуна, СТП і ТАФП. Порівняння даних, місця розташування ТЗ та заданих критеріїв роботи дозволить СДМ самостійно приймати рішення про інформування водія, оператора, учасників процесу дослідження ТЗ про відхилення заданих параметрів. Для підтримання зручності оперативного управління здійснюється двосторонній зв'язок [1-6].

Відповідно до запропонованої раніше структури системи моніторингу [4], на (Рис. 1), показана загальна схема взаємодії системи електронного керування двигуном ТЗ в поєднанні із системою дистанційного моніторингу процесів теплової підготовки двигуна транспортного засобу [1-5]. Додатково було розроблено моделі бази інформаційної системи моніторингу параметрів ТЗ з двигуном, обладнаним СТП, та виділені 2 підсистеми, які забезпечують отримання інформації від основних інформаційних блоків ТЗ, двигуна і СТП [1-5]. До першої підсистеми належить блок збирання і передачі інформації від ТЗ, двигуна, умов експлуатації ТЗ (CAN-шина); 2 – блоки збирання і передачі інформації від СТП, умов експлуатації ТЗ і пристроїв моніторингу. Особливість запропонованої системи

полягає в тому, що обидві підсистеми створюють спільне інформаційне поле системи дистанційного моніторингу параметрів ТЗ із СТП, але діють окремо одна від одної, зважаючи на особливості задач, що вони виконують [1-6].

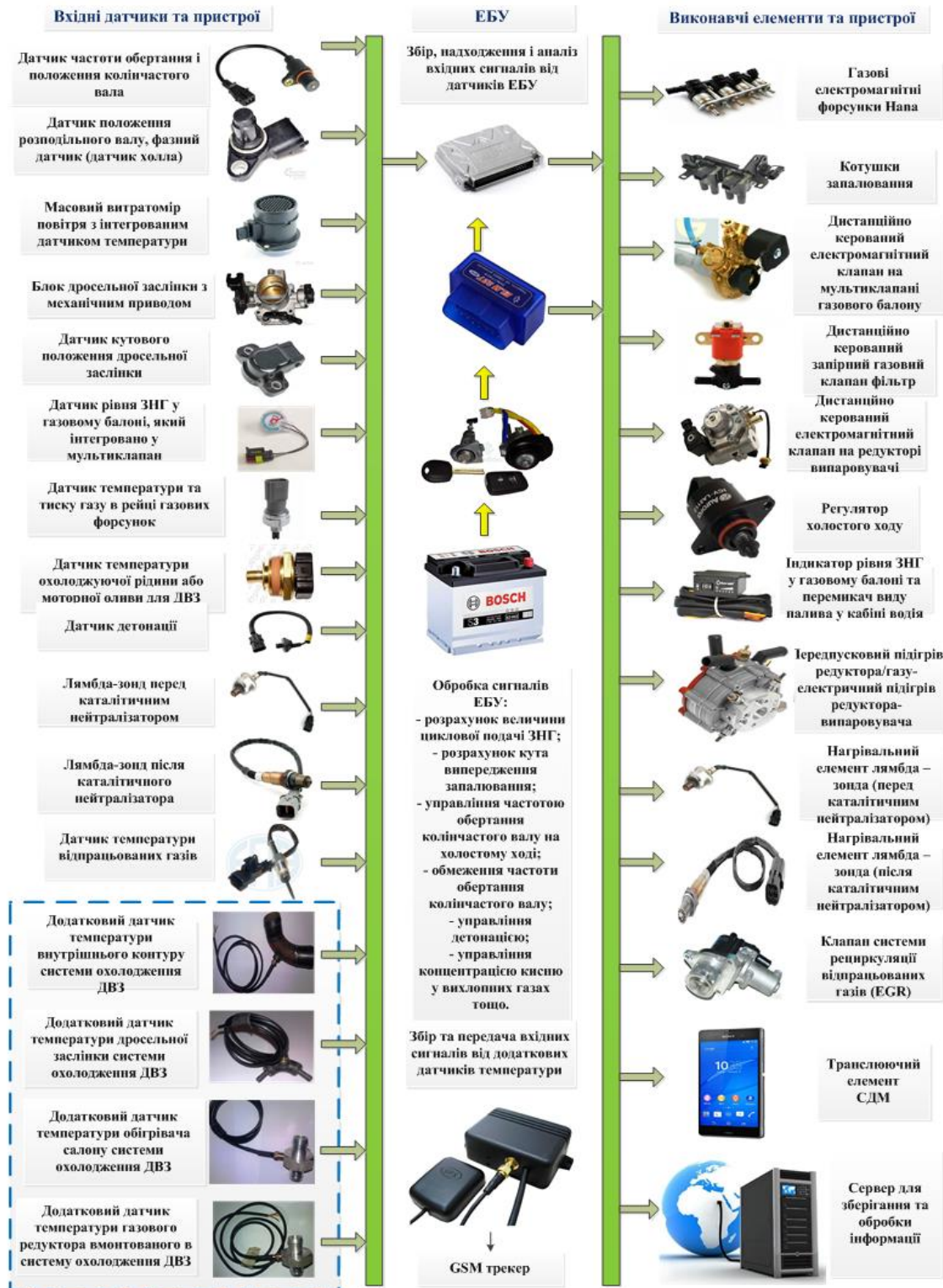


Рисунок 1 – Загальна схема взаємодії системи електронного керування двигуном ТЗ у поєднанні із СДМ процесів теплової підготовки

Модель предметної області для СДМ представлена окремо для кожної із підсистем. Для ТЗ і двигуна оснащеного СТП представлена у вигляді множин для вказаних

підсистем: 1 – двигун ТЗ, безпосередньо ТЗ і умови експлуатації (УЕ) ТЗ та 2 – СТП, ТЗ, пристрої моніторингу (ПМ) і УЕ ТЗ, а саме:

$$M_{np.o.} = \begin{cases} M_{np.o.1} = \langle O_1, V_{ex.1}, V_{vix.1}, F_1, H_1, P_1, R_1 \rangle, \text{двигун, ТЗ і УЕ} \\ M_{np.o.2} = \langle O_2, V_{ex.2}, V_{vix.2}, F_2, H_2, P_2, R_2 \rangle, \text{СТП, ТЗ, ПМ і УЕ} \end{cases} \quad (1)$$

де в межах підсистеми 1 деякі складові описані в [1-4], а в межах підсистеми 2: $O_2 = \{ o_{m.2} / m_2 = I, M \}$ – об'єкти автоматизації СТП, ТЗ, пристрої моніторингу, які представлені самостійними частинами в межах підсистеми 2 – блок збирання та передачі інформації від СТП, СДМ, ТЗ; блок збирання інформації про стан та умови експлуатації пристроїв моніторингу і ТЗ; $V_2 = \{ v_{l.2} / l_2 = I, L \}$ – інформаційні елементи (вхідні $V_{ex.2}$ і вихідні $V_{vix.2}$ дані) СТП, ТЗ і пристроїв моніторингу; $F_2 = \{ f_{i.2} / i_2 = I, I \}$ – функції автоматизації, які виконуються СДМ та прогнозування параметрів СТП, ТЗ і ПМ; $H_2 = \{ h_{j.2} / j_2 = I, J \}$ – обробка даних СДМ та прогнозування параметрів СТП, ТЗ і ПМ; $P_2 = \{ p_{k.2} / k_2 = I, k \}$ – множина значень, яка характеризує кількість та склад персоналу, що забезпечує роботу СДМ та прогнозування параметрів СТП, ТЗ і ПМ; $R_2 = \{ r_{y.2} / y_2 = I, Y \}$ – множина відносин (взаємозв'язків) між компонентами $M_{np.o.2}$ предметної області [1-6].

Структура інформаційної взаємодії містить транспортний двигун, СТП на основі теплового акумулятора, штатні та додатково встановлені датчики температури, стандартну систему обміну інформацією на основі стандарту *OBD-II* адаптер (сканер), трекер моніторингу температурних параметрів теплової підготовки, підключення до спряженого пристрою за допомогою *Bluetooth*-з'єднання, систему дистанційного моніторингу, мережі зв'язку на основі *GPS, GPRS, a-GPS, SBAS, Galileo, Internet* чи локальні мережі, *Web*-сервера, інформаційної бази даних, програмного забезпечення, інформаційних програмних комплексів забезпечення моніторингу ТЗ, учасників процесу випробування ТЗ, оснащеного СТП із ТАФП, робочого місця системи моніторингу і блока керування СТП транспортного двигуна на основі теплового акумулятора [1-4].

Висновки. В роботі було розглянуто систему моніторингу теплової підготовки двигуна транспортного засобу, переобладнаного для роботи на газовому паливі, яку можливо використовувати для оцінки способів та засобів забезпечення теплової підготовки двигуна ТЗ з допомогою системи теплової підготовки в умовах експлуатації. Розроблено та продемонстровано загальну схему взаємодії системи електронного керування двигуном транспортного засобу у поєднанні з системою дистанційного моніторингу процесів теплової підготовки двигуна, переобладнаного для роботи на зрідженому газовому паливі, для дистанційного дослідження параметрів технічного стану та процесів прогріву двигуна ТЗ. Узгоджені основні складові елементи системи моніторингу, які забезпечують дистанційне отримання достатньої інформації для здійснення керування процесами теплової підготовки двигуна ТЗ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pohorletskiy, 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.
2. Volodarets, M., Gritsuk, I., Chygyryk, N., Belousov, E., Golovan A., Volska O., Hlushchenko V., Pohorletskiy D., Volodarets O., "Optimization of Vehicle Operating Conditions by Using Simulation Modeling Software," SAE Technical Paper 2019-01-0099, 2019, doi:10.4271/2019-01-0099

3. 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.

4. Погорлецький Д.С. Структура вимірювального комплексу для дослідження роботи транспортного засобу з двигуном, обладнаним системою впорскування газового палива, в умовах експлуатації засобами ITS. Монографія / за наук. ред. проф. Грицука І.В. Херсон: ХДМА, 2019. - 442 с. ISBN: 978-966-2245-53-0. Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики.

5. Погорлецький Д. С. Особливості теплової підготовки транспортного двигуна в умовах експлуатації / Д. С. Погорлецький, В. П. Матейчик, А. П. Полівінчук, М. В. Володарець, М. П. Цюман // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь : ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. – Вип. 19. – Т. 4. – С. 286.

6. Д.С. Погорлецький, І.В. Грицук, Д.С. Адров, А.В. Білай. Особливості визначення витрати палива та викидів шкідливих речовин двигунів транспортних засобів, що працюють на газовому паливі. Двигуни внутрішнього згоряння // Науково-технічний журнал. Харків: НТУ «ХПІ». – 2021. – №1. С. 102.

АВТОМАТИЗАЦІЯ МАНЕВРУ СУДНА «ЛЮДИНА ЗА БОРТОМ»

Поліщук В.О., Зінченко С.М., Кириченко К.В., Корнелюк О.М.
Херсонська державна морська академія
(Україна)

Вступ. Людський чинник, як причина аварій в сучасній морській транспортній індустрії займає одне з лідируючих місць. У статті [1] розглядаються останні досягнення в оцінці ризику зіткнення суден і виявлення причин аварійних ситуацій. Людині в стресовій ситуації важко прийняти правильне рішення через стресовий фактор, втому, часові обмеження та недостатній рівень навичок. Через це все більш актуальною стає задача розробки автоматичного та автоматизованого керування суднами, виконання дій для запобігання зіткнень, підвищення безпеки мореплавства [2-9]. В таких випадках судноводій лише приймає рішення перейти в автоматичний режим або отримує сповіщення про виконану дію.

Актуальність дослідження. Аналіз літературних джерел показав, що задачі такого типу вважаються пріоритетними та важливими в індустрії морського транспорту. Розробки алгоритмів та програмного забезпечення для модулів з виконання маневрів із рятування людини, що впала за борт не розглядалися. Розробка таких методів, створення алгоритмів і програмного забезпечення автоматичних та автоматизованих модулів керування судном є актуальною науково-технічною задачею сьогодення.

Постановка проблеми. З метою підвищення ефективності виконання маневру у випадку рятування людини, що впала за борт, необхідно розробити метод, алгоритм і програмне забезпечення модуля керування судна.

Результати дослідження. При падінні людини за борт, основним завданням судноводія – позначити позицію і час падіння, невідкладно виконати послідовність дій та маневр [10]. Обрання маневру має базуватись на ряді факторів цієї події: швидкість власного судна, стан моря, яку відстань пройдено з моменту падіння, скільки простору має судноводій для маневрування, маневрені характеристики судна [11]. На все витрачається час і порятунок людини, що впала залежить від швидкості виконання та якості таких дій.

Експеримент. Працездатність та ефективність алгоритму та програмного забезпечення модуля з виконання маневрів у випадку «людина за бортом» (Рис. 1) було перевірено на симуляторі Navi Trainer 5000 на тренажерній базі ХДМА [12]. На одному й тому ж судні в програмі тренажера з однаковими характеристиками, на одній й тій самій ділянці моря, в однакових погодних умовах зі сталою швидкістю (10 вузлів), судноводії виконували дії з рятування людини що впала за борт, а саме «поворот Шарнова». Після чого той же маневр виконав автопілот за алгоритмом. Час спроб було зафіксовано (Рис. 2).

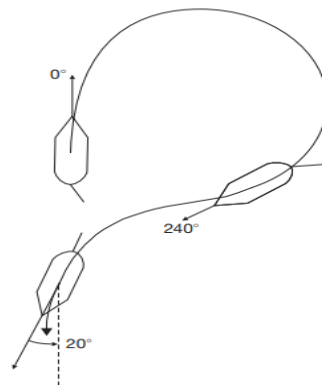


Рисунок 1 – Поворот Шарнова.

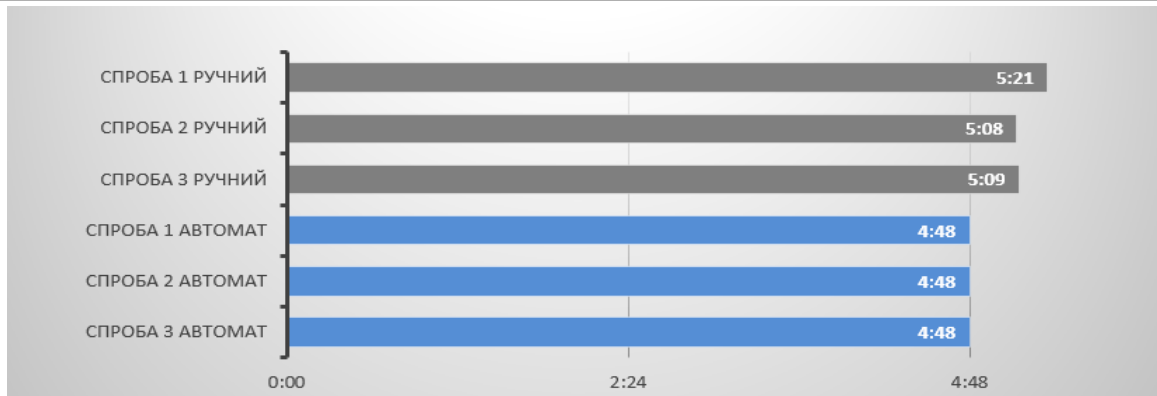


Рисунок 2 – Виконання повороту Шарнова. Спроби в ручному та автоматичному режимі з урахуванням витраченого часу (хвилини, секунди).

Висновки. Розробка алгоритмів та програмного забезпечення для модулів з виконання маневрів для автоматичного та автоматизованого керування суднами відіграє важливу роль в безпеці морського транспорту. Подальше дослідження та розробка в цьому напрямку актуальні для сьогодення. На прикладі експерименту показана ефективність і дієвість модуля, який забезпечить виконання маневру для порятунку людини, що опинилась за бортом судна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Marino, M., Cavallaro, L., Castro, E., Musumeci, R.E., Martignoni, M., Roman, F., Foti, E. «New frontiers in the risk assessment of ship collision». Ocean Engineering, 2023, 274, issue № 113999.
2. 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>
3. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Грошева О.А. Оптимальне управління надлишковими структурами азіподів // Матеріали V МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві: освіта, наука, практика», Херсон, 13-15 вересня 2018р., с.78-81
4. 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.10-14.DOI:10.33815/2313-4763.2019.2.21.010-015. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/480/416>
5. Moiseenko V.S., Zinchenko S.M., captain 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>
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. 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, Kherson

8. Mamenko P.P., Zinchenko S.M., Nosov P.S., Popovych I.S. Solution of the Problem of optimizing route with using the risk criterion // Materials of the International Scientific Conference "Intellectual decision-making systems and problems of computational intelligence" (ICDMCI-2021), 24-28 May 2021, Jelezny Port.
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. Merchant Navy Knowledge Library // Man Overboard – OOW Actions 01.02.2016 <https://officerofthewatch.co.uk/2016/02/man-overboard-actions/>
11. IAMSAR MANUAL Vol.3, Onboard emergencies, Section 4-(14-17) , 2016.
12. <http://www.icssc.org.cn/upload/file/20190102/Doc.9731-EN%20IAMSAR%20Manual%20-%20International%20Aeronautical%20and%20Maritime%20Search%20and%20Rescue%20Manual%20Volume%20III%20-%20Mobile%20Facilities.pdf>
13. Kherson Maritime Specialized Training Center. <https://kmstc.org/>
14. Зінченко 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 2018р., с.27-29

ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА НАДІЙНОСТІ АВТОНОМНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ НА ПРИКЛАДІ СУДНА

Чимшир В.І.

*Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»
(Україна)*

Вступ. Автономні технічні системи стають все більш поширеними і відіграють важливу роль у різних сферах людської діяльності, починаючи від промисловості та закінчуючи авіаційною та суднобудівельною. Однак, з розвитком технологій та збільшеною складністю систем, з'являються нові загрози безпеці та надійності, які можуть призвести до катастрофічних наслідків.

Для підвищення безпеки та надійності автономних систем необхідно або розробити більш ефективні, або удосконалити існуючі підходи, методи та моделі. На сьогоднішній день існує безліч підходів, таких як використання формальних методів верифікації та аналізу, тестування та налагодження на ранніх стадіях розробки, забезпечення захисту від зовнішніх загроз тощо.

Актуальність дослідження. Підходи до підвищення безпеки та надійності автономних технічних систем повинні бути багаторівневими, включати широкий спектр заходів і враховувати безліч факторів, пов'язаних з їх використанням у різних галузях. Концепція автономних суден - це новий і перспективний напрямок у розвитку суднобудування, однак високий рівень автоматизації може призвести до нових ризиків і виявити нові проблеми у забезпеченні їх безпеки та надійності.

Представимо низку актуальних досліджень, які стосуються проблем підвищення безпеки та надійності автономних суден.

У статті Varera С. та його співавторів [1] описується проблема безпеки та надійності в системах безпілотних суден. Автори розглядають ключові аспекти у сфері безпеки, включаючи управління рухом, детектування перешкод, диспетчеризацію та виявлення витоків палива, а також розглядають методи підвищення безпеки та надійності безпілотних суден.

Автори дослідження [2], розглядають загрози кібербезпеки, такі як атаки на бортові системи, кібершпигунство і кібертероризм, а також представляють методи захисту та забезпечення безпеки бортових систем.

Дослідження Montewka J. та співавторів [3] присвячено проблемі автономного судноплавства, таким як навігація, управління рухом, виявлення перешкод та взаємодія з навколишнім середовищем. Досить оригінально представлено рішення для покращення безпеки та надійності автономних суден.

Метою даного дослідження є визначення підходів до підвищення безпеки та надійності автономних технічних систем на прикладі суден.

Результати дослідження. Розглянемо основні підходи до підвищення безпеки та надійності автономних технічних систем (Рис. 1), до них можна віднести.

Одним із ключових підходів до підвищення безпеки та надійності автономних систем є управління ризиками. Воно включає ідентифікацію, аналіз та управління ризиками, пов'язаними з автономними системами, а також впровадження заходів для мінімізації цих ризиків. Основним компонентом цього підходу є системний аналіз ризиків, який дозволяє виявити потенційні небезпеки та оцінити ймовірність їх виникнення. Після цього розробляються заходи для управління ризиками, які можуть включати зміну конструкції судна, поліпшення системи управління, навчання та сертифікацію екіпажу та інші. В рамках цього підходу можна запропонувати такі зміни у конструкції автономних судів

Важливим підходом також є розробка стандартів та регуляторних політик. Створення уніфікованих стандартів та правил, які повинні дотримуватися при розробці та

експлуатації автономних систем, може значно покращити їхню безпеку та надійність. У рамках даного підходу, заснованого на управлінні ризиками, можна зазначити такі пропозиції щодо розробки стандартів та регуляторної політики.



Рисунок 1 – Підходи до підвищення безпеки та надійності автономних технічних систем

За аналізом великої кількості досліджень найактуальнішим є підхід заснований на розробці алгоритмів та методів ймовірнісного аналізу та машинного навчання. До них можна віднести: розробку алгоритмів визначення стану судна та його навколишнього середовища; розробку алгоритмів управління рухом судна на основі даних про його стан; розробку алгоритмів навчання з підкріпленням; розробку алгоритмів моніторингу та діагностики стану автономних судів; розробку методів захисту від кібератак та забезпечення безпеки інформації

Ці напрями можуть бути основою для створення нових алгоритмів та методів глибокого машинного навчання для забезпечення безпеки та надійності автономних судів.

Висновки. Таким чином, забезпечення безпеки та надійності автономних судів є актуальним та важливим завданням, яке потребує комплексного підходу. Розробка нових технологій та методів, а також удосконалення стандартів та регуляторної політики можуть суттєво підвищити рівень безпеки та надійності автономних судів.

Проведені дослідження допомагають глибше зрозуміти виклики, що стоять перед проектуванням, експлуатацією, технічним обслуговуванням автономних суден, а також зрозуміти, як підвищити їхню безпеку і надійність.

В цілому, можна зазначити, що дослідження в напрямку підвищення безпеки та надійності автономних суден продовжують просуватися, і вже на цьому етапі представлені значні досягнення. Однак, як було зазначено, оскільки автономні судна є складними технічними системами, їх проектування та навчання з метою забезпечення їх безпеки та надійності, потребує додаткових досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Barrera C., Padrón Armas I., Luis F., Llinas O., Marichal N.: Trends and Challenges in Unmanned Surface Vehicles (USV): From Survey to Shipping. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 15, No. 1, doi:10.12716/1001.15.01.13, pp. 135-142, 2021
2. Ziajka-Poznańska, E.; Montewka, J. Costs and Benefits of Autonomous Shipping—A Literature Review. *Appl. Sci.* 2021, 11, 4553. <https://doi.org/10.3390/app11104553>
3. Montewka J., Wróbel K. Challenges, solution proposals and research directions in safety and risk assessment of autonomous shipping. *Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM 14*, September 2018, Los Angeles, CA.

ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ШВИДКІСНОГО ПІДШИПНИКА ТУРБИНИ НА ПІДСТАВІ АНАЛІЗУ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ

Шарко О.В.¹, Степанчиков Д.М.², Шарко А.О.³

¹Херсонська державна морська академія (Україна)

²Херсонський національний технічний університет (Україна)

³Технічний університет в Ліберці (Чехія)

Вступ. Вартість морських транспортних суден досягає десятків мільйонів доларів. На суднові енергетичні установки припадає до 10-30% цієї вартості. Період будівництва одного судна триває близько року, а нормативний термін служби – 20-25 років. Протягом терміну служби енергетичну установку зазвичай не змінюють, а здійснюють її безперервне технічне обслуговування і періодичні ремонти. Відмова обладнання в період його експлуатації є наслідком погіршення його міцнісних та функціональних параметрів, що відбувається внаслідок природних, фізичних та фізико-хімічних процесів у матеріалах. Відхилення від цих станів знижує безпеку експлуатації та ресурс обладнання.

Актуальність дослідження. Безаварійна експлуатація елементів енергетичного обладнання морських суден залежить від якості моніторингу їх технічного стану і реалізації фізичних методів діагностики. Як показує досвід основними вузлами та елементами турбокопресорів, що виходять з ладу, є підшипники – на них припадає 43,8% усіх відмов. Самий ефективний спосіб зниження експлуатаційних витрат та покращення надійності – проведення технічного обслуговування на основі інтерактивного моніторингу стану, виявлення несправностей та прогнозування стану енергетичного обладнання. Це робить завдання контролю, діагностики та прогнозування параметрів енергетичного обладнання у реальному масштабі часу особливо актуальним.

Постановка задачі. Інформація, що міститься у вібраційних сигналах може бути представлена цілим набором характеристик амплітудних, часових, енергетичних та частотних параметрів та їх проявів. Зменшити розмірність даних, втративши найменшу кількість інформації дозволяє метод головних компонентів. В основі методу лежить ідея побудови лінійного перетворення ознак, при якому у новій системі координат відношення сигнал/шум зменшується. Метою роботи є побудова експоненціальної моделі деградації для визначення та прогнозування залишкового ресурсу підшипника турбіни в реальному часі на основі аналізу вібраційних сигналів з використанням методу головних компонентів.

Результати дослідження. Експоненціальна модель деградації передбачає прогнозування залишкового ресурсу на основі попередніх параметрів і останніх вимірювань (історичні дані про роботу до відмови можуть допомогти оцінити попередні параметри моделі, але вони не є обов'язковими). Модель здатна виявляти значну тенденцію погіршення в реальному часі та оновлювати попередні параметри, коли стає доступним нове спостереження. Для прикладу наведено типовий робочий процес прогнозування: імпорт і дослідження даних, вилучення й обробка ознак, ранжування та об'єднання важливості ознак, підгонка та прогнозування моделі та аналіз продуктивності.

Набір даних зібрано з високошвидкісного вала турбіни, що приводиться в рух шестернею з 20 зубами [1]. Вібраційний сигнал тривалістю 6 секунд отримували щодня протягом 50 днів поспіль. Виникла несправність внутрішнього кільця, яка спричинила вихід підшипника з ладу протягом 50-денного періоду.

Дані містять сигнал вібрації та сигнал тахометра. Частота дискретизації вібраційного сигналу 97656 Гц. Візуалізація сигналів вібрації у часовій області показана на рис. 1.

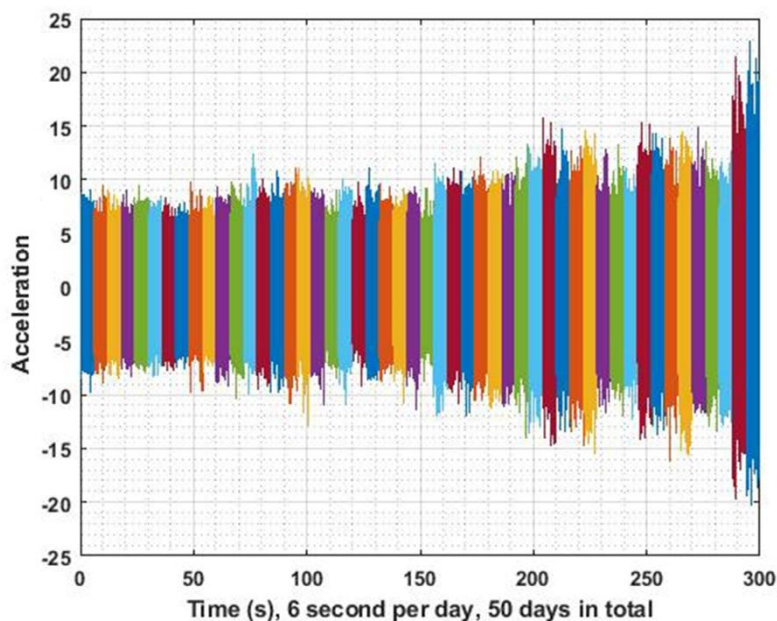


Рисунок 1 – Послідовність щоденних 6-секундних вібраційних сигналів, знятих на валу турбіни упродовж 50 днів спостережень

Вібраційні сигнали в часовій області виявляють тенденцію до зростання імпульсивності. Для аналізу та обробки були обрані статистичні характеристики сигналів АЕ у часовій області, такі як середнє значення (Mean), стандартне відхилення (Std), асиметрія (Skewness), ексцес (Kurtosis), повний розмах коливань (Peak2Peak), середньоквадратичне значення (RMS), хрест-фактор (CrestFactor), форм-фактор (ShapeFactor), імпульсний фактор (ImpulseFactor), граничний фактор (MarginFactor), енергія (Energy), а також статистичні характеристики спектрального ексцесу, такі як середнє значення (SKMean), стандартне відхилення (SKStd), асиметрія (SKSkewness), ексцес (SKKurtosis), які кількісно визначають імпульсивність сигналу [2,3].

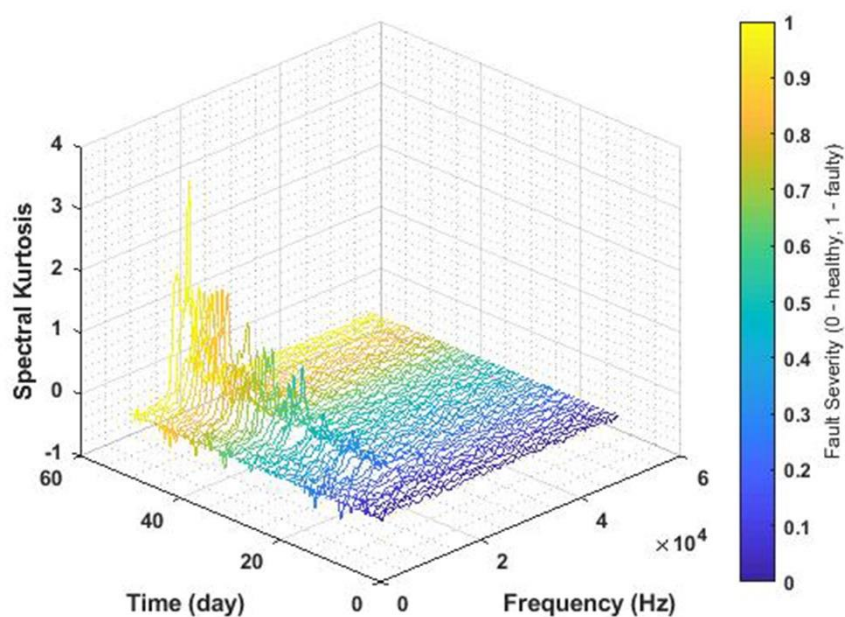


Рисунок 2 – Графік значень спектрального ексцесу як функцію частоти та дня вимірювання. Серйозність несправності, зазначена на кольоровій панелі, є датою вимірювання, нормалізованою за шкалою від 0 до 1.

Спектральний ексцес вважається потужним інструментом для прогнозування стану підшипників турбін у частотній області. Візуалізація зміни спектрального ексцесу для кожного вібраційного сигналу представлена на рис.2. Значення спектрального ексцесу близько 10 кГц поступово збільшується в міру погіршення стану машини. Статистичні характеристики спектрального ексцесу, такі як середнє значення, стандартне відхилення тощо, будуть потенційними індикаторами деградації [4].

Ознаки імпульсивності сигналів зазвичай асоціюються з шумом, який є шкідливим для прогнозування залишкового ресурсу. Тому причинно-наслідковий фільтр ковзного середнього з вікном затримки в 5 кроків застосовується до статистичних ознак. Метод головних компонентів (РСА – Principal Component Analysis) використовується для зменшення розмірності та об'єднання статистичних характеристик вібраційних сигналів.

Графік на рис.3 показує, що перший головний компонент зростає, коли машина наближається до відмови. Таким чином, перший головний компонент є потенційним комбінованим показником стану підшипника турбіни.

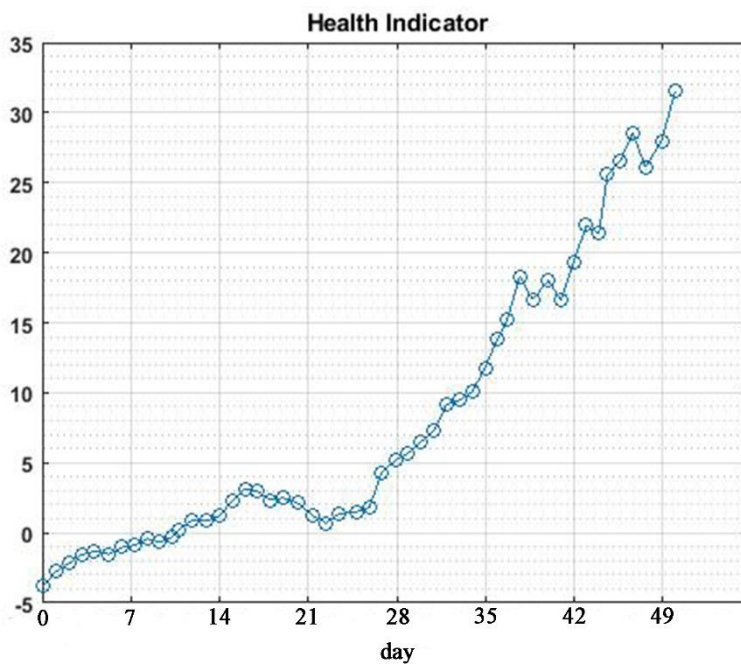


Рисунок 3 – Перший головний компонент для послідовно знятих вібраційних сигналів

На практиці дані всього життєвого циклу недоступні при розробці прогностичного алгоритму, але розумно припустити, що деякі дані були зібрані на ранній стадії життєвого циклу. Отже, дані, зібрані в перші 20 днів (40% життєвого циклу), розглядаються як дані навчання.

Експоненціальна модель деградації визначається як [3]

$$h(t) = \phi + \theta \exp\left(\beta t + \varepsilon - \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (1)$$

де $h(t)$ – показник стану підшипника як функція часу; ϕ – константа перетину; θ і β є випадковими параметрами, що визначають нахил моделі, де θ є логарифмічним нормальним розподілом, а β є розподілений за Гаусом. На кожному кроці часу t розподіл θ і β оновлюється до апостеріорного на основі останнього спостереження за $h(t)$. Параметр ε є гаусівським білим шумом, σ^2 – дисперсія.

Експоненціальна модель деградації також надає функціональність для оцінки значущості нахилу. Як тільки буде виявлено значний нахил показника працездатності, модель забуде попередні спостереження та перезапустить оцінку на основі вихідних

попередніх даних. Чутливість алгоритму виявлення можна налаштувати. Часова залежність функції (1) показана на рис.4.

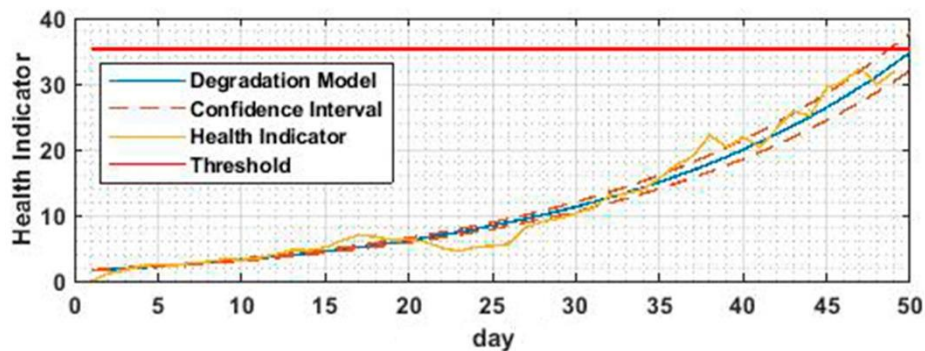


Рисунок 4 – Експоненціальна модель деградації (синя лінія) та перший головний компонент (жовта лінія) як функції часу. Червона лінія – порогове значення показника стану, пунктирні лінії – довірчий інтервал визначення показника стану

Вибір порогового значення зазвичай ґрунтується на історичних записах машини або певних предметних знаннях. Оскільки в цьому наборі даних немає історичних даних, останнє значення показника працездатності (першого головного компонента) вибрано як порогове значення.

Висновки. Описано структуру проведення моніторингу стану підшипника турбіни на основі вимірювань вібраційних сигналів. Виділено набір статистичних характеристик вібраційних сигналів в часовій та частотній областях, проведена їх статистична обробка та аналіз. Показано, що спектральний ексцес є потужним інструментом для прогнозування стану підшипників турбін у частотній області. Для зменшення розмірності і об'єднання характеристик сигналів використано метод головних компонентів. Встановлено, що лінійна залежність першого головного компонента при послідовному наближенні підшипника до руйнування може служити індикатором його стану. Перший головний компонент дозволяє досить надійно встановити порогове значення показника стану підшипника. Показана можливість застосування експоненціальної моделі для прогнозування стану підшипника турбіни на основі аналізу вібраційних сигналів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bechhoefer E., Van Hecke B., He D. Processing for Improved Spectral Analysis. Annual Conference of the PHM Society. – 2013. – 5(1). <https://doi.org/10.36001/phmconf.2013.v5i1.2220>.
2. Louda P., Sharko O., Stepanchikov D., Sharko A. Features of the Application of the Principal Component Method to the Study of Acoustic Emission Signals Under Loading of Multilayer Structures. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. – 2023. – v. 149. – p. 462–487. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16203-9_27.
3. Ali, Jaouher Ben, et al. Online automatic diagnosis of wind turbine bearings progressive degradations under real experimental conditions based on unsupervised machine learning. – Applied Acoustics. – 2018. – 132. – p.167-181. <https://doi.org/10.1016/J.APACOUST.2017.11.021>
4. Saidi, Lotfi, et al. Wind turbine high-speed shaft bearings health prognosis through a spectral Kurtosis-derived indices and SVR. – Applied Acoustics. – 2017. – 120 – p.1-8. <https://doi.org/10.1016/J.APACOUST.2017.01.005>.

СЕКЦІЯ:
БЕЗПЕКА СУДНОПЛАВСТВА

ШЛЯХІ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ВАНТАЖНОГО ПЛАНУ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ

Бень А.П., Соколов А.В.

Херсонська державна морська академія (Україна)

Вступ. Зростання обсягів світових морських контейнерних перевезень та розмірів сучасних контейнеровозів обумовлює постійне підвищення вимог до їх безпечності та економічної ефективності. Найважливішою компонентою ефективних та безпечних контейнерних перевезень є складання раціонального вантажного плану контейнеровозу, який повинен одночасно відповідати багатьом, іноді взаємно суперечливим вимогам: забезпеченню максимально можливої контейнеромісткості судна, мультипортовісті перевезень, скорочення часу виконання вантажних операцій в портах, дотримання вимог до сегрегації та розміщення небезпечних вантажів та вантажів з особливими умовами перевезення, збереження остійності судна тощо.

Формування такого плану являє собою складну багатокритеріальну NP повну оптимізаційну задачу, яка повинна вирішуватися за наявності певних часових обмежень. На поточний момент часу зазначена задача вирішена лише частково і викликає нагальний інтерес для науковців з різних країн [1-8], оскільки тісно пов'язана з розв'язанням важливих проблем безпеки сучасного судноплавства та його економічної ефективності.

Основна частина. Вантажний план контейнеровозу визначає порядок розташування окремих контейнерів на судні у відповідності з технологічними вимогами до розміщення контейнерів та правилами перевезення вантажів. Слід зазначити, що нераціональне розміщення контейнерів призводить до необхідності здійснення зайвих вантажних операцій в порту – тимчасового переміщення одних контейнерів з метою вивільнення інших. Зазначене явище має назву «шифтінг» і призводить до зниження економічної ефективності рейсу, оскільки потребує збільшення кількості вантажних операцій і тривалості перебування судна в порту, що обумовлює появу додаткових витрат. Вартість переміщення одного невірної розташованого контейнеру може сягати від кількох десятків до кількох сотень доларів, тому зменшення кількості шифтінгу є вельми актуальною науково-практичною задачею.

При складанні вантажного плану контейнеровозу необхідно враховувати низку обов'язкових та додаткових обмежень, які можна структурувати наступним чином.

1. Дотримання вимог збереження міцності корпусу судна та його конструктивних особливостей (поздовжня міцність корпусу, вигинаючі моменти, міцність палуби, розташування кришок люків та місць кріплення контейнерів тощо).
2. Дотримання вимог до збереження остійності судна (контроль припустимих меж для метацентричної висоти, осадки, крену та диференту).
3. Врахування ваги контейнерів (легші вище за більш важкі).
4. Врахування послідовності завантаження-вивантаження контейнерів у відповідності з портами під час виконання рейсу (мінімізація «шифтінгу»).
5. Дотримання технологічних вимог до взаємного розташування і кріплення 20-ти та 40-ка футових контейнерів, а також контейнерів збільшеної висоти та довжини.
6. Врахування вимог, пов'язаних з сегрегацією вантажів та розміщенням небезпечних вантажів на судні.
7. Розміщення рефрижераторних та спеціалізованих контейнерів в задалегідь призначених для них місцях.

Окремим питанням формування вантажного плану є необхідність врахування мультипортовісті контейнерних перевезень, оскільки наявність проміжних портів істотно впливає на структуру вантажного плану і процеси завантаження-вивантаження судна.

Приймаючи до уваги вищезазначені умови, доцільно здійснювати формування вантажного плану в два етапи: на стратегічному рівні і оперативному. В такому випадку на стратегічному рівні формується узагальнений («огрублений») вантажний план, який враховує всі початкові і найважливіші обмеження по розміщенню контейнерів на судні. Таким чином формується так званий головний «каркас» вантажного плану судна. На другому, оперативному рівні здійснюється заповнення створеного «каркасу» контейнерами і його уточнення до конкретної позиції кожного окремого контейнеру. На етапі оперативного планування можливе також внесення додаткових змін до вантажного плану, які можуть виникнути під час виконання рейсу в проміжних портах.

Слід зауважити, що при розробці математичних моделей і методів, які застосовуються для формування вантажного плану, також необхідно обов'язково враховувати їх обчислювальну складність, оскільки вона суттєво впливає на придатність з точки зору практичної реалізації та розробку відповідних програмних засобів.

Проведений аналіз низки робіт зарубіжних та вітчизняних авторів [1-8], дозволив визначити, що для складання вантажного плану судна можуть застосовуватися як точні так і евристичні методи пошуку рішень. Перевагою точних методів (лінійне або динамічне програмування, повний перебір тощо) є повна детермінованість і можливість гарантованого найбільш оптимального рішення. Проте, їх головним недоліком є висока обчислювальна складність, що унеможлиблює застосування таких методів без певних обмежень для знаходження рішення в потрібний проміжок часу. Евристичні методи (генетичні алгоритми, імітація відпалу, метод мурашиної колонії, пошук із заборонами, жадібний алгоритм) навпаки, дозволяють знаходити необхідне рішення відносно швидко, але воно буде лише субоптимальним (проте прийнятним з практичної точки зору для вирішення поставленої задачі). Приймаючи до уваги обчислювальну складність кожного з етапів формування (стратегічного та оперативного) вантажного плану, можна зробити висновок, що на стратегічному рівні (побудова «каркасу» вантажного плану) перевагу слід надати точним та детермінованим методам пошуку рішень, а на оперативному рівні краще застосовувати евристичні. Таким чином, вантажний план судна формуватиметься в два етапи шляхом комбінованого застосування точних та евристичних методів пошуку рішень.

Висновки. Застосування запропонованого підходу для формування вантажного плану контейнеровозу дозволить істотно скоротити час, необхідний для його створення та поліпшити його наближення до найбільш оптимального варіанту завантаження судна. При розробці програмних засобів для формування вантажного плану контейнеровозу доцільно застосовувати комбінацію методів лінійного та евристичного програмування відповідно до етапів побудови вантажного плану.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ambrosino D., Sciomachen A., Tanfani E. Stowing a containership: the master bay plan problem. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2004. № 38.2. P. 81–99.
2. Ding D., Chou M. C. Stowage planning for container ships: a heuristic algorithm to reduce the number of shifts. *European Journal of Operational Research*. 2015. Vol. 246(1). P. 242–249.
3. Sciomachen A., Tanfani E. A 3D-BPP approach for optimizing stowage plans and terminal productivity. *European Journal of Operational Research*, 2007. Vol. 183, No. 3. P. 1433–1446.
4. Wilson I., Roach P.A. Container stowage planning: a methodology for generating computerised solutions. *Journal of the Operational Research Society*. 2000. Vol. 51. No. 11. P.1248–1255.
5. Бень А. П., Федоров А. І. Формування вантажного плану контейнеровозу при здійсненні мультитортових перевезень. *Судноводіння*. 2019. №29. С. 10–19.

6. Каменєв К. І., Каменєва А. В. Використання адитивного алгоритму для розміщення небезпечних вантажів на контейнерному судні. *Судовождение*. 2018. № 28. С. 70–77.
7. Цимбал М. М. Формування плану завантаження контейнеровозу. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2020. №1(22). С. 64–73.
8. Федоров А. І. Метод формування субоптимального вантажного плану контейнеровозу. *Проблеми інформаційних технологій*. 2019. №25. С. 96–105.

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ НА СУДНАХ ТИПУ HEAVY LIFT

*Бень А.П., Соловей О.С., Шпілєвая Т.М.
Херсонська державна морська академія (м. Херсон)*

Вступ. На поточний момент часу у світових морських перевезеннях спостерігається стійка тенденція до збільшення частки перевезень великовагових та великорозмірних вантажів, що обумовлено зростаючими потребами в таких вантажах підприємств нафтової та газової промисловості, вітро- та гідроенергетики, суднобудівної галузі. У сучасному світовому торговому флоті, згідно даним Міжнародної морської організації (ІМО), налічується більше ніж 120 000 суден, з яких значна частина припадає на суховантажні судна: універсальні судна для перевезення генеральних вантажів. Більшу частку універсальних суден складають спеціалізовані судна для перевезення великовагових негабаритних вантажів (Heavy Lift) [1].

Процес перевезення великовагових та негабаритних вантажів (ВВНВ) має низку особливостей, що обумовлені перш за все, складністю та тривалістю виконання вантажних операцій, специфічністю розміщення і кріплення вантажів на судні, особливостями моніторингу параметрів остійності судна як під час перевезення вантажів, так і під час виконання вантажних операцій.

Основна частина. Тривалість виконання однієї вантажної операції з ВВНВ зазвичай триває кілька годин, при цьому сам вантаж є дороговартісним, а помилки під час виконання таких операцій можуть призводити до значних економічних втрат, обумовлених як імовірністю пошкодження вантажу так і самого судна та причальних конструкцій або вантажного обладнання. Вирішення проблеми підвищення безпечності та економічної ефективності вантажних операцій з ВВНВ повинно вирішуватися в площині запровадження засобів автоматизованого контролю процесів завантаження-вивантаження ВВНВ та моніторингу параметрів остійності судна [2].

Параметри остійності судна, які повинні контролюватися під час вантажних операцій з ВВНВ це: крен, диферент, осадка, метацентрична висота. Для вантажного обладнання необхідно здійснювати постійний контроль за навантаженням на гаки кранів та відстежувати зміни куту підйому вантажу (Hoisting angle) [3]. Оскільки контроль вищезазначених параметрів необхідно здійснювати в режимі реального часу, для вирішення задачі оптимізації вантажних операцій з ВВНВ та підвищення рівня їх безпеки, постає нагальна необхідність в створенні спеціалізованих автоматизованих систем контролю (АСК) та систем підтримки прийняття рішень (СППР) з керування вантажними операціями на суднах типу Heavy Lift [4].

Системи першого типу спрямовані на вирішення питань технічного контролю процесів завантаження-вивантаження ВВНВ та здійснюють безпосередній контроль параметрів остійності судна, вантажного обладнання та відповідне керування виконавчими пристроями (вантажним обладнанням, баластуванням, рухом судна) тощо. Системи другого типу є подальшим розвитком та логічним доповненням АСК і здійснюють керування вантажними операціями на стратегічному рівні. До функцій СППР входить взаємна інтеграція процесів керування, які здійснюють старший помічник капітана, кранівники, оператор керування баластом. СППР отримує інформацію від АСК і реалізує процес керування операціями завантаження вивантаження на суднах типу Heavy Lift в цілому, на рівні оптимізації їх виконання.

Таким чином, раціональне керування процесами завантаження-вивантаження ВВНВ може бути досягнуте шляхом гармонізованого поєднання функцій систем першого та другого типу, при цьому на оперативному рівні керування застосовуються АСК, які виконують задачі, пов'язані з дотриманням технологічних та безпекових вимог до виконання вантажних операцій. На стратегічному рівні застосовується СППР, що

забезпечує адаптивну взаємодію з особами, яким приймають рішення в процесі завантаження-вивантаження судна.

Приклади побудови та практичної реалізації вищезазначених систем розглянуті в роботах [5-8]. Проведена апробація АСК та СППР з керування вантажними операціями на суднах типу Heavy Lift довела їх практичну ефективність.

При розрахунку вантажних операцій необхідний прогноз руху вантажу, що вимагає застосування математичної моделі системи судно-вантаж. Особливості виконання вантажних операцій дозволяють використовувати лінеаризовані моделі системи судно-вантаж. У практиці математичні моделі судна не передбачають вільного руху, що вимагає уточнення вихідних принципів побудови моделі.

Під час вантажних операцій широко використовується оптимальне керування, пов'язане з прагненням усунути «людський фактор», тому питання розвитку інформаційно-керуючих систем у складі АСК вантажними операціями відкриває можливість розвитку нових алгоритмів виконання операцій з ВВНВ і зниження ризиків в технології.

Висновки. Приймаючи до уваги вищенаведене, можна зробити висновок, що запровадження спеціалізованих АСК та СППР з керування вантажними операціями на суднах типу Heavy Lift дозволить істотно підвищити безпеку виконання вантажних операцій з ВВНВ, та знизити витрати часу на їх виконання, і відповідно, на перебування судна в порту, що, в свою чергу, матиме позитивний вплив на підвищення економічної ефективності перевезення ВВНВ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л., Заичко С.И. Бортовые автоматизированные системы контроля мореходности. Одесса: ФЕНИКС, 2005. 272 с.
2. Соловей А.С. Обеспечение безопасности при работе с тяжелыми негабаритными грузами на морском транспорте // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2013) [Збірка матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції. У 2-х тт. (28-30 травня 2013р., Херсон)]. – Т. 2. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2013. – С. 76-79.
3. Соловей А.С. Усовершенствование методов контроля подъемного угла (Hoisting angle) во время проведения грузовых операций с тяжелыми и негабаритными грузами на специализированных судах / Бень А.П., Соловей А.С. // Науковий вісник ХДМА. – 2014. – № 1 (10). – С. 262-267.
4. Соловей А.С. Система поддержки принятия решений в операциях с тяжелыми негабаритными грузами на морском транспорте / А.П. Бень, А.С. Соловей // Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-Одеса-2013) : Матеріали міжнародної науково-практичної конференції / відп. ред. В.В. Вичужанін. – Одеса : «ВидавІнформ» ОНМА, 2013. – С. 104-106.
5. Соловей А.С. Принципы создания систем поддержки принятия решения при управлении грузовыми операциями с тяжелыми негабаритными грузами на специализированных судах/ Соловей А.С. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015) [Збірка матеріалів VII Міжнародної науково-практичної конференції (26-28 травня 2015 р., Херсон)]. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2015. – С. 165-167.
6. Соловей А.С. Автоматизация управления процессов погрузки и выгрузки негабаритных грузов на специализированных морских судах / Соловей А.С. // Безпека життєдіяльності на транспорті і виробництві – освіта, наука, практика (SLA – 2015): Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції, 17-18 вересня 2015 р., м. Херсон: видавництво ХДМА, 2015. – С. 299-302.
7. Соловей О.С. Оптимальні системи управління вантажними операціями з великогабаритними вантажами на суднах / Соловей О.С., Бень А.П., Рожков С.О. // Проблеми інформаційних технологій. 2017. – № 2(022). – С.98-108.

8. Solovey, O., Ben, A., Dudchenko, S., Nosov P. (2020). Development of control model for loading operations on Heavy Lift vessels based on inverse algorithm. Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 5/2 (107), p. 48–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214856>.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE PROSPECTS FOR IMPROVING NAVIGATION SAFETY

Vorokhobin M.I., Konon N.M.
National university "Odesa maritime academy"
(Ukraine)

Introduction. The intense nature of globalization puts forward demands for increasing the economic and environmental efficiency of maritime transport, which involves an increase in the volume of cargo transported at relatively reduced transport costs. According to the Maritime Transport Survey of the United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) [1], in 2021 the global commercial fleet grew by 3% to a total of 99,800 vessels, which increased the demand for employees in the maritime sector. At the same time, accidents at sea remain an actual problem in the maritime industry. According to EMSA statistics for the period from 2014 to 2020, more than half of marine accidents occurred in inland waters, especially in port areas, and most accidents (58.4%) were of a navigational nature (contact, grounding, collision, capsizing). Based on the results of the analysis conducted during the investigations, it was established that during the same period, 89.5% of incidents were related to human error. In terms of human factors, "safety recommendations" and "actions taken" mainly related to the training, skills and experience of all parties involved (50.8%) [2].

Relevance of the research. Taking into account the growing demand for sea transportation and the relatively high rates of navigation accidents of ships, current research was devoted to the statistical analysis of maritime accidents, the study of cause and effect relationships contributing to the development of dangerous situations in the context of the influence of the human factor, the identification of possible shortcomings of modern navigation and information systems as well as the level of training of shipmasters in order to determine the ways to improve the navigational safety of sea transportation.

Problem statement. This research can be divided into 3 main sections:

- 1) review of marine accidents statistics and analysis of recent navigational accidents;
- 2) overview of present technical innovations in maritime sector as well as modern method used in MET (Maritime education and training);
- 3) determination of prospective solutions to improve maritime safety.

Analysing both human actions and contributing factors, the human element accounts for 81.1% of investigated marine accidents and incidents, and these trends are typical for all vessel types. Figure 1 shows statistical data for the last five years, demonstrating the largest share of registered marine accidents, which is related to: loss of control - loss of propulsion, collision, contact.

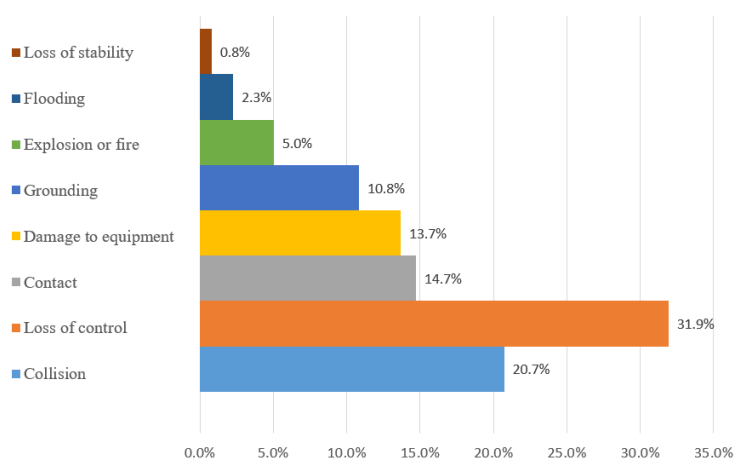


Figure 1 – Marine accidents distribution by type (2017-2022)

According to the statistical data [2] on marine accidents and incidents from 2014 to 2021, it was established that 59.6% of accidents were caused by human actions, while 68.3% of contributing factors were related to human behaviour.

Results. Within the framework of current study, a detailed analysis of the following accidents was carried out. One of the recent and well-known accidents is the blocking of the Suez Canal in March 2021 by the container ship “Ever Given” due to the loss of control in conditions of strong wind and under the pilotage. Despite the established measures to control and prevent similar cases in the future, the following year another container ship of the same company, “Ever Forward” under the flag of Hong Kong, ran aground under the pilotage in the Baltimore inner waters [3]. Next analysed marine accident occurred in July 2020, when two general vessels “Florence Spirit” and “Alanis” collided in the Welland Canal, Ontario [4]. As the result, the hulls of both vessels sustained significant structural damage. In order to confirm the stated theses and conclusions, another example of a marine accident is given, namely the collision of the container ship “APL Pusan”, heading to the pier of Keihin port under the pilotage, and the cargo ship “Shoutokumaru”, heading to the anchorage in Keihin port. In October 2019 these vessels collided within the traffic separation system, and, consequently, APL Pusan collided with a light buoy [5].

Thus, summarizing the analysis results of the above-listed marine accidents, it is possible to determinetwo promising directions for improving the navigational maritime safety in a first approximation, namely:

- revision of modern standards and methods used in education and training of captains, including encouragement of pilots to joint training in order to develop skills of mutual cooperation, mutual understanding and coordination of actions, as well as prevention of uncertainty in decisions and intentions between members of the bridge team in the context of Bridge Resource Management;

- assessment of the actual effectiveness of modern navigation systems for minimizing the human factor’s influence, identification and systematization of shortcomings and limitations of navigational equipment, determination of prospect to improve existing and/or develop innovative navigation systems, as well as the increase of the navigational autonomy level.

By comparing the potential advantages of autonomous navigation and artificial intelligence systems with the limitations of modern navigation systems and the current level of ship accidents, it is possible to determine a promising direction of research on the partial and gradual implementation of elements of autonomy on ships of the world fleet. In this way, the following can be noted as expected results:

- 1) The gradual introduction of autonomous elements opens up the opportunity to control the level of equipment’s adaptation, to assess its performance in working conditions, avoiding interference with the main schedule of the ship. One of the advantages is economic profitability, another is monitoring and feedback from actual users.

- 2) The potential perspective of automatic transition to the vessel’s autonomous control in the event of a significant and dangerous deviation from the planned and approved route (for example, such as in the discussed accident with "Ever Forward").

- 3) Increasing the level of situational awareness due to the integration of artificial intelligence into navigational systems for the purpose of constant assessment of the situation, with the output of more detailed information and recommendations regarding a specific danger.

On the other hand, similar innovations in the field of navigational automation require careful control, both from the correctness of the systems and their appropriate use. In order to prevent the intervention of the ship's crew in such procedures, in order to minimize the influence of the human factor, it is necessary to provide the remote access to such equipment, for example from the shore side.

As a result of the assessment of the current state of MET, the following weak sides in the modern BRM (Bridge resource management) educational methodology were highlighted:

1) Lack of real interaction between all parties involved. Real simulation of the interaction between the ship's crew and the tug (including tug operator) might improve the overall quality of training.

2) Inadequate scenario, which does not take into account the vessel's multicultural environment. This could be arranged either by remote connection from simulation bridges located in different countries, or by inviting people from different countries, either by connecting to a virtual bridge using modern virtual reality technologies [6].

3) The lack of effectiveness of modern approaches is confirmed by real maritime accidents, which clearly demonstrates the existent lack of mutual and productive cooperation between bridge team members on the one hand. On the other hand, the lack of a responsible attitude from the pilots, who, due to high experience, might not consider advices from other members or overlook some factors that may at first glance seem ordinary and predictable.

Conclusions. Summarizing the results of conducted study, it should be emphasized that the highest level of accidents of a navigational nature occurs in inland waters, namely port waters, where, as a rule, ships are obliged to use the services of a pilot and the help of tugboats. Having conducted a general analysis of accidents at sea, as well as a more detailed review of recent marine accidents, conclusions were drawn regarding cause-and-effect relationships, as well as the role of the human factor in the development of these incidents.

Given the similarity and repetition of some of the factors when considering various maritime navigational accidents, in order to increase the navigational safety of sea transportation, it is proposed to carry out measures for the partial and gradual implementation of elements of autonomy on the vessels. Such gradual introduction opens up the possibility of controlling and adapting equipment, evaluating its effectiveness in ship conditions, keeping the main schedule of the ship. In this way, the potential perspective of automatic transition to vessel's autonomous control is also seen, in case of a significant and dangerous deviation of the vessel from the planned and approved route of the vessel, taking into account external factors. In addition, the level of situational awareness could be increased by integrating artificial intelligence into navigation systems in order to continuously assess the situation, deriving more detailed information and recommendations on a specific danger. However, such innovations in the field of navigation automation require careful control, both from the point of view of the correctness of the systems and their proper use. In order to prevent the intervention of the ship's crew in such procedures, in order to minimize the influence of the ship's human factor, it is necessary to provide remote access to such equipment, for example from the shore side.

In addition to the improvement of navigational systems, it is proposed to review the modern methodology of MET, particularly in the context of the bridge resource management course program. On the one hand, as a result of the proposed procedures application in the field of MET, it would be possible to reduce the impact of insufficient cooperation and mutual understanding between the bridge team members, pilot and other possible participants in manoeuvring. On the other hand, due to the improvement of navigational and informational systems, as well as their automation, it becomes possible to implement automatic forecasting of dangerous actions associated with the influence of the human factor, in order to increase the safety of world maritime shipping.

REFERENCES

1. United Nations Conference on Trade and Development, "Handbook of Statistics 2022 - Maritime transport. Fact sheet #14: Merchant Fleet," *United Nations Conference on Trade and Development*, UNCTAD, TD/STAT.47, 2022. [Online]. Available: <https://unctad.org/publication/handbook-statistics-2022>. [Accessed: May 05, 2023].

2. European Maritime Safety Agency, "Annual overview of marine casualties and incidents," *European Maritime Safety Agency*, EMSA, 2022. [Online]. Available: <https://www.emsa.europa.eu/newsroom/latest-news/item/4867-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2021.html>. [Accessed: May 05, 2023].

3. United States Coast Guard, *Report of the Investigation on the EVER FORWARD (O.N. 9850551) Grounding in the vicinity of Craighill Channel on March 13, 2022*. Washington: USCG, 2022. [Online]. Available: https://www.dco.uscg.mil/Portals/9/DCO%20Documents/5p/CG-5PC/INV/docs/documents/EverForwardGrounding_ROI_Redacted.pdf?ver=odDgOSiBdmfRW2gXWrdnEQ%3D%3D. [Accessed: May 05, 2023].

4. Transportation Safety Board of Canada, *Marine Transportation Safety Investigation Report M20C0188 (released August 29, 2022)*. Gatineau: Transportation Safety Board of Canada, 2022. [Online]. Available: <https://www.tsb.gc.ca/eng/rapports-reports/marine/2020/M20C0188/M20C0188.html>. [Accessed: May 05, 2023].

5. Japan Transport Safety Board, *Marine Accident Investigation Report MA2021-3 (released March 25, 2021)*. [Online]. Available: https://www.mlit.go.jp/jtsb/eng-mar_report/2021/2019tk0014e.pdf. [Accessed: May 05, 2023].

6. N. Konon, “Prospects for modern maritime education and training practices in terms of distance learning,” *Shipping & Navigation*, 33(1), pp. 54–66, 2022, doi: <https://doi.org/10.31653/2306-5761.33.2022.54-66>.

THE WAYS OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE SHIP SYSTEMS

Zhmur V.¹, Zhmur I.²

¹*Kherson State Maritime Academy (Ukraine)*

²*Kherson Maritime College of Fishing Industry (Ukraine)*

Introduction. About the main objective of the requirements of Annex VI to the International Convention (IC) MARPOL is to reduce greenhouse gas emissions from ships by improving the energy efficiency of ships. The energy efficiency criterion for MARPOL is the ratio of the amount of CO₂ per unit of transport work, which is expressed as a coefficient, which is called the Design Energy Efficiency Index (EEDI) in units of grams of CO₂ divided by tonne-mile. I'd like to draw attention to the features of the EEDI calculation: EEDI calculations do not take into account operations (including very energy-intensive ones) during which the ship does not perform transport work, for example, energy consumption when unloading a tanker or the operation of an inert gas generator during cargo operations is not taken into account; the requirements for EEDI calculations do not cover vessels that do not carry cargo, for example, all fishing vessels or vessels of the technical fleet, since they are not formally doing transport work.

In accordance with the requirements of Annex VI, for each new ship built after 01.01.2013, the required (standard) and achieved (calculated) Energy Efficiency Design Factors (EEDI) must be determined, while the achieved EEDI must be less than the required one. The achieved EEDI characterizes the energy efficiency of each new vessel of a specific type and size in terms of its greenhouse gas emissions and reduction in fuel consumption. It is calculated in accordance with the IMO Guidelines [1] during the design of the ship and is confirmed when it is handed over to the ship owner by the shipbuilding company. In accordance with Regulation 20 of Annex VI, this factor must be calculated for each new ship that falls under one or more of the ship categories listed in Rule 2 "Definitions" of this Appendix. In addition to constructive measures for improvement of Ship Energy Efficiency IMO has developed an EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator) that is applicable not only to newly built ships, but also to existing ones. Unlike the EEDI, which is calculated once during the construction of the ship, the EEOI must be calculated in operation on a continuous basis, recorded in the ship's Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) and periodically reviewed by the company. SEEMP is developed by the company in accordance with MEPC.282 (70) [3] for each vessel using the EEOI coefficient.

The EEDI and EEOI coefficients have slightly different physical meanings. If EEDI is the ratio of the amount of transport work performed by the ship, which is under maximum load with a shaft power equal to 75% of the maximum power of the main engine, then EEOI is the amount of CO₂ produced for a certain period of time (voyage, year, etc.) etc.), referred to the amount of transport work of the vessel for the same period.

The SEEMP is a document developed in accordance with the requirements of IMO resolution MEPC.282 (70) [3] and provides for the development of measures to improve the energy efficiency of the operation of a particular vessel. As such measures, the mentioned resolution proposes the use of better fuel, limiting the idle time in ports due to clearer planning of voyages, correct ballasting of the vessel, timely maintenance of the hull and engine, etc. Regarding the main engine, the IMO Manual rightly states that the efficiency of modern marine diesel engines is extremely high (~50%) and the possibility of its further increase without involving fundamentally new technologies (for example, fuel cells) is questionable. But in auxiliary systems and mechanisms there are reserves for optimizing energy consumption, therefore, further we will consider the reserves for increasing the energy efficiency of ships by optimizing ship systems.

It is possible to propose a classification of ship systems according to the impact on the energy efficiency of the ship: systems involved in the course of the vessel; systems providing cargo operations; and systems that do not consume energy.

The latter can also include systems that have consumers, but are extremely rarely used, for example, only in emergency situations.

Systems involved in the course of the vessel. The energy consumed by them is taken into account when calculating the constructive energy efficiency factor, that is, the systems are involved in the production of transport work, and the energy consumed by them is taken into account when calculating the EEDI.

1. The systems should include:

systems serving the main engine (cooling, fuel, oil, ventilation of the ME, fuel heating system);

systems serving the cargo in the process of transportation (ventilation of cargo holds, refrigeration unit serving cargo holds, cargo cooling systems);

systems that provide general ship needs (household, refrigeration unit for provision storage, ventilation and air conditioning of residential and office premises, ballast and drainage systems when used while the ship is under way).

2. The systems used for carrying out cargo operations. These systems include:

systems that provide unloading (cargo, ballast, inert gases, ventilation of the holds of RO-RO ships, freezing of cargo in re-holds, cargo heating system on tankers).

3. The systems that do not consume energy include the gas exhaust system, the scuppers system from open decks, as well as rarely used systems - firefighters, ballast tank heating, etc.

Next, we will consider the specifics of the energy consumption of various ship systems in order to determine additional factors and features that should be taken into account for a more complete and adequate determination of the ship's energy efficiency, as well as to identify potential energy saving opportunities. To do this, when considering, we will try to answer the following questions:

what is the amount of power consumption by the system;

is this energy consumption taken into account current methodology for calculating EEDI and EEOI;

what are the ways to lower energy consumption and how effective they are.

To assess the amount of energy consumption by each system, we will use the data on the required capacity of various ship consumers, collected for the development of Technical and operational requirements for the optimal configuration of power plants of sea transport vessels. Methods for calculating electrical loads and determining the required capacity of generators of power plants [6] was used.

In this article, we will further consider only the systems assigned to the first group, that is, the systems involved in the course of the vessel and directly affecting the current energy efficiency criteria EEDI and EEOI. Unlike the first group of systems, the assessment of the impact on energy efficiency of the second group involved in cargo operations cannot use EEDI and requires the development of a special new criterion for assessing the energy efficiency of cargo operations. When developing such a criterion, one should take into account the differences in energy costs for handling different cargoes, and this seems to be a separate task that can be returned to in the future.

The purpose of this article can be summed up as the identification of additional factors and ship system characteristics, which should be considered when assessing the energy efficiency of the ship and developing energy-saving measures on ships.

Main part. According to resolution MEPC 245 (66) [2], if the ship does not have additional energy consumers associated with the preservation of cargo while the ship is under way or other significant consumers dictated by the design and purpose of the ship, the power consumption in the sea mode is assumed to be 5% from the power of the main engine, where the consumers of electric power on the ship are divided into two groups:

consumers that provide operation in the running mode, which are called the integral power of standard consumers, are qualitatively the same for any type of ship with a diesel power plant and additional power consumers typical for specialized ships.

The integral power of standard consumers is defined as 4.6% of the main engine power, which is quite consistent with the required MEPC 245 (66) 5% [2].

Drying system

The drainage system serves to remove bilge water overboard, that is, water that gradually accumulates in the hold spaces of the vessel - the engine room, cargo holds, and others. The reasons for the accumulation of such water can be different: sweating of the metal parts of the case, possible leaks in pipelines and outer cladding, blowing out mechanisms, washing flooring, etc. The parameters of bilge pumps are regulated by the SOLAS, depending on the size of the vessel. Although the drives of bilge pumps have a rather significant power, the utilization factor of bilge pumps can be considered negligible and therefore it will be difficult and ineffective to influence their energy consumption in any way. Bilge water drainage pumps may only be used in emergency operation. During normal operation, bilge water is collected in a dedicated drop tank or discharged after passing through a bilge water treatment plant. In this case, the power consumption can be considered insignificant and in the running mode the power consumption is included in the "integral power".

The most effective way to increase the energy efficiency of the drainage system should be considered measures to reduce the formation of bilge water on the ship: reducing the air humidity of the inlet machine ventilation, isolating cold surfaces in the engine room, monitoring leaks through detachable joints.

Ballast system

The ballast system is used for receiving, pumping over the ship and discharging ballast water overboard. Ballast (seawater) is taken on board to increase the draft during an unladen voyage in order to improve the operation of propellers, to equalize the roll or trim, and to change the stability of the vessel as fuel is consumed. While the ship is underway, the ballast system is not practically used and the insignificant power consumption on the ship in the underway mode is included in the "integral power".

By changing the fan speed, the savings can be half or more of the energy consumption for the fan drive, and the fuel savings while the vessel is moving will be about 0.5%.

Ventilation system

The ventilation system serves to maintain a normal air atmosphere in ship spaces by replacing polluted air with fresh air. Machine ventilation must ensure the temperature in the engine room within the limits required by the Rules (45 ° C) and the comfortable stay of people. The total rated power of electric drives (ED) of fans is determined depending on the total maximum continuous power of the main engine [5].

The power consumed by the electric drive of the engine room fans is determined by the formulas in the parking mode in the temperate and arctic zones and is a quarter of the indicated power, and in the parking mode in the tropical zone - half of this value.

In the running mode of the ship, the ventilation of the engine rooms, as a rule, constantly works at full load and is included in the integral capacity. The share of electricity consumed for ventilation of the machine room is 20-30% of the total electricity consumed while the ship is under way, which is very significant. This, for example, increases the cost of driving the cooling pumps of the main engine. Carried out a thermal calculation of the ventilation of the engine room with the initial data with an increase in the temperature of the outgoing air by 15 ° C and the release of heat into the engine room air by 1.2% of the engine power. The estimated amount of supply air in the engine rooms is determined based on the calculation for the assimilation of excess heat release based on the estimated value of the outside air temperature, which is selected, although taking into account the expected navigation area of the vessel, but with a large margin for the hottest season. Temperature-dependent air supply to the engine room can be seen as a way to reduce energy consumption for ventilation. If you adjust the air supply.

Ventilation of cargo areas

The ventilation system of holds for the carriage of vehicles with fuel in tanks on ro-ro boats and multipurpose vessels is calculated based on the most severe operating mode for this system - the parking mode with cargo operations at a given twenty-fold air exchange per hour, when intensive ventilation is required to remove exhaust gases loaders.

The total rated power of the fans of cargo spaces intended for the carriage of vehicles with fuel in tanks on rollers and multipurpose ships is determined by formula depending on the volume of these spaces.

where V is the volume of holds for vehicles, thousand m³.

In the modes of running, maneuvering and parking without carrying out cargo operations, air supply is required based on the requirements of the Rules: six times air exchange per hour for cargo ships and ten times for passenger ships. Thus, there is a significant reserve for energy saving if the system allows you to turn off some of the fans, provided that the fans remaining in operation will provide ventilation without local stagnant zones.

The capacities for ventilation of cargo holds are not included in the integral capacity and refer to additional power consumers of specialized ships, that is, when calculating the EEDI, they can be taken into account only when calculating the loads of the ship's power plant.

Ventilation of residential and office areas

It is more correct to estimate the energy consumption for ventilation in residential and office premises in conjunction with heating and air conditioning systems, since the energy consumption of the heating system and electric heaters for heating office premises and non-operating equipment depends on the frequency of ventilation in such premises.

Electric heating means for office spaces are installed on almost all types of ships, therefore, the power consumed by them is included in the integrated power of the ship and is taken into account in the EEDI calculations in those 5% of the main engine power, which is taken to be the power consumption in the sea mode.

Various ways to save heat, cold and electricity in ship ventilation systems are described diagrams of various recuperators that can be used on ships are given. The main characteristic of recuperators is the recuperation efficiency factor. It is the ratio between the maximum possible heat received and the heat actually received[6]. The coefficient depends on the type of recuperator and varies from 30 to 90%. Thus, according to the author's estimates, when using them, you can save up to 70% of the electricity consumed for heating and air conditioning. It is possible to formulate the main directions for ensuring energy efficiency of ventilation and air conditioning systems:

- equipping fan drives with multi-speed motors or frequency controllers;
- installation of recuperators at combined supply and exhaust units with heat recovery units for exhaust air for heating the supply air.

Refrigerated systems

Refrigeration systems are used to cool air in refrigerated cargo holds and provision chambers. The operation of such systems is provided by a special refrigeration unit. Depending on what substance is used to cool the premises, there are refrigeration systems with direct, brine and air cooling.

The maximum power consumed by the main refrigeration unit on refrigerated ships is determined depending on the volume of refrigerated holds.

At the same time, it is said that Ref is the power consumption of the installation in the mode of maximum use, which corresponds to the initial cooling of the cargo after loading, in the running mode and in the parking mode, the power consumption is reduced by 25%, during cargo operations, the power consumption is reduced by 50%.

For refrigeration units, a significant reduction in energy costs can be the optimization of the seawater cooling system by using frequency controllers for the drives of cooling pumps. Using frequency converters to control the speed of the compressor increases the efficiency of the chiller and reduces energy consumption. The reduction in energy consumption becomes

especially noticeable at shared loads - up to 30%. In addition to frequency control of compressors, significant savings are brought by the use of frequency control for refrigeration pumps of refrigeration units.

Power plant systems

The systems of the power plant, the operation of which requires an assessment for the possibility of improving energy efficiency, should include:

cooling systems (2 circuits); oil system; fuel system; heating fuel.

The main directions and ideas for the implementation of reserves for systems of this group can be formulated as follows (in order of efficiency):

1. rejection of pumps and the corresponding energy consumption for their drive;
2. use of pumps mounted on the engine;
3. adjustment of pump operation by frequency.

The complete rejection of pumps can be implemented in seawater cooling systems by using outboard coolers. The consumption of electricity during the operation of the vessel is significantly reduced, since the costs of operating the seawater cooling pumps are eliminated. The operation of the seawater cooling pumps accounts for approximately 20% of the total electricity generated while the vessel is under way, or approximately 0.4 - 1.0% of the main engine power (the lower value for engines of higher power), i.e. for a medium-tonnage vessel, the power of the seawater cooling pump drive is 15–20 kW. Considering that approximately 3 liters of fuel per hour is required to drive a 15 kW pump, it can be calculated that the annual fuel economy for a vessel with a running time factor of 0.5 will be 13-15 tons. energy consumption due to the use of outboard coolers and hinged pumps, that is, savings when abandoning the use of electrically driven pumps. But outside the scope of this article were systems with hinged pumps and pumps with an electric drive.

Although the use of pumps mounted on the main engine leads to a decrease in power consumption while the ship is underway, this cannot be considered an economy, since the pump is in any case performed, but only produced by the main engine. Energy saving in this case comes down to taking into account the difference in the specific fuel consumption of the main engine and diesel generators and taking into account the losses for two energy conversions: a generator and an electric motor. Thus, when using hinged pumps, we can talk about saving up to 20% of the energy spent on driving such pumps.

Thus, just due to the use of mounted pumps, it is possible to reduce fuel consumption and, accordingly, CO₂ emissions by no more than 0.3%.

For seawater cooling systems, the most attractive, but still rarely used on ships, method of energy saving is the use of frequency converters, which provide significant energy savings in fractional modes.

When designing cooling systems, seawater pumps are selected based on the external conditions given in the IACS Unified Requirements, that is, the system must ensure operation with one hundred percent load at a temperature of 32 ° C for seawater. In real operation, the vessel operates under such conditions quite rarely, and the water consumption for cooling is often excessive.

This is especially true for mid-latitudes, in which ships are operated. In addition, the designer, when selecting a pump, usually selects a pump with a certain supply margin.

The excess cooling water is usually controlled by throttling by increasing the hydraulic losses in the piping or by partially recirculating and bypassing the cooling water. Both methods are associated with constant irretrievable energy losses for pumping water during recirculation or go to turbulization of the flow during throttling. But in addition to regulating the flow by changing the resistance of the pipeline, it is possible to ensure its operation at the required point by changing the characteristics of the pump. When using speed converters, the pump flow changes in proportion to the speed, the pump head changes in proportion to the square of the rotational speed of the centrifugal pump, and the power is proportional to the third power.

Since the power consumed by the pump is equal to the product of the head and the flow divided by the pump efficiency, the rectangles drawn in the figure will be proportional to the required power, since the efficiency of a centrifugal pump changes insignificantly when the speed changes. It can be seen from the figure that the energy consumption for the pump drive in the fractional modes is reduced by 3 - 4 times. At the same time, due to a decrease in speed in the system reduces corrosive wear of pipes and seawater fittings.

However, with a decrease in the flow rate, the efficiency of the pump decreases, albeit insignificantly. The efficiency of asynchronous electric motors and coscp changes much more significantly on the share loads. Despite the fact the loss of efficiency of electric motors is up to 40%, the reduction in energy consumption by the pump when the feed is halved will also be at least twice[6].

Fuel heating

The EEDI calculation methodology [3] does not take into account the energy consumption for heating heavy fuels. Operation on high-viscosity diesel fuel differs from operation on light fuel in that high-viscosity fuel cannot be successfully pumped by a high-pressure plunger pump and very small injector nozzle openings. To ensure operation on high-viscosity fuel, its viscosity must be reduced to 8-10 cSt, which is achieved only by heating it to an appropriate high temperature (often more than 100 ° C). To assess energy costs, it should be borne in mind that fuel heating consists of several stages, each of which pursues certain functional goals. The fuel in the main stock tanks must have a temperature that prevents the formation of wax crystals in it, that is, at least 5 - 8 ° C above the cloud point. In addition, it is necessary to ensure the viscosity at which the operation of the fuel priming pump is possible, not exceeding usually 800 - 900 cSt and this is provided for various types of fuel in the temperature range 30 - 45 ° C.

Further, the fuel enters the slop tank, where for better water separation the temperature is maintained at 50 - 70 ° C and the limitation here is the flash point of the fuel, since the maximum permissible heating temperature in the tank should be 10 ° C lower than the flash point. The temperature in the service fuel tanks is usually 10 - 20 ° C less than the required final temperature in front of the nozzles. The temperature in front of the nozzles should ensure high-quality spraying required for which it is necessary to heat the fuel oil to 100 - 120 ° C.

Estimated the total amount of heat required to heat 1 ton of highly viscous fuel oil (assuming heating at 100 ° C and the average heat capacity of fuel oil). When comparing the obtained amount of heat required for heating with the heat of combustion of fuel oil, a ratio of 0.005 was obtained, that is, to use high-viscosity fuels, it is necessary to spend at least 0.5% of the fuel for heating it. It can be stated that the use of fuel oil on a ship requires special costs that are not currently taken into account in the EEDI calculations[6].

For heating fuel on ships, steam and electric heat exchangers, steam coils (for heating fuel in tanks), steam and electric satellites (for heating fuel in pipelines) are used. Based on this, the fuel costs for heating with steam and the fuel costs for heating by electric current obtained in the ship's power plant will differ significantly, so the losses during these processes will be very different. When heating with steam, the heat required for heating should be divided by the boiler efficiency and take into account the losses in the pipelines, which in total will be about 20%. When heated by electric current, the heat required to heat fuel oil significantly increases, since it should be divided by the efficiency of a diesel generator, which for this assessment can be taken equal to 0.4.

Thus, it is possible to propose a correction of the method for calculating EEDI MEPC 245 (66) [2] and introduce a special coefficient that takes into account the way of heating heavy fuel. According to a preliminary estimate, it can be taken equal to 1.00 when heating fuel oil with steam from a utilization boiler, 1.006 when heating fuel oil with steam from an auxiliary boiler, and 1.0125 when heating with an electric current. If different methods are used at different stages of heating, then these coefficients can be recalculated in proportion to the energy consumed at each stage. The possibility of energy saving due to the use of utilization boilers on a

ship is present only in the option of generating electricity in utilization turbine generators, which is not currently used on ships. The application of the proposed coefficients will stimulate the use of utilization boilers on ships and the use of not electrical, but thermal energy for fuel heating.

Anchorage and staying in ports also require the development of a special efficiency criterion, not related to the distance traveled, but taking into account only the deadweight of the vessel.

Conclusions and offers. 1. As a result of the analysis of the energy consumption of ship systems, the main ways of saving by optimizing the operation of ship systems have been determined:

use of outboard coolers and frequency control of seawater cooling pumps;
equipping the drives of fans of machinery spaces and cargo holds with frequency controllers;

installation of recuperators with the utilization of the heat of the exhaust air for heating the supply air in the ventilation and air conditioning systems of residential and office premises;

use of utilization boilers for heating heavy fuel and domestic needs.

2. On the basis of the performed analysis, proposals were formulated for correcting MEPC 245 (66) [2] to take into account in the methodology for calculating EEDI measures to save energy costs for the operation of ship systems. Amendments could be proposed as part of the work of the current IMO working group on changing energy efficiency requirements.

3. The current EEDI calculation method only takes into account CO₂ emissions while the vessel is underway. The disadvantage of the IMO assessment of the energy efficiency of a vessel is that the EEDI cannot be applied to vessels that do not perform transport work: fishing vessels, icebreakers, tugs, etc. Evaluation of energy efficiency on such vessels requires the development of a new efficiency criterion not related to the amount of cargo transported, but taking into account only the distance traveled and the size of the vessel.

4. On transport vessels to which EEDI is applicable, energy costs associated with the production of cargo operations are not taken into account: for handling cargo in ports, heating liquid cargo before unloading on tankers, energy consumption for the production of inert gas, ballast operations, freezing cargo on refrigerated vessels etc.

5. The development of the mentioned additional criteria for the energy efficiency of ships [5], can be devoted to further research in the field of assessing the energy efficiency of ship systems.

REFERENCES

1. Second IMO GHG Study 2011, International Maritime Organization (IMO), London, UK, April 2011.
2. MEPC 245(66). 2014 Guidelines on the method of calculation of the attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships.
3. MEPC.282 (70) 2016 Guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP).
4. MEPC 65/INF.17 IMO Model Course on Energy-Efficient Operation of Ships. – London: World Maritime University, 2013. – 61 p
5. Zhmur V. Снижение расхода топлива и интенсивности развития «парникового» эффекта – стратегическая задача современного судоходства. Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2017. – № 2 (17). – С. 122-130.
6. Zhmur V.N. About the management plan for the vessel energy efficiency. “Colloquim-journal”. Poland. Warshava. №5(16)/2018. P.12-18.

7. Zhmur V., Leonov V. Ways to increase economic,energy efficiency and environmental safety of sea freight.American Scientific Journal № (19) / 2018. Address: 90 st. – Elmhurst AV, Queens,NY, United States. P.15-22.
8. Zhmur V. Energy efficient ship’s operations: key for effective energy manngement. Novitny tekhnologiyi. Vypusk 2(6), Kyiv 2018.P.31-38.
9. MARPOL Consolidated edition 2011: Articles, Protocols, Annexes and Unified Interpretations of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 as modified by the 1978 and 1997 Protocols. – London: CPI Group 2011. – 447 p. – ISBN 978-92-801-1532-1.
10. Guidelines for voluntary use of the ship energy efficiency Operational indicator (EEOI). – London: IMO, 2011. – 75 p.

РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН НА НЕЗНАЧНИХ ДИСТАНЦІЯХ ЗА НАЯВНОСТІ ТОЧКОВОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

Калініченко Т. В.

*Державний університет інфраструктури та технологій
(Україна)*

Вступ. Успішне вирішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння веде до покращення охорони людського життя на морі, а також до зниження шкоди навколишньому середовищу, майну та виробничим процесам.

Плавання морських суден у стиснених районах ускладнене інтенсивним судноплаством, великою наявністю небезпек плавання та навігаційними перешкодами, які створюють передумови виникнення аварійних ситуацій. Тому у стиснених водах відбувається понад 80% усіх навігаційних аварій, що підтверджує велику складність умов плавання у стиснених водах.

У статті розглянуто випадок урахування точкової навігаційної небезпеки за надмірного зближення судна з небезпечною ціллю. Для ситуації екстреного розходження судна із небезпечною ціллю запропоновано вибір безпечного курсу ухилення з урахуванням лінійно розподіленої навігаційної небезпеки.

Метою статті є процедура аналітичного врахування навігаційних небезпек під час розходження судна та цілі на малих відстанях.

Актуальність досліджень. Багато робіт вітчизняних та зарубіжних вчених присвячені проблемі забезпечення безпечного розходження суден. Так, основні засади керування процесом розходження суден у ситуації небезпечного зближення розглянуті у роботі [1], а робота [2] присвячена дослідженню методів локально-незалежного керування та у ній запропоновано метод формування гнучких стратегій розходження, які враховують основні чинники.

У роботі [3] розглянуто формалізацію взаємодії суден в разі їхнього небезпечного зближення й у залежності від його типу вибір стратегії розходження для попередження зіткнення. Екстрену стратегію розходження за надмірного зближення суден запропоновано у роботі [4], а спосіб вибору оптимального стандартного маневру розходження пари суден запропоновано у роботі [5]. Врахування навігаційних небезпек та інерційності судна під час розрахунку параметрів маневру розходження розглянуто в роботах [6, 7].

У роботах [8, 9] наголошується, що задача вибору оптимального маневру розходження відрізняється високим рівнем складності, з урахуванням того, що процес керування рухом судна є багатовимірним та нестаціонарним, а задачі розходження суден притаманний ігровий характер. Опис процесу розходження суден методами диференціальної різницевої гри запропоновано у роботі [10].

У роботі [11] викладено теоретичне обґрунтування автономної судової системи ухилення від зіткнення, в ній розглянуто алгоритм ухилення від зіткнення. Наведено вимоги до автономної навігації з урахуванням чинників, що впливають на процес ухилення від зіткнення.

Показано, що дослідження автоматизації керування судном можуть проводитися в класичному або комп'ютерному варіанті. Класичний варіант, заснований на математичних моделях, а в разі комп'ютерного варіанту використаний штучний інтелект, тобто еволюційні алгоритми, логіка фуззі, експертні методи, нейромережі та комбінації цих методів.

Для оцінки ефективності методів розходження суден необхідно розглянути

можливість зміни небезпечної ситуації наближення ухиленням судна, що маневрує.

Постановка задачі. Звертаючись до роботи [4], зауважимо, що постановка задачі екстреного розходження проводилася за допущення відсутності навігаційних небезпек у районі передбачуваного маневрування суден. Результатом роботи стала отримана мінімаксна стратегія поведінки судна, яка полягає в його повороті до напрямку зворотного пеленгу на ціль за найкоротшою кутовою відстанню з максимальною кутовою швидкістю. Після досягнення курсу величиною рівного зворотному пеленгу на ціль, тобто $K(t) = \alpha(t)$ судно надалі зберігає наведену рівність.

Однак за наявності навігаційних небезпек може виявитися, що обраний мінімаксний курс судна веде до посадки на мілину. У статті розглянемо питання вибору курсу судна у випадку екстреного розходження з урахуванням наявних навігаційних небезпек. Основними типами навігаційних небезпек є точкова та лінійна розподілена. Тому спочатку розглянемо ситуацію, коли в районі маневрування знаходиться точкова небезпека (рис. 1).

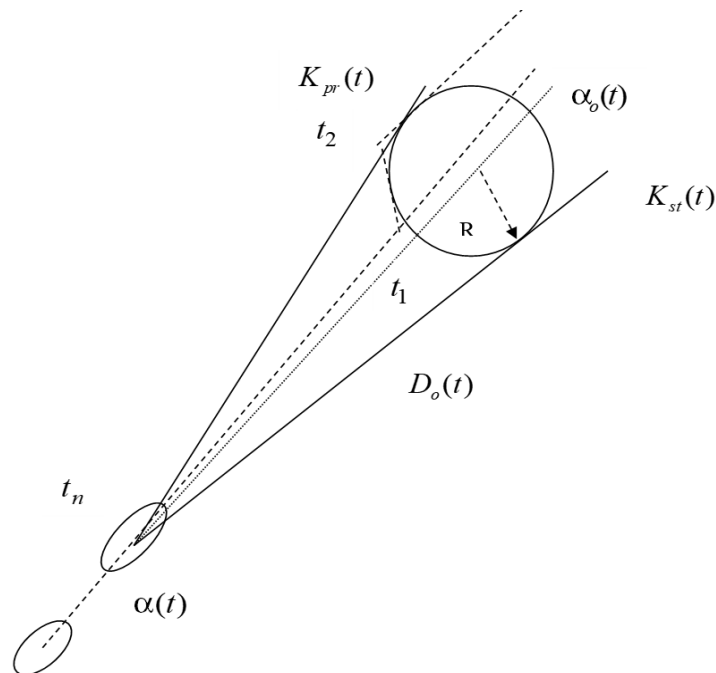


Рисунок 1 – Випадок урахування точкової навігаційної небезпеки

На рис. 1 наведено такі позначення:

$\alpha(t)$ – поточне значення пеленгу з цілі на судно;

R – гранично допустима дистанція зближення судна з точковою навігаційною небезпекою;

$\alpha_o(t)$ і $D_o(t)$ – відповідно поточні пеленг та дистанція між судном та навігаційною небезпекою;

$K_{st}(t)$ і $K_{pr}(t)$ – відповідно поточні значення правого та лівого граничних курсів ухилення судна відносно небезпеки.

Як випливає з рис. 1, значення правого та лівого граничних курсів ухилення судна $K_{st}(t)$ і $K_{pr}(t)$ визначаються такими виразами:

$$\begin{aligned}
 K_{st}(t) &= \alpha_o(t) + \arcsin \frac{R}{D_o(t)}, \\
 K_{pr}(t) &= \alpha_o(t) - \arcsin \frac{R}{D_o(t)}.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Оскільки з часом величина $D_o(t)$ зменшується, то граничний курс $K_{pr}(t)$ зменшується, а $K_{st}(t)$ – збільшується, причому обидва курси все більше відхиляються від оптимального $K_{op}(t) = \alpha(t)$. Вказана обставина визначає вибір курсу ухилення K_y від точкової небезпеки, враховуючи, що K_y буде тим ефективніше, чим менше буде відхилення його від $\alpha(t)$.

Результати досліджень. Таким чином, можливі два наступні варіанти. По-перше, у початковий момент часу t_n , коли граничні курси $K_{pr}(t)$ і $K_{st}(t)$ найменше відрізняються від $\alpha(t)$, як курс ухилення K_y слід вибрати граничний курс ($K_{pr}(t)$ або $K_{st}(t)$), який за значенням ближче до величини $\alpha(t)$, що аналітично виражається так:

$$\begin{aligned}
 K_y &= K_{pr}(t_n), \quad \text{при} \quad \left| K_{pr}(t_n) - \alpha(t_n) \right| < \left| K_{st}(t_n) - \alpha(t_n) \right|, \\
 K_y &= K_{st}(t_n), \quad \text{при} \quad \left| K_{pr}(t_n) - \alpha(t_n) \right| \geq \left| K_{st}(t_n) - \alpha(t_n) \right|.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Другий варіант полягає в тому, що судно слідує оптимальним курсом. $K_{op}(t) = \alpha(t)$ до моменту t_1 безпосередньої близькості до точкової навігаційної небезпеки, потім значно (на $60-70^\circ$) змінює курс, запобігаючи потраплянню на небезпеку. Таким курсом судно рухається до моменту часу t_2 , після якого повертається на оптимальний курс $K_{op}(t) = \alpha(t)$. Перевага вибору одного з двох варіантів визначається початковою позицією суден одне відносно одного та небезпеки, параметрами руху суден, а для отримання аналітичних залежностей потрібні додаткові дослідження.

У разі коли в районі екстреного розходження знаходиться навігаційна лінійна розподілена небезпека (рис. 2), вибір курсу розходження проводиться з наступних міркувань.

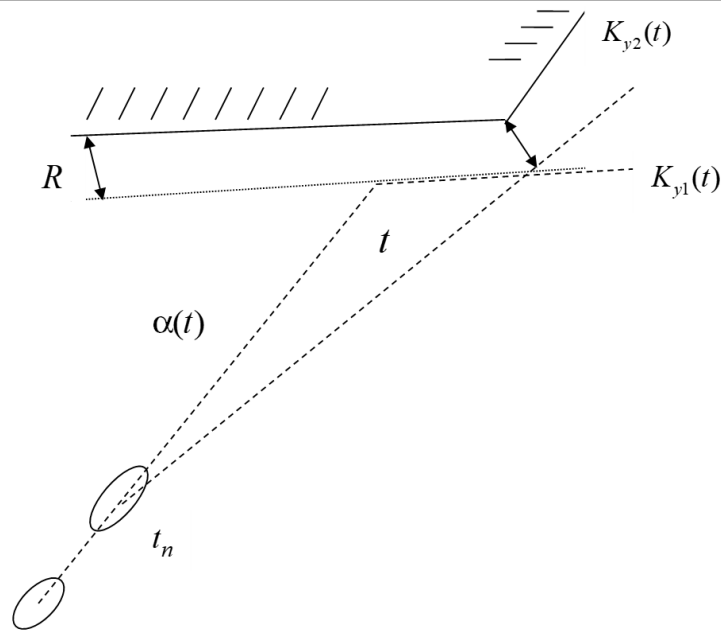


Рисунок 2 – Вибір курсу розходження за наявності лінійної розподіленої небезпеки

Як і у разі точкової небезпеки, існує дві альтернативні стратегії розходження. Згідно з першою судно слідує оптимальним курсом $K_{op}(t) = \alpha(t)$ до моменту часу t , після чого слідує курсом $K_{y1}(t)$ до кінця лінійної ділянки небезпеки. У разі другої стратегії судно у початковий момент часу t_n , лягає на граничний курс $K_{y2}(t)$ і рухається до закінчення розходження.

Для вибору кращої стратегії необхідно розробити відповідну аналітичну процедуру.

Висновки:

1. Розглянуто випадок урахування точкової навігаційної небезпеки за надмірного зближення судна з небезпечною ціллю.
2. Вибір безпечного курсу ухилення з урахуванням лінійно розподіленої навігаційної небезпеки запропоновано для ситуації екстреного розходження судна з небезпечною ціллю.
3. Отримано необхідні аналітичні умови.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурмака И. А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И. А. Бурмака., Э. Н. Пятаков., А. Ю. Булгаков – LAP LAMBERT Academic Publishing, – Саарбрюккен (Германия), – 2016. – 585 с.
2. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н. Н. Цымбал, И. А. Бурмака, Е. Е. Тюпиков. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
3. Пятаков Э. Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э. Н., Бужбецкий Р. Ю., Бурмака И. А., Булгаков А. Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. – 312 с.
4. Бурмака И. А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И. А., Бурмака А. И., Бужбецкий Р. Ю. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 с.
5. Сафин И. В. Выбор оптимального маневра расхождения / И. В. Сафин // Автоматизация судовых технических средств. – №7. – 2002. – С. 115–120.
6. Бурмака И. А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / Бурмака И. А. // Судовождение. – 2005. – №10. – С. 21–25.
7. Петриченко Е. А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е. А. // Судовождение. – 2003. – №6. – С. 103–107.

8. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // *Advances in Safety and Reliability*. – 2005. – Vol. 2. – London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285–1292.

9. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system / Lisowski J. // *The Archives of Transport*. – 2005. – No 3–4, Vol. XVII. – P. 133–147.

10. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety*. – 2005. – Gdańsk. – P. 71–78.

11. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // *J. Navig.* 2008. 61, № 1, p. 129–42.

DATA PROCESSING ALGORITHM WITHIN CARGO TEMPERATURE CONTROL ON CONTAINERSHIPS

Konon V.V., Savchuk V.D.
National university "Odesa maritime academy"
 (Ukraine)

Introduction. The analysis of the statistical data in relation to the occurrences of emergency situations on container fleet emphasized, inter alia, the necessity for the improvements in regard to fire safety concerns [1]. In addition, constant increase of containerships' size is related to the 'scale effect' in the world trade of containerized cargoes. Between 2011 and 2019, the volume of the container fleet increased by about 15%. In this context, the share of vessels larger than 10,000 TEU had increased by approximately 500%. However, despite the tonnage increase, the maximum length of containerships still remains at about 400 m and is explained by structural and mooring restrictions, while the width increases from 50 m to 60 m.

Relevance of the research. Considering the mentioned tendency, additional issues arise in the constructive aspects of fire safety provisions: despite a significant increase of ships' size, spaces between the stacks and vessel's configuration has generally remained unchanged. It means that any ignition occurred inside the stack is very difficult to detect at an early stage, control and/or extinguish. Special attention, in this context, shall be paid to the issue of dangerous goods' transportation. Although, such cargoes should be stowed in accordance with the relevant regulations, in practice, there are cases of undeclared or incorrectly declared dangerous goods [2]. Thus, Master and crew may not be fully aware in this regard and cannot take appropriate preventive and/or other measures in accordance to the relevant instructions and procedures.

Problem statement. The current research is dedicated to an algorithm, which may assist in solving the issues for additional cargo condition control and fire safety onboard containerships.

Results. In order to realize the concept of the data processing algorithm, respective input shall be organized by allocation of temperature sensors. However, sensor types, as well as allocation patterns deployment are subjects for the separate researches.

In this way, the data processing algorithm may be presented as follows in the Figure 1.

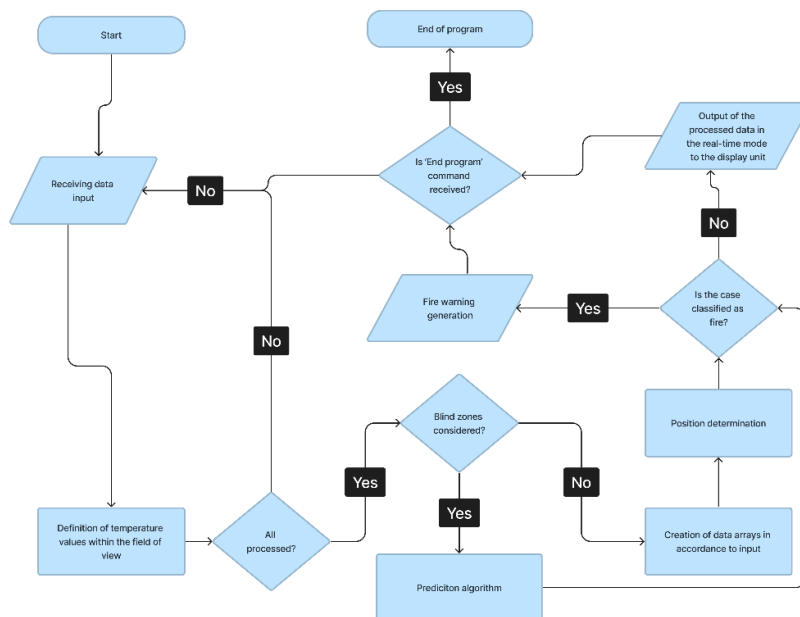


Figure 1 – General diagram for temperature control algorithm

Particular attention may be provided to the fire prediction sub-algorithm. It may be implemented by digital neural networks' (DNN) application in this context. A multi-layer perceptron may be proposed to perform the set tasks, herewith its training may be carried out by means of error back-propagation algorithm [3, 4]. Such an algorithm in its turn is based on the error-correction learning rule. This method of training supposes forward and backward passes through all the DNN's layers (Figure 2).

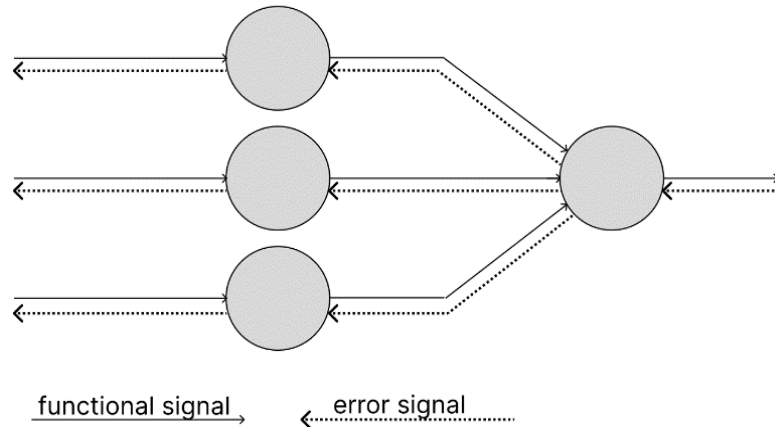


Figure 2 – Forward and backward passes through the DNN

During the forward pass an input data vector is sent to the sensor nodes with further spreading among the network. This results into a set of output signals. Obtained signals may be interpreted as a network reaction onto the initial input. In this way, an error signal is generated by the deduction of actual output from the desired one. Setting of all the synaptic weights in accordance with the error-correction rule is performed during the backward pass. That means, that it spreads in the direction, which is opposite to one of the synaptic connections. A schematic diagram of the network proposed within the current research is presented in the Figure 3.

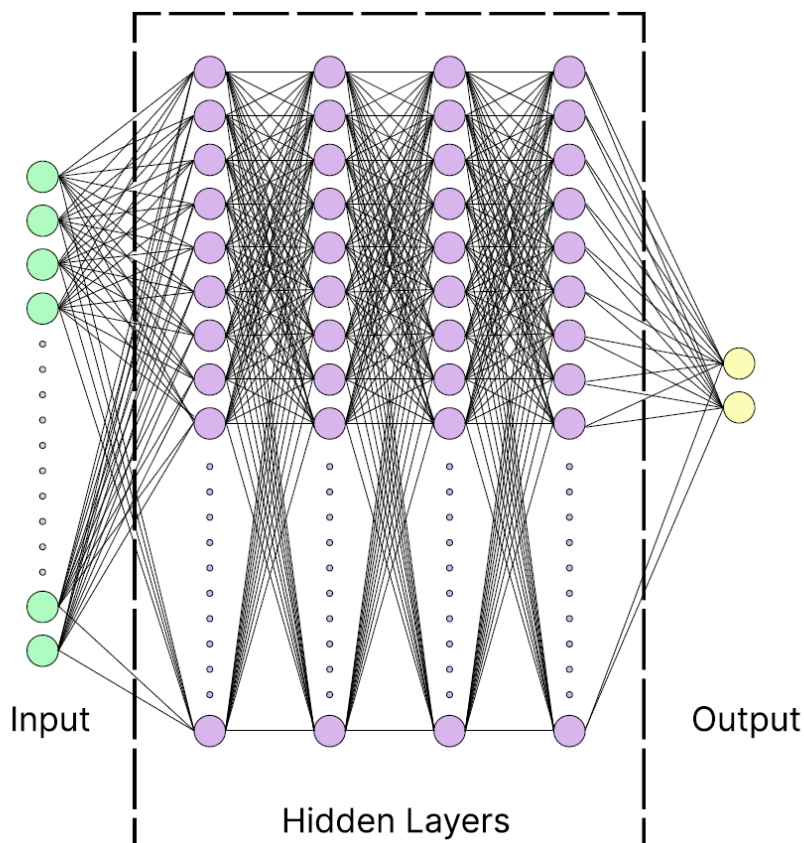


Figure 3 – Multi-layer perceptron model

Conclusions. Nowadays, the issues of fire safety on board containerships become more relevant, particularly due to the increased sizes of the vessels. Special attention in this regard shall be paid to the transportation of dangerous goods, as in practice, there are cases of undeclared or incorrectly cargoes of this type, which bring additional risks to the subject matter.

In this way, the algorithm for data processing in the context of cargo temperature control has been proposed in this study. Particularly, the fire prediction sub-algorithm has been described, involving implementation of a multilayer-perceptron model, based on the error-correction learning rule.

REFERENCES

1. European Maritime Safety Agency, “European Maritime Safety Report 2022,” *European Maritime Safety Agency*, EMSA TN-AA-22-00, 2022. [Online]. Available: <https://emsa.europa.eu/publications/item/4735-emsafe-report.html> [Accessed: May 05, 2023].
2. J. Ellis, “Undeclared dangerous goods – Risk implications for maritime transport,” *WMU Journal of Maritime Affairs*, 9(1), pp. 5–27, 2010, doi: 10.1007/bf03195163.
3. S. Haykin, *Neural networks and learning machines*, 3rd ed. New Jersey: Pearson Education, Inc., 2009.
4. P. Xiao, *Practical Java Programming*. Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc., 2019.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МАНЕВРУ УХИЛЕННЯ ПІД ЧАС ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОГО РОЗХОДЖЕННЯ МОРСЬКИХ СУДЕН

Сагін С.С., Ворохобін І.І.

Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)

Вступ. Плавання морських суден в обмежених районах значно ускладнюється навігаційними перешкодами та інтенсивним судноплавством, що створює передумови для виникнення аварійних ситуацій. Обмежені води є складними районами плавання, в яких відбувається переважна більшість всіх навігаційних аварій, що свідчить про велику складність умов плавання в обмежених водах [1, 2].

Через швидкоплинні зміни навігаційної ситуації під час плавання в обмежених водах, виникає необхідність розробки оперативних методів оцінки небезпеки зближення та вибору безпечного маневру ухилення. До таких методів належать застосування областей неприпустимих значень параметрів руху суден, які можуть бути реалізовані в комп'ютерних навігаційних системах. Попередження зіткнення суден, що небезпечно зближуються в обмежених водах, суттєво залежить від оперативності способу вибору безпечного маневру ухилення, яким найчастіше є маневр зміни курсу [3, 4].

Актуальність дослідження. Під час виникнення критичного зближення суден можливі випадки, коли одне з суден позбавлено оперативного реагування на ситуацію, що відбувається, та продовжує рух своїм курсом. Це підвищує загрозу зіткнення суден та сприяє виникненню аварійної ситуації, наслідками якої можуть бути не лише пошкодження, але також втрата живучості та подальша загибель судна. Тому розробка процедури оцінки можливості застосування маневру ухилення зміною курсу та виконання цього маневру є актуальним науково-прикладним завданням.

Постановка задачі. Задачею дослідження є визначення аналітичного виразу для розрахунку часу досягнення судном межі області неприпустимих позицій під час використання стандартного маневру ухилення судна зміною курсу при локально-незалежному управлінні процесом ухилення.

Результати досліджень. Стандартний маневр розбіжності зміною курсу містить дві ділянки (рис. 1): ділянку ухилення з програмної траєкторії руху, який характеризується курсом ухилення K_y та часом початку ухилення t_y , а також ділянку виходу на задану (програмну) траєкторію руху з параметрами K_b – курсом виходу та t_b – час повороту на курс виходу. Заключною характеристикою маневру ухилення є час t_k та курс K_k повороту судна з ділянки виходу на програмну траєкторію та кінцевий програмний курс [5, 6].

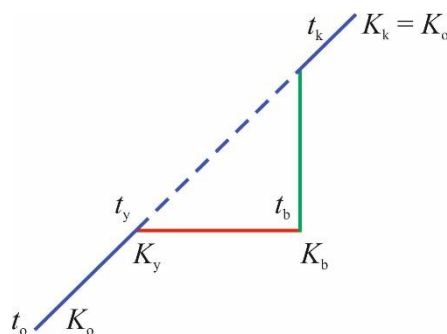


Рисунок 1 – Стандартний маневр ухилення

Розглянемо умову, що визначає можливість застосування стандартного маневру ухилення зміною курсу судна. Для виконання цієї умови судно та перешкода повинні небезпечно зближатися. При цьому підмножина стандартних маневрів розходження існує,

якщо є хоча б один курс ухилення, який забезпечує розбіжність судна та перешкоди на дистанції найкоротшого зближення D_{\min} рівною або більшою граничнодопустимої дистанції зближення D_d .

Небезпека зіткнення виникає за умовою прогнозованого попадання судна в безпечну область (домен) перешкоди, – вона вказує на майбутню неприпустиму ситуацію завчасно, виходячи з прогнозу зміни відносної позиції судна та перешкоди. Небезпека зіткнення носить умовний характер, тому що на її істинність впливають можливі дії суден до досягнення неприпустимої ситуації. Очевидно, небезпека зіткнення виникає в разі, коли прогнозоване значення дистанції найкоротшого зближення D_{\min} менше значення граничнодопустимої дистанції зближення D_d .

Якщо під час наявності небезпеки зіткнення дистанція між суднами перевершує значення D_d та судно може своїм маневром забезпечити максимальне значення дистанції найкоротшого зближення $\max D_{\min}$, для якого $\max D_{\min} \geq D_d$, то воно може застосувати стандартний маневрів ухилення. З перебігом часу за умовою незмінних параметрів руху суден дистанція між ними скорочується та настає час t_d , коли досягається рівність $\max D_{\min} = D_d$.

При подальшому зближенні суден з програмними параметрами руху $\max D_{\min} < D_d$ судно потрапляє в підмножину неприпустимих позицій, причому ніяким маневром зміни курсу воно не зможе розійтися з перешкодою в дистанції D_d . Тому час t_d потрапляння судна до підмножини неприпустимих позицій визначає можливість використання стандартного маневру ухилення. Причому якщо $t_d > 0$, то застосування стандартного маневру ухилення можливо, в іншому випадку ($t_d \leq 0$) ухилення шляхом використання стандартного маневру неможливо.

Визначимо аналітичний вираз для розрахунку часу, коли судно ухиляється від зіткнення зміною курсу, з огляду на співвідношення швидкостей судна та перешкоди. Початкове розглянемо випадок, коли швидкість судна V_1 більше швидкості перешкоди V_2 , тобто $\rho = \frac{V_1}{V_2} \geq 1$ (рис. 2). У цьому випадку судно може лягти на будь-який відносний курс та час t_d визначається, коли судно досягає межі області неприпустимих позицій перешкоди, при цьому справедливо рівність $D(t_d) = D_d$.

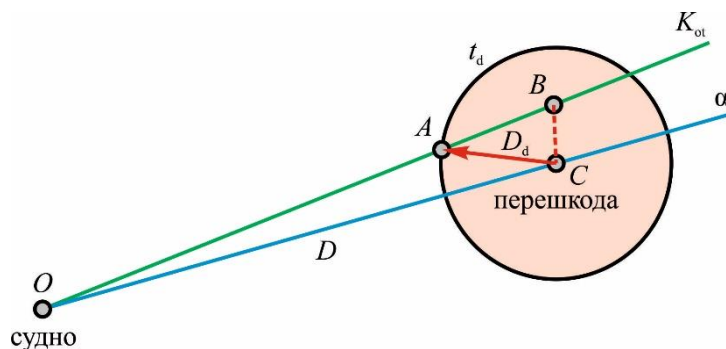


Рисунок 2 – До визначення часу потрапляння судна до підмножини неприпустимих позицій

Залежність поточної дистанції $D(t)$ від часу t за умовою незмінних параметрів відносного руху K_{ot} та V_{ot} визначається за виразом

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

де α і D – початкові значення пеленга та відстані.

Тому можна записати наступне рівняння:

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

з якого випливає вираз:

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

Останнє рівняння можливо записати як

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

або

$$t_d^2 - 2kt_d + q = 0 \tag{1}$$

де

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

Вирішуючи рівняння (1) відносно змінної t_d отримаємо:

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

Після підстановки значень k та q , знайдемо корні t_{d1} та t_{d2} :

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

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

та

$$t_{d2} = \frac{1}{V_{ot}} \left(D \cos(K_{ot} - \alpha) + \sqrt{D_d^2 - D^2 \sin^2(K_{ot} - \alpha)} \right)$$

Додатково визначимо, що часу t_d досягнення судном межі області неприпустимих позицій відповідає корінь t_{d2} рівняння (1), – т. А на рис. 2. Тому:

$$t_d = \frac{1}{V_{ot}} \left(D \cos(K_{ot} - \alpha) - \sqrt{D_d^2 - D^2 \sin^2(K_{ot} - \alpha)} \right) \tag{2}$$

Коректність отриманого аналітичного виразу для розрахунку підтверджується аналізом рис. 2, з якого випливає, що

$$t_d = \frac{OA}{V_{ot}}$$

В свою чергу

$$OA = OB - AB,$$

причому

$$OB = D \cos(K_{ot} - \alpha) OA,$$
$$AB = \sqrt{D_d^2 - D^2 \sin^2(K_{ot} - \alpha)}.$$

Отже, формула (2) коректна.

Висновки. За результатами досліджень визначимо наступне.

1. Через швидкоплинні зміни навігаційної ситуації під час плавання в обмежених водах, виникає необхідність розробки оперативних методів оцінки небезпеки зближення та вибору безпечного маневру ухилення.

2. Запропонована методика аналітичного розрахунку параметрів маневру ухилення під час забезпечення безпечного розходження морських суден дозволяє визначити час потрапляння судна до підмножини неприпустимих позицій зіткнення суден в якій неминуче. Визначення цього часу дозволяє попередити аварійні ситуації, що пов'язані з небезпечним зближенням суден та підвищити рівень безпеки плавання в обмежених водах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Burmaka I., Vorokhobin I., Melnyk O., Burmaka O., Sagin S. Method of Prompt Evasive Manuever Selection to Alter Ship's Course or Speed // Transactions on Maritime Science. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.

2. Бурмака И. А., Ворохобин И. И., Федоров Д. Б. Учет динамики судов при автоматическом выборе маневра расхождения уклонением одного судна и пассивным торможением другого // Судноводіння : науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 31. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 80-88. DOI: 10.31653/2306-5761.31.2021.80-88

3. Бурмака А.И., Калюжний В.В. Имитационное моделирование процесса расхождения судов экстренным уклонением при чрезмерном сближении // Судноводіння : науково-технічний збірник. – 2019. – Вип. 29. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 37-46. DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.37-46

4. Бурмака И.А., Янцевский А.В. Оценка вероятности степени опасности сближения судов // Судноводіння : науково-технічний збірник. – 2020. – Вип. 30. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 27-33. DOI: 10.31653/2306-5761.30.2020.27-33

5. Ворохобин И.И. Зависимость вероятности безопасного прохождения судном стесненного района от закона распределения погрешности смещения // Судноводіння : науково-технічний збірник. – 2020. – Вип. 30. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 58-66.

6. Ворохобин І.І., Бурмака І.О., Кулаков М.О., Петриченко О.О. Спосіб департаментизації електронної карти при зовнішньому управлінні розходження суден в зоні відповідальності СУРС // Судноводіння : науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 32. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 26-33. DOI: 10.31653/2306-5761.32.2021.26-33.

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОПУЛЬСИВНИХ КОМПЛЕКСІВ МОРСЬКИХ БОЙОВИХ ДРОНІВ

Самохвалов В.С.¹, Воїнов О.П.¹, Кобалава Г.О.¹, Воїнова С.О.²

¹Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна)

²Одеський національний технологічний університет (Україна)

Вступ. Військові дії, започатковані Росією проти України, вкрай і всебічно ускладнили міжнародну обстановку.

Успішні атаки кораблів російського флоту у Севастопольській бухті морськими бойовими дронами, використаними українськими військовими моряками, довели перспективність озброєння цього виду.

Актуальність досліджень. Якщо врахувати ту обставину, що вартість ураженої цілі (корабля) обчислюється сотнями мільйонів доларів, а вартість снаряда (бойового морського дрону) не перевищує 270 тис. доларів, то є доцільним та актуальним удосконалення озброєння цього виду.

Постановка задачі. Метою дослідження є виявлення та обґрунтування використання перспективних компоновальних рішень для схем пропульсивних комплексів морських бойових дронів з метою забезпечення їх акустичної «мімікрії».

Як відомо, лідируюче положення у розробці морських бойових дронів займають США та Туреччина. У Франції нещодавно проектом Naval Group запропоновано океанічні підводні дрони.

Історія морських бойових надводних дронів починалася в середні віки з брандерів, далі вони безперервно вдосконалювалися. Нині ці безкіпажні плавучі засоби становлять серйозну загрозу флоту противника.

Сучасний морський бойовий дрон - це радіокерована торпеда, що складається з вибухової речовини, пропульсивного комплексу та навігаційних засобів управління.

Основними елементами пропульсивного комплексу морського бойового дрона найчастіше є двигун внутрішнього згоряння і рушій (гвинт або водомет). І двигун, і рушій при роботі створюють шумовий ефект, що дозволяє по акустичному полю, що створюється, своєчасно виявити і знищити морський бойовий дрон.

Активні та пасивні методи придушення акустичних полів, створених дронами, до суттєвого шумозахисту не призводять. Тому інтерес представляє розгляд перспективних компоновальних рішень для схем пропульсивних комплексів дронів, у яких звукове поле не відрізнялося б від звукового поля морських мешканців, тобто йдеться про акустичну «мімікрію».

Є підстави вважати, що виходячи з того, що дрон рухається поступально, ставиться під сумнів необхідність обертальних рухів в елементах двигуна та рушія. До того ж, на прикладі гідробіонтів переміщення морських мешканців досягається без використання обертальних рухів.

При цьому відмова від обертальних рухів в елементах пропульсивного комплексу дронів забезпечить їм акустичну малопомітність.

Можливі уявлення про механізм переміщення морських мешканців є одним з пояснень «Парадокса Грея», який полягає в тому, що механічна потужність, що розвивається біологічним двигуном морських мешканців, майже на порядок менша гідравлічного опору, який їм чинить довкілля. Тому, незважаючи на те, що вода в 1000 разів щільніша за повітря, окремі представники риб і птахів здатні розвивати приблизно однакову швидкість близько 100 км/год.

У деклараційному патенті на «Гідрореактивний судновий двигун» ми пропонуємо розмістити елемент рушія «рибий хвіст» у секторальному каналі, де за рахунок відбитих потоків підвищується його ефективність [1-5].

Результати досліджень. Є підстави вважати, що акустичну малопомітність матиме

морський дрон, в якому пропульсивний комплекс складається з лінійного електродвигуна, який через кулісний механізм з'єднується з рушієм, що має форму «рибий хвіст» (вільно осцилюючі пластини в секторальних каналах), а як джерело живлення електродвигуна використано акумулятор.

Перспективним, з позиції акустичної малопомітності, буде пропульсивний комплекс із двигуном Стірлінга, в якому використовується тепловий акумулятор, а рушій має форму «рибий хвіст».

Такі схемні рішення для пропульсивних комплексів доцільно застосовувати для підводних бойових дронів.

Висновки.

1. Запропоновано – для забезпечення акустичної малопомітності морських бойових дронів використовувати акустичну «мімікрію».

2. Запропоновано – для морських бойових дронів у пропульсивному комплексі як рушій використовувати «риб'ячий хвіст».

3. Запропоновано – для морських бойових дронів у складі пропульсивного комплексу використовувати двигун Стірлінга.

ЛІТЕРАТУРА

1. Патент України №18438 У. МПК В63Н 11/00. Гідрореактивний судновий двигун / Самохвалов В. С., Ткаченко С. Г., Цвікліс В. С., Багненко М. Ю., Маханько О. В. – Заявл. 18.04.2006 № u200604326. Опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.- 4с.

2. А.С. № 1068337 А ССРСР. МКП В63Н 11/02. Прямоточный гидрореактивный судовой двигатель / Л.С. Бартечев – Заявл. 30.01.81 №3244418/27. Опубл. 23.01.84, Бюл. № 3.- 3с.

3. Патент України № 51357 А. МПК В63Н 11/02. Гідрореактивний судновий двигун / Самохвалов В.С., Ткаченко С. Г., Івачов В.Ф., Смагін Д.Н. – Заявл. 01.03.2002 № 2002031722. Опубл. 15.11.2002. Бюл. № 11.- 2с.

4. Патент №2081770 від 29.07.1992. Катамаран з плавниковим рушієм / Семенов Г.

5. Журнал «Катери та Яхти», 1999, №3 (169).

КІБЕРБЕЗПЕКА НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

Хоменко В.С., Авдюнін Р.Ю., Місенг Д.В., Полянський А.В.

*Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)*

Вступ. Кількість кібератак з роками постійно зростає, що призводить до значних фінансових втрат для підприємств, бізнес-процеси та дані яких потребують відновлення, а також до супутніх збитків, таких як репутація та довіра. Щодо цього морський сектор, який досі вважався безпечним через відсутність підключення до інтернету та ізольованого характеру суден у морі, демонструє багатократне зростання порушень кібербезпеки в операційних технологіях у міру того, як він вступає в цифрову епоху. Хоча у цій галузі проводяться деякі дослідження, морська кібербезпека ще недостатньо вивчена [1,2].

Актуальність досліджень. Сучасний глобальний морський сектор все більше залежить від цифровізації, операційної інтеграції та автоматизації. Провідні суднобудівні компанії та оператори прагнуть впроваджувати інтелектуальні інновації, використовуючи передові технології та системи, які виходять за рамки класичних підходів, для проектування судна з розширеними можливостями дистанційного керування, зв'язку та інтеграції. Автономні судна зазвичай містять набір датчиків (наприклад, радар, LiDAR, камери високої роздільної здатності, тепловізор, гідролокатор тощо) і багато систем, які тісно інтегровані між собою. Їхній рівень автоматизації може переходити від повністю керованих суден до частково керованих, дистанційно керованих, частково автономних і повністю автономних суден [1,2]. Запровадження інформаційно-комунікаційних технологій на морському транспорті, безсумнівно, супроводжується зростанням кіберризиків. Натомість це вимагає нового підходу до безпеки, який розглядає всі різноманітні системи на борту та на суші, а також їх взаємодію.

Постановка задачі. Широке використання автоматизації та IT-систем на сучасних суднах надає хакерам і зловмисникам нові можливості для реалізації різних кібератак, які можуть призвести до катастрофічних інцидентів. Дослідники докладають великих зусиль для виявлення вразливостей у сучасній морській галузі, і нажалі за останні кілька років було зареєстровано багато успішних випадків кіберзлочинності. Відповідно до [2], основними загальними мотивами для цих атак є отримання дистанційного контролю над кораблями та суднами, викрадення важливої та конфіденційної інформації, яка може бути використана для здійснення подальших атак, або порушення роботи судна шляхом пошкодження важливих компонентів. Насправді більшість IT-систем на сучасних кораблях є незахищеними та вразливими до атак, оскільки вони вважаються менш критичними для безпеки та продуктивності.

Результати досліджень. Посилення автоматизації та штучного інтелекту, відкриває нові шляхи для кібератак на морську галузь, яка за останні роки зазнала серйозних інцидентів кібербезпеки. Технологія, необхідна для електронної «підробки» судна, досить розповсюджена в мережі інтернет. Інциденти спуфінгу вже були зареєстровані в Чорному морі, де кілька суден повідомили про аномалії свого GPS-положення [2]. У травні 2017 року спуфінгова атака призвела до зіткнення корабля ВМС США з південнокорейським рибальським човном. У лютому 2017 року судно місткістю 8250 двадцятифутових еквівалентів (TEU) було повністю зламане на шляху з Кіпру до Джібуті [2]. Приблизно на 10 годин зловмисник заволодів навігаційною системою судна, і капітан був безпорадний зробити що-небудь для відновлення контролю. Під час попередньої атаки з глушінням GPS Південна Корея повідомила, що понад 280 суден мали проблеми з навігаційною системою; сигнал GPS був заглушений хакерами, в результаті чого деякі сигнали GPS зникли, а інші отримували неправильні дані. Коли GPS не працює

належним чином, існує дуже високий ризик катастрофи з жахливими наслідками для екіпажу, судна та навколишнього середовища.

Останніми роками морська галузь стала привабливою мішенню для атак програм-вимагачів через відчутну відсутність інвестицій у кібербезпеку та потенціал значних збоїв у роботі [3].

Висновки. Морська галузь стикається з проблемами кібербезпеки, відповідаючи профілю критичної інфраструктури, на яку націлені кіберзлочинці, а також із специфічними ризиками, які можна вважати унікальними для неї. Наприклад, успішна кібератака може зупинити рух судна, розкрити цінну інформацію, вивести з ладу автоматичну систему ідентифікації судна. З повідомлень про кіберінциденти та їх наслідків ясно видно, що кожне судно, або навіть порт схильні до ризику кібератак, якщо ключові інформаційні системи не захищені належним чином. Тому системи ІТ та ОП на сучасних суднах мають бути підготовлені за підвищеними заходами безпеки через їхню велику вразливість до кіберзагроз. Наведені деякі можливі контрзаходи, які можуть нівелювати потенційні кібератаки та зробити судноплавну галузь складною мішенню (наприклад, запровадження нового стандарту безпеки, який скорочує кількість та масштаби кібератак).

ЛІТЕРАТУРА

1. Титов А. В. Перспективи технологічного розвитку і впровадження безпеки суден / А. В. Титов, Л. Баракат. // Морські інтелектуальні технології. 2018. № 1-3(41). С. 94–103.
2. Akpan, Frank, Gueltoum Bendiab, Stavros Shiaeles, Stavros Karamperidis, and Michalis Michaloliakos. 2022. "Cybersecurity Challenges in the Maritime Sector" Network 2, no. 1: 123-138. <https://doi.org/10.3390/network2010009>
3. Мельник О.М. Сучасна методика оцінки рівню безпеки судна та шляхи його підвищення / О.М. Мельник, Ю.В. Бичковський // Розвиток транспорту. – 2021. - № 2 (9) – С.37- 46. DOI:10.33082/td.2021.2-9.03.

СЕКЦІЯ
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ

ВЗАЄМОДІЯ ПУНКТУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОБРОБКИ ПЕРЕВІЗНИХ ДОКУМЕНТІВ ТА ПРИКРІПЛЕНИХ ДО НЬОГО ВАНТАЖНИХ СТАНЦІЙ

Запара В.М., Діденко В.І., Рехтик Я.В.

Український державний університет залізничного транспорту (Україна)

Вступ. Наразі інформатизація у суспільстві набуває інтенсивного характеру та актуального попиту. Бізнес, виробничі процеси, системи управління та культура – все поступово переходить до інформаційних технологій (ІТ). При цьому ІТ не скасували повністю виробничі процеси і не відняли у людини право приймати рішення – однак спростили роботу та допомогли економити час, а таким чином і кошти. В повній мірі це стосується і залізничного транспорту.

Актуальність досліджень. Комплексна автоматизація технологічних процесів вантажних залізничних станцій створила передумови для впровадження електронного документообігу спочатку у внутрішній технології, а потім і у взаємодії із клієнтом [1]. Подальша інформатизація технологічних процесів залізниці призводить до змін в алгоритмі виконання операцій, в тому числі з'являються можливості концентрації певних видів операцій.

Постановка задачі. Встановити розмежування обов'язків працівників запропонованого пункту концентрації обробки перевізних документів та вантажних станцій у частині приймання до перевезення/видачі вантажів у внутрішньому та міжнародному сполученнях (експорт/імпорт).

Результати досліджень. Досягнутий рівень інформатизації технологічних процесів залізничного транспорту України дає можливість сконцентрувати обробку перевізних документів вантажних станцій дирекції залізничних перевезень в одному місці – пункті концентрації обробки перевізних документів (ПКПД). До ПКПД прикріплюють всі лінійні станції дирекції залізничних перевезень, відкриті до виконання вантажних операцій. Контроль за організацією роботи здійснює комерційний відділ дирекції залізничних перевезень. Режим роботи ПКПД – цілодобовий, штат утримується відповідно до розрахункової потреби.

Працівники ПКПД за допомогою відповідних АРМів здійснюють функції з оформлення, переробки перевізних документів, оформлення переадресування вантажів, щодобового обліку з нарахування платежів за надані послуги, підготовки супровідних форм звітності.

Працівники лінійних станцій:

- інформують працівників ПКПД про відправлення/прибуття вантажу на станцію та здійснення прийомо-здавальних операцій;
- здійснюють повідомлення вантажовласників про прибуття вантажу на їхню адресу та плановий час подавання вагонів;
- приймають повідомлення від вантажовласників про закінчення вантажних операцій та готовність вагонів до забирання;
- виконують операції зі зважування вагонів на вагах залізниці/на вагах підприємств та приймання до перевезення (видачі) вантажів на місцях загального та незагального користування станцій;
- здійснюють комерційний огляд вагонів перед подаванням та забиранням вагонів та у поїздах згідно з вимогами відповідного наказу по дирекції залізничних перевезень;
- здійснюють пред'явлення вагонів до технічного обслуговування перед подаванням під навантаження;
- приймають та видають паперові документи при військових та експортно-імпортних перевезеннях вантажовласнику;

- проводять оформлення перевізних документів при військових перевезеннях, перевізних документів УМВС, ЦІМ/УМВС по прибуттю при міжнародних перевезеннях;
- здійснюють проставлення у паперових версіях перевізних документів (УМВС накладна), які надаються вантажовласниками самостійно або роздруковуються працівниками станції на їхнє прохання, відбитків необхідних штампелів, у тому числі календарних;
- у разі потреби за відсутності на станції працівників СТЦ або інших працівників, на яких покладено ці обов'язки, вводять повідомлення про відчеплення вагонів від складу поїзда, «кидання» поїздів, формування натурних листів тощо.

В разі роботи комерційних працівників лінійних станцій за денним режимом перед закінченням зміни складається та узгоджується з начальником станції план місцевої роботи в нічну зміну. План місцевої роботи в нічну зміну складається з урахуванням підходу вагонів, наявності інформації для затримки вагонів на коліях станції (з причини зайнятості фронту, митного оформлення вантажу, закриття під'їзної колії, наявності листа вантажоодержувача тощо). Узгоджений начальником станції план місцевої роботи на нічну зміну надається засобами електронної пошти LotusNotes черговому по станції. Черговий по станції ознайомлюється з планом місцевої роботи на нічну зміну та архівує повідомлення в системі LotusNotes. В разі відсутності в плані місцевої роботи інформації щодо можливості подавання вагонів в нічний час такі вагони затримуються на коліях станції до встановлення працівниками комерційного господарства денної зміни можливості їх подачі.

В нічний час в разі відсутності працівників комерційного господарства на лінійних станціях вся інформація, що стосується фактичного часу прибуття вагонів на станцію, часу повідомлення відповідального працівника підприємства про подачу вагонів, фактичного часу початку вантажних операцій, наявності та тривалості виконання маневрової роботи, фактичного часу закінчення вантажних операцій, часу початку або закінчення затримки вагонів фіксується черговим по станції в повідомленні, яке після закінчення нічної зміни засобами електронної пошти LotusNotes надається комерційному працівнику лінійної станції для подальшої обробки.

Висновки. Сучасний рівень інформатизації технологічних процесів залізничного транспорту потребує подальшого удосконалення, в першу чергу щодо технології вантажних перевезень з метою зниження впливу людського фактору.

Певні операції перевізного процесу (комерційний та технічний огляд вагона, приймання-видача вантажу тощо) наразі виконуються комерційними працівниками станції.

В процесі створення і функціонування ПКПД на дирекції залізничних перевезень необхідно ретельно розробляти організацію взаємодії працівників ПКПД, комерційного господарства вантажних станцій та працівників господарства руху при виконанні місцевої роботи для надання якісних послуг клієнтам.

ЛІТЕРАТУРА

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430-р // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> (дата звернення: 23.03.2023).

2. Запара В.М., Запара Я.В. Забезпечення стабільного та безпечного функціонування залізничного транспорту під час воєнного стану: матеріали X міжнародної науково-практичної конференції [«Людина, суспільство, комунікативні технології»]: (Харків, 27-28 жовтня 2022 р.). Харків: УкрДУЗТ. с. 209-211.

УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОМЕРЦІЙНОГО ДЕПАРТАМЕНТУ АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ»

Запара Я.В., Кулик І.О.

Український державний університет залізничного транспорту (Україна)

Вступ. В умовах діджиталізації та інформатизації процесів в Україні та світі для залізничної галузі постає задача впровадження зазначених процесів у свою діяльність. Використання застарілих інформаційних систем і технологій, складання документів у паперовому вигляді, багаторівнева узгодженість договорів, обмежений доступ вантажовідправників та вантажоодержувачів до актуальної інформації стосовно перевезення стає перешкодою для ефективного функціонування залізничного транспорту та його конкурентоспроможності як на внутрішньому так і на міжнародному транспортному ринку.

Актуальність досліджень. Суттєве падіння вантажоперевезень в Україні з 314,3 млн т у 2021 році до 150,6 млн т у 2022 році через воєнні події, руйнація інфраструктури та інші фактори призвели до зміни напрямків вагонопотоків в бік західних переходів і портів Дунайського басейну, що спричинило певні складнощі в організації перевезень, зокрема при взаємодії з іноперевізниками та портами країн Європейського Союзу [1]. Запровадження ефективних заходів, в тому числі і в інформаційному просторі дозволить вийти залізничному транспорту на більш новий якісний рівень, збільшити дохідність компанії. Тема дослідження є безумовно важливою та актуальною.

Постановка задачі. Окреслення недоліків існуючих інформаційних технологій у вантажній і комерційній роботі АТ «Укрзалізниця» та надання пропозицій щодо удосконалення інформаційних процесів в частині обробки документів й взаємодії клієнтів із залізницею та іншими учасниками перевізних процесів.

Результати досліджень. Планування залізничних перевезень внутрішніх, експортних, імпорتنних та транзитних вантажів здійснюється відповідно до [2]. Згідно цього документу системою, яка здійснює планування перевезень, є автоматизована система «Месплан», вона розроблена понад 20 років тому і базується на застарілій нормативній базі, що значно стримує впровадження нових послуг. В цих умовах виникає необхідність клієнту реєструватися та працювати у різних автоматизованих системах, таких як АС «Месплан» та АС «Клієнт», де клієнт здійснює повторне введення однакової інформації. Відсутність повнофункціонального електронного документообігу між клієнтами та АТ «Укрзалізниця» та відсутність окремих електронних документів зводять нанівець спілкування в on-line режимі. Недоліком зазначених автоматизованих систем слід також вважати, що архітектура ІТ-рішень не відповідає сучасним вимогам сервісного обслуговування користувачів.

Особливо гостро постала проблема взаємодії АТ «Укрзалізниця» з іноперевізниками на прикордонних переходах в частині планування перевезень. Наприклад, на станціях Ягодин, Мостиська, Рава-Руська, Ужгород жоден з іноперевізників не підключений до АС «Месплан», а на станціях Батьово, Чоп, Д'якове, Вадул-Сірет - лише по одному. Така ситуація ускладнює процеси планування, узгодження та здійснення перевезень.

За останні понад 10 років АТ «Укрзалізниця» здійснила цілу низку кроків в цифровій трансформації вантажних перевезень:

- запроваджено електронний документообіг та нові електронні сервіси, що значно прискорило процедури укладання договорів, оформлення перевізних та інших документів;
- фінансові розрахунки з клієнтами здійснюються в on-line режимі;
- запроваджений автоматизований контроль за дотриманням вимог нормативних документів та договорів;

- в значній мірі зникла залежність від помилкових дій працівників, якісна інформація стала доступною, оптимізовані бізнес-процеси і персонал тощо.

Для оптимізації та ефективності обробки перевізних документів на полігонах дирекцій залізничних перевезень у 2023 році створені та вже працюють пункти концентрації обробки перевізних документів. Основними функціями цих пунктів є обробка перевізних документів у частині приймання вантажів у внутрішньому та міжнародному сполученнях (експорт/імпорт) у вагонах на місцях загального користування вантажних станцій відповідного полігону залізничних перевезень і проведення розрахунків за ці послуги. Ефективність роботи цих пунктів оцінити важко із-за малого часу їх функціонування.

АТ «Укрзалізниця» анонсувала проекти цифрової трансформації вантажних перевезень, які поступово реалізуються: так з березня 2023 року планується запуск пілотного проекту підсистем «Е-портал» (особистий кабінет клієнта) та «Е-замовлення» (планування перевезень), також в планах створення Єдиної автоматизованої системи введення договорів та електронного документообігу для розгляду претензій, запровадження додаткових сервісів, таких як переадресування, автоматичне повідомлення про прибуття вантажів.

Наступними кроками цифрової трансформації вантажних перевезень повинні стати:

- розробка і впровадження в електронному вигляді всіх документів, що пов'язані з перевезеннями та розрахунками за них;
- електронна взаємодія з митницею;
- впровадження електронних документів на міжнародні перевезення;
- застосування технологій мобільних пристроїв;
- замовлення інших додаткових послуг в електронному вигляді;
- створення CRM системи для контакт-центру перевізника.

Висновки. Запровадження системних нових підходів в удосконалення роботи залізничного транспорту, зокрема в роботі комерційного департаменту, дозволить:

- 1) залучити нові обсяги вантажних перевезень, тобто підвищити дохідність компанії;
- 2) підвищити конкурентоспроможність на транспортному ринку за рахунок якісного надання послуг клієнтам (спрощення укладання договорів, отримання актуальної інформації щодо перевезення в особистому електронному кабінеті тощо);
- 3) проведення цифрової трансформації в комерційному господарстві дозволить мінімізувати дублювання інформації в різних системах та оформлення документів в паперовому вигляді;
- 4) покращити взаємодію учасників перевізного процесу, зокрема залізниці, відправників, одержувачів, митниці, портів, експедиторів тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Запара В.М., Запара Я.В., Малишко В.А., Редін М.С. Експедирування в умовах війни: можливості та перспективи: матеріали 3-ї міжнародної науково-практичної конференції [«Інтелектуальні транспортні технології»], (Харків, 22-23 листопада 2022 р.). Х.: УкрДУЗТ, 2022. – С.107-109.

2. Правила перевезень вантажів залізничним транспортом України: наказ Мінтрансу України від 21.11.2000 р. № 644 / Міністерство транспорту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0861-00#Text> (дата звернення 18.03.2023).

МОДЕЛЮВАННЯ ТУРБУЛЕНТНИХ ТЕЧІЙ У ПРОТОЧНІЙ ЧАСТИНІ РАДІАЛЬНИХ ВЕНТИЛЯТОРІВ

Зінченко А.В., Редчиць Д.О.

*Інститут транспортних систем і технологій НАН України
(Україна)*

Турбомашини різного роду широко використовуються для стиснення газів та парів в різних галузях техніки [1]. Зокрема, радіальні вентилятори, що є підкласом радіальних турбомашин широко розповсюджені в системах вентиляції та кондиціонування повітря житлових, громадських і промислових будівель, забезпечення комфортабельних умов у транспортних засобах, а також для створення повітряної подушки. Вентилятори встановлюють у системах життєзабезпечення космічних кораблів. Вони служать для створення мікроклімату елементів ЕОМ та інших приладів радіоелектроніки. Вентилятори використовують у фільтроочисних установках різного призначення, у системах пневмотранспорту та пневмоніки [2].

Розвиток промисловості висуває все нові вимоги до вентиляторів: підвищення їх ефективності, зменшення габаритних розмірів, маси, створення нових компоновальних схем. Існуючі розрахункові методи [1–3] не завжди дозволяють надійно розрахувати проточну частину вентилятора та його характеристики. У таких випадках у процесі проектування вентилятора проводяться експериментальні дослідження серії моделей, що займає багато часу та потребує додаткових технічних засобів. У зв'язку з цим велике значення набувають узагальнення й систематизація даних стосовно наявних вентиляторів. Аналіз цих матеріалів показує, що в більшості випадків практично всю область параметрів, характерну для радіальних вентиляторів, можна забезпечити вентиляторами, виконаними за відомими аеродинамічними схемами або за їх модифікаціями.

Тим не менше питання вдосконалення існуючих схем та компоновок радіальних вентиляторів, а також методик їх розрахунку і досі не втрачає актуальності, про що свідчить серйозна увага дослідників з різних країн.

На сьогоднішній день існує досить велика кількість робіт, присвячених дослідженням течій у проточній частині радіальних вентиляторів. Більшість з цих робіт виконувалась дослідниками Німеччини, США, Великобританії, СРСР в середині двадцятого сторіччя та базована на полуемпіричних та інженерних методиках. В той же час вдосконалення конкретних конструкцій радіальних вентиляторів потребує докладного розуміння картини течії в їхньому проточному тракті. Комп'ютерне моделювання на базі чисельного розв'язку рівнянь Нав'є-Стокса є найкращим сучасним інструментом дослідження переваг та недоліків конструкцій радіальних вентиляторів та забезпечення їх високого коефіцієнту корисної дії та продуктивності при заданих масово-габаритних розмірах.

Зниження вартості комп'ютерного обладнання, що застосовується для чисельного моделювання, зробило його доступним для всіх проектувальників промислових вентиляторів. Однак вартість комерційно доступних програмних пакетів залишається високою. Програмний пакет з відкритим вихідним кодом OpenFOAM на базі методу скінченних об'ємів використано для оцінки продуктивності радіального вентилятора із загнутими назад лопатями робочого колеса, що виготовлені з опуклих пластин без використання аеродинамічних профілів [4].

Проведено чисельне моделювання тривимірної турбулентної течії в радіальному вентиляторі на базі тривимірних нестисливих рівнянь Нав'є-Стокса, що замикаються двопараметричними k - ϵ моделлю турбулентності [5] або моделлю Ментера k - ω SST [6]. Для дискретизації рівнянь кількості руху використано метод скінченних об'ємів та ітераційні методи типу SIMPLE.

Проведено порівнювальний аналіз двох підходів до моделювання роторів, що обертаються підчас роботи вентилятора: на базі багатоблочних пересічних рухливих сіток (Sliding mesh) [7], а також у наближенні замороженого ротора [8]. Валідація обох підходів здійснюється шляхом порівняння отриманих інтегральних параметрів вентилятора, таких як об'ємний розхід повітря Q_v , момент на валу M та сумарний статичний тиск вентилятора dP_t , з експериментальними даними, наведеними у звіті [4].

Таблиця 1 – Порівняння розрахункових параметрів вентилятора з даними експерименту [4]

Тест 1	Ω , rpm	Q_m , kg/s	Q_v , m ³ /s	dP_t , Pa	M , N·m
Експеримент	1035	21.7	18.0	383.6	
Frozen_rotor, k- ϵ realizable			18.2	349.1	-252.7
Frozen_rotor, k- ω SST			18.1	377.0	-243.8
Sliding_mesh, k- ω SST			18.1	622.5	-268.9
Sliding_mesh, k- ϵ realizable			18.1	646.1	-274.4
Тест 2	Ω , rpm	Q_m , kg/s	Q_v , m ³ /s	dP_t , Pa	M , N·m
Експеримент	1035	20.3	16.9	510.6	
Frozen_rotor, k- ϵ realizable			16.9	578.4	-256.5
Frozen_rotor, k- ω SST			17.0	573.0	-248.2
Sliding_mesh, k- ω SST			16.9	882.0	-272.8
Sliding_mesh, k- ϵ realizable			17.0	891.2	-280.4

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок що для розрахунків інтегральних параметрів сталих течій в радіальних вентиляторах цілком достатньо наближення замороженого ротора [8], як більш ефективного в обчислювальному плані. Застосування моделі турбулентності k- ω SST дає краще співпадіння з експериментальними даними, порівняно з k- ϵ моделлю турбулентності.

Розроблені методики можуть бути застосовані для чисельного моделювання турбулентних течій у проточній частині радіальних вентиляторів, а також для покращення їх продуктивності та забезпечення високого коефіцієнту корисної дії при максимальному скороченні циклу проектування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пфлейдерер К. Лопастные машины для жидкостей и газов / К. Пфлейдерер. – М.: Машгаз, 1960. – 683 с.
2. Ковалевская В. И. Шахтные центробежные вентиляторы / В. И. Ковалевская, Г. А. Бабак, В. В. Пак. – М.: Недра, 1976. – 320 с.
3. Eck B. Design and Operation of Centrifugal, Axial-flow, and Cross-flow Fans. / B. Eck, Fans. – Oxford: Pergamon Press Ltd, 1973.
4. Oakland Colony Grain Dryer, Airflow testing & balancing, File 20500. Winnipeg : Air Movement Services Ltd, 2019. 5 p.
5. Shih T.-H. A New - Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows - Model Development and Validation / T.-H. Shih, W.W. Liou, A. Shabbir, Z. Yang, J. Zhu.. // Computers Fluids. 1995. 24(3). P. 227–238.
6. Menter F. R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. AIAA Journal. 1994. 32(8). P. 1598–1605.
7. Snyder D.O. Transonic store separation using unstructured CFD with dynamic meshing. / D. O. Snyder, E. K. Koutsavdis, J. S. R. Anttonen. // Technical Report AIAA-2003-3913. 33rd AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit American Institute of Aeronautics and Astronautics. 2003.
8. Luo J. Prediction of Impeller-Induced Flows in Mixing Vessels Using Multiple Frames of Reference. / J.Y. Luo, R. I. Issa, A. D. Gosman. // In IChemE Symposium Series. 1994. 136. P. 549–556.

PROSPECTIVE MULTI-LEVEL SYSTEM OF OPERATIONAL HYPERSPETRAL MONITORING OF UKRAINE

Kalashnyk G.A., Kalashnyk-Rybalko M.A.

Flight Academy of the National Aviation University (Ukraine)

Introduction. Currently, remote methods of studying various processes, for which various optical and electronic devices are used, are becoming increasingly widespread. One of the qualitatively new types of optical-electronic means is hyperspectral equipment, which ensures obtaining images of the phono-target situation with high spatial and spectral resolution. In particular, hyperspectral imaging is of great interest. The uniqueness of hyperspectral equipment lies in its ability to record radiation in hundreds of very narrow spectral ranges [1]. Aviation hyperspectral imaging becomes a tool that allows solving these tasks since the hyperspectrometer as an onboard sensor provides maximum information about the state of the probed object in the optical range of wavelengths. Currently, the demand for hyperspectral information on the world market exceeds the supply by almost 30% [2], and there is practically no hyperspectral information in Ukraine. Currently, in the remote sensing data market, hyperspectral information is represented only by images obtained by the Hyperion instrument of the "EO-1" spacecraft (USA) [2]. Canada, Australia and the countries of the European Union partially compensate for the lack of hyperspectral information by aerial surveying using aerial hyperspectral equipment (CASI, SASI, AVIRIS, HYDICE, HyMap, AISA).

Setting task. The need for sources of objective information to ensure the national security of Ukraine determines the urgency of solving the tasks of improving and implementing a system of operational hyperspectral monitoring with the integration of aviation and ground surveillance methods and the creation of improved technologies for processing hyperspectral images. The final information product of the improved system is hyperspectral images of the earth's surface, a database of spectral signatures of natural and anthropogenic objects, processing technologies and software complexes for the thematic processing of hyperspectral data. An improved system of operational hyperspectral monitoring using the integration of aviation and ground observation methods can be used as a basis for creating a perspective system of complex hyperspectral monitoring of the territory of Ukraine, which will integrate world innovative achievements in the field of creation of hyper- and multispectral observation equipment, space and aviation equipment carriers of the specified class, high-precision global coordinate reference systems, analytical means of physical and chemical analysis of the composition of substances, information technologies for thematic processing of hyperspectral images and the information contained in them.

Research results. The creation of a multi-level monitoring system is due to the currently existing technical and technological problems in the development of highly detailed hyperspectral equipment, which provides shooting with a resolution of 5-10 meters, and the lack of real experience in the application of hyperspectral information in the domestic practice of remote sensing using not only space, as well as aviation and ground means of surveillance. The foreign experience of using aerial hyperspectral surveying together with ground measurements allowed the creation of reference libraries of spectral signatures of observed objects and new technologies for processing hyperspectral information, which provides their owners with competitiveness in the world market. In Ukraine, there are no similar databases of commercial spectral signatures. Also, there are no tools that provide a wide range of consumers with solving thematic tasks using this type of information.

All this necessitates the implementation of appropriate measures, most of which will be implemented within the proposed approach of improving the system of operational hyperspectral monitoring using the integration of aviation and ground observation methods. In the proposed improved system, three levels of hyperspectral monitoring will be implemented: space, aviation and ground.

The space segment of the operational hyperspectral monitoring system will be represented by the EO-1 spacecraft (USA) [3] whose hyperspectral information is represented by images obtained by Hyperion equipment, the technical capabilities of which will allow Ukraine to receive information on the basis of Ukraine's cooperative participation in international space programs. The target equipment of the "EO-1" spacecraft (USA) [2] allows global monitoring of most of the territory of Ukraine along the route. Synchronous surveying of the territory with various types of installed equipment allows the integration of the received information to improve their informational properties.

Existing systems of hyperspectral imaging in aviation open up new opportunities for analyzing the characteristics of objects, which allows for increasing the accuracy of solving a number of final tasks of remote monitoring with effective detection and recognition of objects. Further development of hyperspectral equipment will significantly increase the capabilities of remote monitoring tools and expand the range of tasks solved by aviation using this equipment. Up to now, there are no modern domestic sources of hyperspectral information in Ukraine, there is no domestic hyperspectral equipment. While modern hyper spectrometers are an effective tool for solving a number of scientific and applied tasks of aerospace monitoring of the earth's surface and other applied tasks important for the state.

The aviation segment is a laboratory aircraft based on a light multi-purpose aircraft or an unmanned aerial vehicle and intended (in the mode of synchronous sub-satellite imaging) for calibration and validation of hyperspectral data received from the spacecraft, and in the mode of autonomous imaging - for obtaining operational hyperspectral information of high spatial permission. The ground segment will include mobile and stationary physicochemical laboratories for taking soil and water samples, their chemical analysis and determining the correspondence between the chemical composition of the substance and its spectral reflectance characteristics on the images, which is necessary for the formation of reference libraries of natural signatures of anthropogenic objects.

The creation of a promising system of operational hyperspectral monitoring using the integration of aviation and ground observation methods includes the implementation of five tasks:

- the creation and testing of an aerial remote sensing laboratory equipped with hyperspectral surveillance equipment and high-precision navigation equipment, its certification and attestation;
- the creation of a national fund for hyperspectral remote sensing data for storage, processing and presentation to consumers of information received from space, aviation and ground-based sensors, with the possibility of immediate access through a dedicated Internet channel;
- the development of a system of land-based stationary and mobile analytical physicochemical laboratories as part of mobile monitoring tools;
- the creation of software complexes for the thematic processing of information received from the hyperspectral monitoring system;
- the creation of a network of small enterprises providing services in the field of thematic processing, marketing and distribution of hyperspectral information and environmental monitoring.

The system will integrate world innovative achievements in the field of the creation of hyper- and multispectral surveillance equipment, space and aviation carriers of the specified class of equipment, high-precision global coordinate reference systems, analytical means of physical and chemical analysis of the composition of substances, information technologies for thematic processing of hyperspectral images and information, contained in them.

First of all, it is necessary to work out options for the use of various types of light aircraft to create a laboratory aircraft. The most preferred option is the use of the "Diamond DA-42" aircraft [4]. Its characteristics allow the aircraft to be used not only as a means of operational

monitoring but also for testing devices and elements of promising systems in conditions as close as possible to regular ones.

The need for sources of objective information for the territory of Ukraine also determines the urgency of creating technologies for processing hyperspectral images to solve monitoring tasks. The final information product of the system under development is hyperspectral images of the earth's surface, a database of spectral signatures of natural and anthropogenic objects, processing technologies and software complexes for the thematic processing of hyperspectral data. The implementation of the operational hyperspectral monitoring system will allow the production of products in the form of various thematic maps and geographic information systems (GIS) with signatures of the physical, chemical and spectral composition of the objects of observation

The novelty of the proposed concept of obtaining information about the state of natural and anthropogenic objects and recording their changes is as follows: 1) determination of a number of characteristics of the object in a large number of narrow spectral ranges; 2) obtaining the surface distribution of spectral characteristics by object area; 3) forming a portrait of the object based on the integration of spatial data and spectral characteristics, which allows for reliable identification of objects, determining their characteristics and current state; 4) integration of video information of traditional surveillance equipment with an information-measuring foreign component, the role of which is performed by hyperspectral equipment.

Conclusions. Features of the architecture of a promising system of operational hyperspectral monitoring using the integration of aviation and ground observation methods for the conditions of Ukraine are presented. It will integrate global innovative achievements in the field of the creation of hyper- and multispectral observation equipment, space and aviation carriers of the specified class of equipment, high-precision global coordinate reference systems, analytical means of physical and chemical analysis of the composition of substances, information technologies for thematic processing of hyperspectral images and information, contained in them.

REFERENCES

1. Hussain M., Chen D., Cheng A., Wei H., Stanley D. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing*. – 2013. –V. 80. –P. 91–106.
2. EO-1 User Guide Version 2.3. July 15, 2013. Compiled by Dr. Richard Beck for the Satellite Systems Branch USGS Earth Resources Observation Systems Data Center (EDC) [Електронний ресурс]. URL: <http://www.eo1.usgs.gov>, <http://www/eo1.gsfc.nasa.gov>.
3. Калашник Г.А., Калашник-Рибалко М.А. Результати дослідження ефективності функціонування комплексу бортового обладнання літака DA-42 за показниками функціональної стійкості під впливом дестабілізуючих факторів. Системи обробки інформації. – 2020. – №4(163). – С.27-36. [https:// DOI:10.30748/soi.202.0.163.03](https://doi.org/10.30748/soi.202.0.163.03)

THE SYSTEM-FORMING ROLE OF ENTERPRISES IT-INFRASTRUCTURES IN INDUSTRY AND TRANSPORT

Kosolapov A.A.

*Ukrainian State University of Science and Technology (USUST)
(Ukraine)*

Introduction. It has been said that all natural events and wars, once they are over, open up opportunities for new and original solutions in all spheres of life. And the effective rebuilding of a country always begins with education. In my opinion, this is also true for the processes of creating new automated enterprises and productions based on their future it-architectures. The paper describes the author's subjective view of these problems in Ukraine and ways of overcoming it.

The system-forming nature of enterprises it-architectures in the context of digitalization. The analysis of computerization processes over the last 50 years has shown that the main stages of improvement in production processes are connected with the introduction of automated enterprise management systems, namely the improvement of their IT-architecture.

At all stages of what is now called digitalization, the paradigm shift was determined by the development of three main characteristics of the computing tools used: the processing power or performance of the processors, the interface characteristics with users and access to the processed data and computational results.

Table 1 – The digital age

Computers (CS)>>	Information Systems (IS)>>	Intellectual Systems (IntS)>>	Socio-Technical Systems (STS)
performance	access to data here and now	intelligent interface	social networks, access to data «here and now», IoT
interface	interface	access to data «here and now»	intelligent interface
access to data	performance	performance	performance
1944 - 2000	2000 - 2010	1991 - now	2000 - now

At all stages of what is now called digitalization, the paradigm shift was determined by the development of three main characteristics of the computing tools used:

- the processing power or performance of the processors,
- the interface characteristics with users,
- the access to the processed data and computational results.

The first stage was dominated by centralized computing systems.

The second stage involves the transition from computing systems to information systems dominated by user requirements to access data 'here and now'. Automated enterprise management systems are becoming geographically distributed, using local and wide area networks.

The next stage is designed to simplify the work of users with large amounts of information through a so-called intelligent interface. Systems of this class are called intelligent information systems.

In the fourth stage, automated enterprise management systems become human-centric and are called socio-technological systems or STS.

As you can see, the digitalization of production processes is directly related to the development of IT architecture of enterprises and industries.

In this case, the effectiveness of digitalization in the enterprises of industry and transport depends largely on the level of training of specialists in the field of computer engineering, who are called system analysts (specialists in the information landscape of the enterprise).

Analysis of Ukrainian difficulties and how to overcome them.

The current stage in the design and implementation of enterprise automation systems is characterized by the following features.

1). There is a change in the paradigms of enterprise automation associated with the increasing complexity of the created systems, which are becoming socio-computer-integrated systems [1].

2). Scale of the designed systems transfers computer systems into the class of enterprise data processing centers (DPC).

3). For such a class of systems the functions of computer engineering specialists change. They are not engaged in solving local problems and setting up hardware and software, but move to the level of system analytics, the main task of which is the enterprise it-architecture of to design and develop.

4). In Ukraine, the military situation makes such tasks more difficult.

4.1). A large number of totally destroyed enterprises require rebuilding them from scratch.

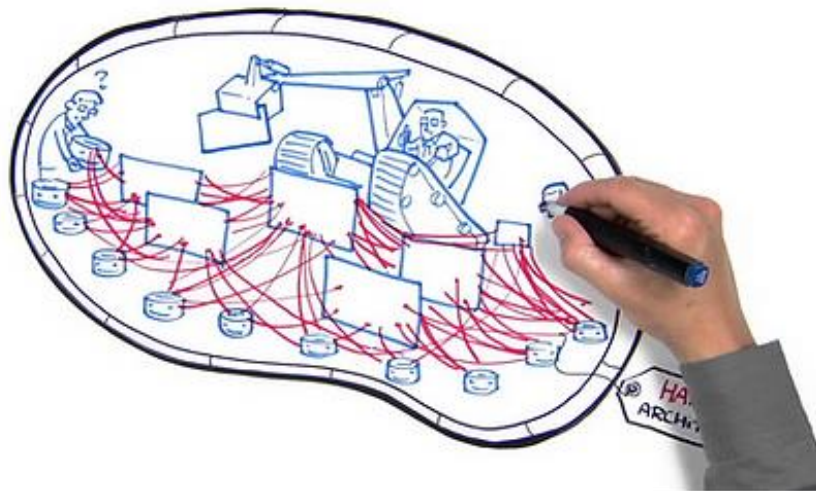


Figure 1 – Work of the system analyst [2]

4.2). The second feature is the dequalification in systems engineering, associated with the involvement of IT engineers in military operations or with their travel to Europe and Asia.

4.3). There is an urgent need to change the curricula of computer engineering training to form a new generation of domestic systems analysts.

4.4). However, the process of training of national cadres of systems analysts is complicated by the used online distance learning technology and the reduction of budgetary places in the master's degree programmes in Ukrainian universities.

The author doubts the interest of foreign specialists in effectively solving the problems of rebuilding destroyed industrial enterprises, which will take a long time.

These circumstances determine the relevance of the formulated topic of the report. The paper describes basic components of enterprise it-architecture and a special generator of variants of templates of architectures to determine in the laboratory conditions of rational software and hardware solutions to implement common algorithms of functioning of socio-computer-integrated enterprise management systems.

Generator Enterprise Architecture - "GEntA".

The architecture of a modern automated enterprise is a complex system (Figure 1) of interconnected 7 types of wares: technical, mathematical, software, information, linguistic, organizational and operational documentation [1]. In fact, the architecture is a multi-structure, interconnected structures of wares types or sub-architectures. One variant of the ordering of architectures is shown in Figure 2.

A template generator of industrial enterprises GEntA is proposed for planning the architecture of the enterprise to be automated. The template variant describes both the enterprise structure and the requirements for the implementation of applications and its business logic.

The generator enables the topology of the production facility layout to be formed on the company premises. These include several technological processes of a given structure and control centers with a set of serviced equipment. Each technological process is described as a sequence of technological sections with a set of sensors and actuators. Each technological process section is described by types of signals processed by the system and intensities of their appearance at the system inputs. The template describes a set of tasks to be solved as FPB (Functional Program Blocks).

The complexity of each FPB is estimated by the number of operations of the different types of its implementation. The generator generates a system database of arrays of different sizes. This specifies which part of which arrays is used by each FPB in its single execution. The operation of the designed system is described by means of fi-transactions.

The scheme of information flows of messages and control actions between technological processes and dispatching centers is specified for each fi-transaction.

For each fi-transaction, a maximum allowable processing time, or deadline, is set.

The generator allows varying the number of technological processes. Generated variants are given to students or engineers for conceptual design of rational it-architecture of a particular enterprise. The complex of models and programs for obtaining variants of structural-technical solutions [3] is offered to perform corresponding design-research works.

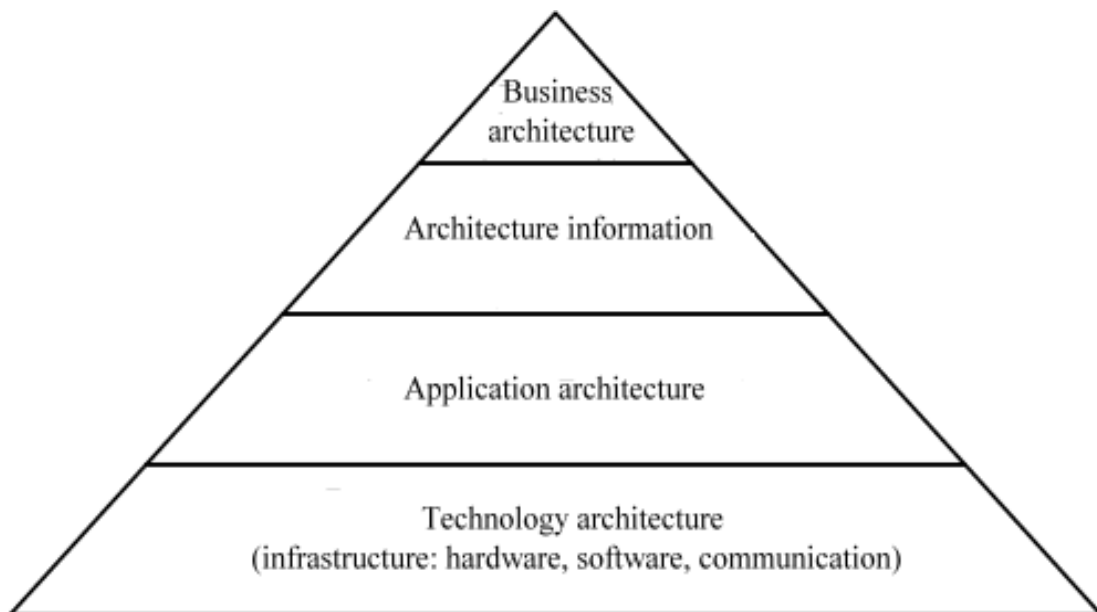


Figure 2 – The multi-level description of the enterprise architecture [4]

Conclusions. The proposed analysis of the situation related to the reconstruction of destroyed enterprises shows the great role played by education in terms of training masters focused on the conceptual design of it-architectures of modern enterprises. In order to train master's students to solve problems on the choice of rational structural and program technical characteristics of the information infrastructure, it is proposed to use a special generator of templates to describe various automated production processes and enterprises GEntA.

REFERENCE

1. Kosolapov A.A. SMENA PARADIGM KOMP'UTERIZACII // Avtomatizaciia ta komp'iuterno-integrovani tehnologii u virobnictvi ta osviti: stan, dosiagnennia, perspektivi rozvitku: material Vseukrains'koi naukovo-praktichnoi Internet-konferencii. - CHerkasi, 2020. - s. 22-23.
2. Podchasova S. Arhitektura predpriiatia glazami analitika Available online: <https://www.artofba.com/post/...>(accessed on 26.09.2019).
3. Konceptual'noe Proektirovanie Komp'iuternyh Sistem Real'nogo Vremeni. Codecs - Zadachi, Modeli, Metody, Algoritmy, Programmy. Monografiia / Anatolij Kosolapov - Izd. Dom Lap Lambert Academic Publishing, Beau Bassin, Mauritius, 2019. - 189 s. (ISBN 978-620-0-08208-4).
4. Serikov A. Elementy Arhitektury predpriiatia. Biznes-arhitektura i arhitektura informacii. Available online: https://intuit.ru/studies/mini_mba/3413/courses/152/lecture/4230 (accessed on 05.02.2023).

ВИКОРИСТАННЯ ПРИНЦИПУ СУПЕРПОЗИЦІЇ СИЛ ДЛЯ ОКРЕСЛЕННЯ МЕЖ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В ЗАДАЧАХ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЛІСОВИХ МАШИН З ОПОРНОЮ ПОВЕРХНЕЮ РУХУ ТА ДЕРЕВИНОЮ

Луста Ю. Р.

*Національний лісотехнічний університет України
(Україна)*

Вступ. Під час заготівлі деревини виникає нестационарна взаємодія лісової машини з опорною поверхнею та стовбурами дерев, як наслідок, підвищена небезпека перекидання та сковзування техніки. Аналіз робочого процесу з використанням статичних та динамічних методів окремо є малоєфективним. Використання принципу суперпозиції сил для розв'язання подібних задач дозволяє розділити зовнішні сили на групи за типом дії та знайти їхню сумарну дію.

Актуальність досліджень. Процес виконання технологічних операцій в лісі супроводжується ризиками травмування робітників [1] – 30,2% травмувань припадає на заготовлю деревини. Велика частина травм пов'язана з експлуатацією обладнання: серед причин – втрата стійкості та перекидання лісозаготівельної техніки. Доцільним є побудувати підхід до розв'язування задач нестационарної взаємодії, який відповідає інженерній точності та підходить для використання в реальному часі.

Постановка задачі. Зовнішні навантаження на лісозаготівельну машину є незалежними між собою. Усі навантаження можна розділити на групи за типом навантажень [2]:

- Навантаження від сили ваги усіх елементів в складеному положенні;
- Асиметричне навантаження від дії моментів сил від розкладеного робочого органу, що виконує роботу зі стовбуром;
- Нестационарне імпульсне навантаження.

Тому дію зовнішніх сил можна зобразити за допомогою суми сил від кожної групи окремо:

$$\sum F = \sum F_i^G + \sum F_i^A + \sum F_i^N, \quad (1)$$

де $\sum F_i^G$ – сума сил від ваги елементів машини (транспортне положення), $\sum F_i^A$ – сума сил від асиметричного навантаження, $\sum F_i^N$ – сума сил від нестационарної взаємодії.

Для демонстрації використання принципу суперпозиції було проведено розрахунок для визначення поперечної стійкості з урахуванням сил від ваги елементів машини та асиметричного навантаження для харвестера Valmet 911.3: вага – 159,7 кН, вага I секції маніпулятора – 4,6 кН, вага II секції маніпулятора – 3,5 кН, вага харвестерної головки – 12,2 кН, довжина I секції маніпулятора – 5 м, довжина II секції маніпулятора – 5 м, ширина колії – 2,72 м, база – 4,15, вага стовбуру – 15 кН.

Перекидання виникає тоді, коли одне з коліс втрачає контакт з опорною поверхнею, нормальна реакція є рівною нулю.

$$R_n = R_n^G + R_n^A = 0, \quad (2)$$

де R_n – сумарна реакція на найменш навантаженому колесі, R_n^G – реакція від ваги елементів машини в транспортному положенні, R_n^A – реакція від асиметричного навантаження.

На рисунку 1 наведено схематична модель харвестера Valmet 911.3, що виконує роботу на ухилі під кутом α та повернутий відносно висхідної лінії на кут β .

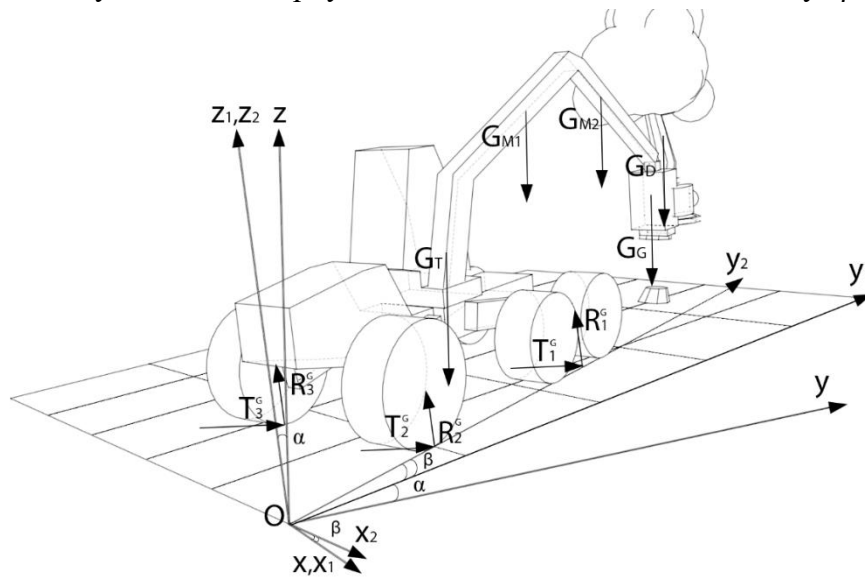


Рисунок 1 – модель тривісного харвестера Valmet 911.3, що виконує рубку лісу на опорній поверхні під ухилом (нормальні реакції від ваги)

Осі координат Oy_1 та Oz_1 утворені внаслідок повороту осей Oy та Oz навколо осі Ox на кут α . Вісь Oy_2 та Ox_2 утворена шляхом повороту Oy_1 та Ox_1 навколо осі Oz_1 на кут β . Сили від ваги елементів харвестера направлені вертикально донизу паралельно до осі Oz .

У транспортному положенні розрахунок нормальних реакцій від ваги виконується за методикою запропоновану в [3] – реакції слід розділити на реакції коліс під двигуном R_d^G та реакції коліс візка R_v^G .

$$R_d^G = \frac{k_d}{1+k_p} G, R_v^G = \frac{k_p}{2} R_d^G, \quad (3)$$

де $G = G_T + G_{M1} + G_{M2} + G_G$ – сума сил від спорядженої ваги харвестера,

$k_d = 1,7 \dots 2,5$ – коефіцієнт динамічності, $k_p = \frac{4R_v^G}{2R_d^G} = 2,2 \dots 2,6$ – коефіцієнт пропорційності.

Розрахунок нормальних реакцій від дії асиметричного навантаження (рисунок 2) виконується за допомогою наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} R_1^A = R_4^A \cos \gamma + R_2^A \sin \gamma; \\ -(R_3^A + R_2^A) \cdot a - (G_G + G_D) \cdot (L_{M1} - L_{M2}) \cos \gamma \cdot \cos \alpha = 0; \\ (R_1^A + R_2^A - R_3^A - R_4^A) \cdot \frac{b}{2} - (G_G + G_D) \cdot (L_{M1} - L_{M2}) \sin \gamma \cdot \cos \alpha = 0; \\ R_1^A + R_2^A + R_3^A + R_4^A = 0. \end{cases} \quad (4)$$

де γ – кут повороту стріли маніпулятора, b – ширина машини, a – база машини, $L_{M1,2}$ – довжина першої та другої ланки маніпулятора, $G_{G,D}$ – сила від ваги головки маніпулятора та дерева відповідно. Система рівнянь (4) базується на трьох рівняннях рівноваги доповнене геометричною в'яззю, що пов'язує між собою окремі реакції ґрунту.

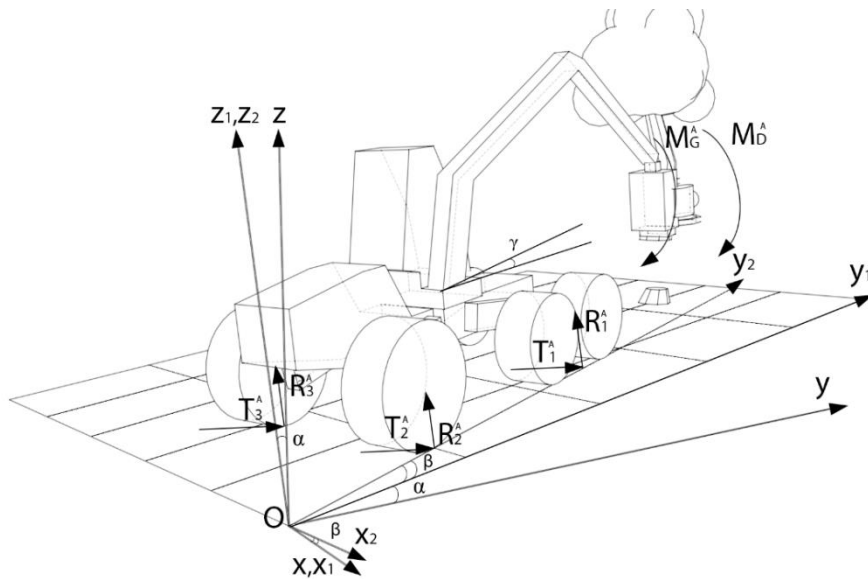


Рисунок 2 – модель тривісного харвестера, що виконує рубку лісу на опорній поверхні під ухилом (нормальні реакції від асиметричного навантаження)

На основі технічних характеристик було проведено розрахунки (3), (4) для кутів ухилу $\alpha = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$, за діапазону повороту стріли $\gamma = 0^\circ \dots 90^\circ$.

В результаті обчислень отримано 4 графіки для кожного колеса. Для кута повороту $\gamma = 0^\circ \dots 90^\circ$ Найбільш навантаженою є права пара коліс візка, а найменш навантаженим є колесо з протилежної сторони. Тому достатньо проаналізували лише 2 графіки R_1 та R_3 (рисунок 3).

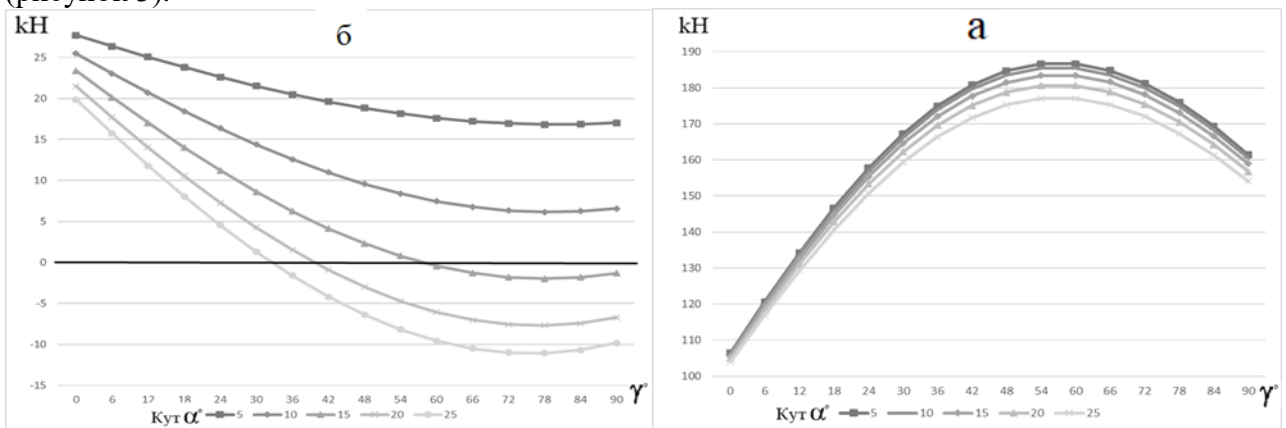


Рисунок 3 – Залежність реакції R_1 під робочим органом (а) та R_3 протилежної до робочого органу (б) від положення маніпулятора для різних кутів ухилу опорної поверхні

Висновки. Продемонстрована методика дає змогу отримати ілюстративні дані, які можна використовувати для окреслення меж безпечної експлуатації. На графіку рисунок 3 (б) безпечними межами експлуатації вважаються значення, які знаходяться вище нуля. Також можна зробити висновок, що кут ухилу місцевості має більший вплив на стійкість до перекидання аніж кут повороту стріли маніпулятора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ghaffariyan M. R. Analysis of forestry work accidents in five Australian forest companies for the period 2004 to 2014. – Journal of forest science. vol. 62, no. 12 – 2016. С. 545–552.
2. Луста Ю. Р. Метод суперпозиції сил у дослідженні безпечних умов експлуатації лісозаготівельних машин під дією асиметричних навантажень [«Сучасні технології у промисловому виробництві»], (м. Суми, 18–21 квітня 2023 р.). – С. : СДІ, 2023. – С. 232–233.
3. Білик Б. В. Теорія та проектування самохідних лісових машин. Львів: РВВ НЛТУУ, 2014. 297 с.
4. Мачуга О.С., Борис М.М., Луста Ю.Р. Методи визначення допустимого ухилу місцевості для безпечної експлуатації спеціалізованої техніки під дією нестационарного навантаження. – Mechanics and advanced technologies. vol. 6, no. 2 – 2022. С. 130 – 138.

AUTOMATIC ROUTE PLANNING OF THE SHIP'S MOVEMENT TAKING INTO ACCOUNT THE DANGER LEVEL FUNCTION

Mamenko P.P.

Kherson State Maritime Academy(Ukraine)

Introduction. The navigational transition of the ship from the port of departure to the port of destination can be carried out by different routes of the ship. The choice of a safe route of the ship's movement is influenced by navigation restrictions, meteorological sailing conditions at different times of the year, crossing of IMO-approved pirate zones, changes in the direction and speed of currents, the presence of other ships on the ship's route, etc. But, even in the presence of such restrictions, there remains an infinite number of safe and optimal trajectories for making a navigation transition between the port of departure and the port of destination. To date, standard guidelines have been developed for manually laying the route of a vessel, which are collected in the "Ocean Routes of the World" directory, according to which many routes can be laid that meet the already researched restrictions for a certain navigation area at different times of the year, but none of them will be optimal [1-8].

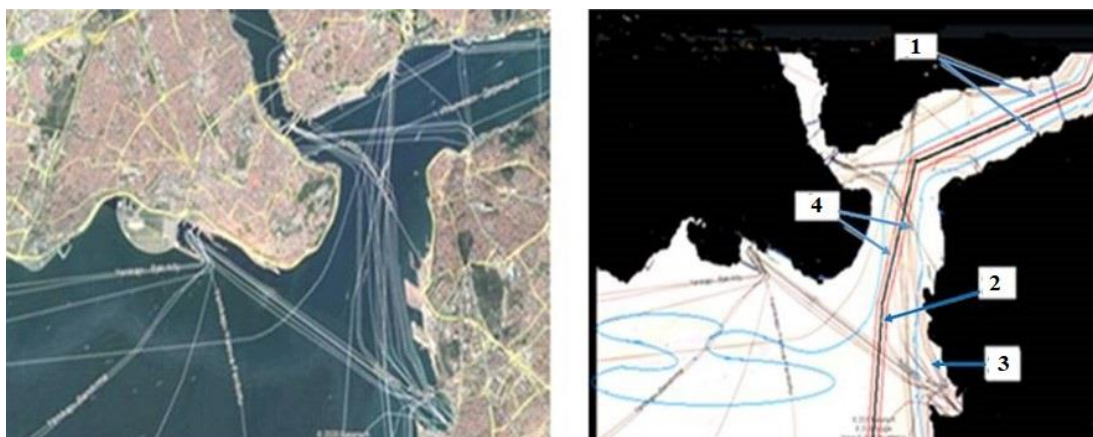


Figure 1 – Satellite image of the navigation area and its digital processing

Relevance of research. The existing methods and models for planning the ship's route, controlling the ship's movement along the route, and maneuvering the separation with the target vessels are based on the concept of a "safe separation area", which is built around each vessel and is called a "vessel domain". This area moves with the ship in the direction of the ship's movement. For a long time, this area was considered a circle. Then, based on the results of statistical studies of the movement of ships in the inland waters of Japan, Japanese scientists Fujii and Tanaka proposed a "ship domain" in the shape of an ellipse [137-141], which is more natural, since the ship has an elongated shape.

Problem statement. Solving the task of automatic planning of the route ship's movement taking into account the interests of all participants in the operation differs from the traditional task of planning the route of the ship's movement in that the planned trajectory of the ship's movement is laid out taking into account the optimality of the decision for all participants of the operation. So, for n participants in the operation, there are n objective functionals, and the route of movement must be laid in such a way that all objective functionals reach the extremum.

Results of the research. A condition was found for planning the ship's route, taking into account the interests of all participants in the process, according to which the optimal solution should not impair any of the solutions for other ships' goals, i.e., the components of the target vector - functional are independent and their states should not affect each other. This decision is known as the Pareto criterion or as an efficient Geoffrion decision [127]. To lay out the optimal

route of the ship, optimization of the selected optimality criterion is required, which can be implemented only if numerical optimization methods are used in the on-board computer. Such a criterion can be, for example, the integral risk on the ship's route and directly during the execution of the maneuver of separation with target ships, and the task of optimal planning is the minimization of this risk

$$L^*(\mathbf{x}(t)) \rightarrow \min C;$$

$$C(\mathbf{x}) = \frac{C_m}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \int_{L(t)} e^{-\frac{1}{2-2r_{xy}} \left[\frac{(v_x t - x_0)^2}{\sigma_x^2} - \frac{r_{xy}(v_x t - x_0)(v_y t - y_0)}{\sigma_x^2 \sigma_y^2} + \frac{(v_y t - y_0)^2}{\sigma_y^2} \right]} dt$$

(1)

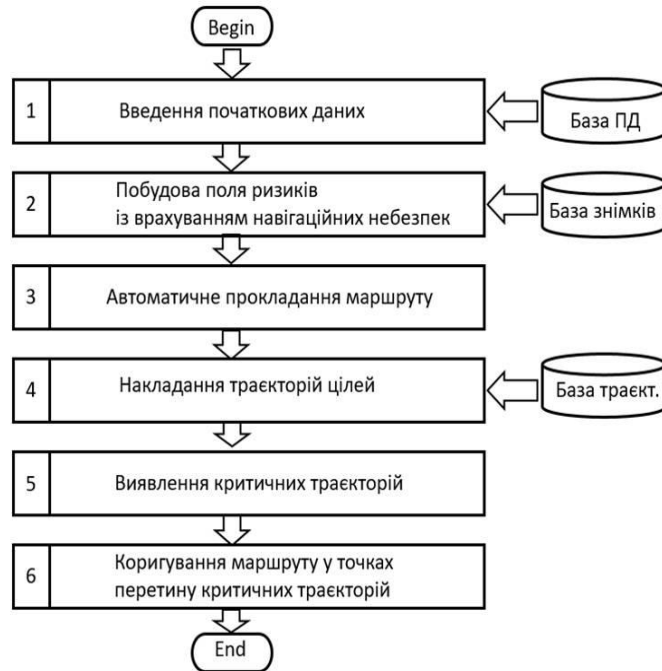


Figure 2 – The main stages of automatic routing of the vessel movement taking into account the function of the level of danger

Conclusion. Issues regarding the use of the risk criterion in the task of planning the ship's route are considered. It is noted that the traditional concept of security, built using the concept of the ship domain, has a significant drawback - it copies the manual laying of the ship's route. It is shown that the transition to the ship domain, which is described by the law of probability distribution, is more promising. Such a transition is based on the fact that risk is always and everywhere and there is no area where there is no risk at all.

The issue of automatic routing of the ship's route in the field of risks was considered. The algorithm of automatic routing of the ship's route is given and a description of the main functional blocks is given. It is shown that the use of the field of risks allows maintaining convenient screen forms for visualization of the field of operations.

REFERENCES

1. Maritime Safety Report 2012-2021. Режим доступу :<https://www.iims.org.uk/marine-safety-report-2012-2021>.
2. Зинченко С.Н., Маменко П.П., Грошева О.А. Сокращение времени численного интегрирования математической модели судна в бортовом вычислителе. *Науковий вісник ХДМА*, 2018, №1(18). <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/526/469>
3. Nosov P.S., Zinchenko S.M., Mamenko P.P., Mateichuk V.M., Moiseienko V.S. Modeling the behavior of navigator to improve safety of maritime transport operation. Proceedings of the I International scientific-practical conference «Current transport safety issues, in energy, infrastructure (STEI-2021)», 2021, pp. 94-100.

4. Mamenko P.P., Zinchenko S.M., Tovstokoryi O.M., Mateichuk V.M., Kyrychenko K.V., Moiseenko V.S. Solution of the problem of optimizing route with using the risk criterion. Materials of the I international scientific and practical conference «Problems of sustainable development of the marine industry (PSDMI-2021)», 2021, pp. 190-193.
5. Zinchenko S.M., Mamenko P.P., Grosheva O.O. Shortening the time of numerous integration of a mathematical model of a vessel in a flatbed calculator. Scientific Bulletin of KHSMU No. 1(18), pp. 171-177, 2018. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/526/469> (16).
6. Zinchenko S.M., Mamenko P.P., Grosheva O.O., Mateichuk V.M. Automatic control of the vessel's movement under external conditions. Scientific Bulletin of KHSMU, №2(21), 2019. pp.10-15., DOI:10.33815/2313-4763.2019.2.21.010-015. <http://journals.ksma.ks.ua/480/416> (21).
7. Mamenko P.P., Zinchenko S.N., Kobets V.M, Nosov P.S, Popovych I.S. Solution of the Problem of Optimizing Route with Using the Risk Criterion. In: Babichev S., Lytvynenko V. (eds) Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 2021, vol 77. P. 252-265, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_17.
8. Mamenko P.P., Zinchenko S.N., Nosov P.S., Kyrychenko K.V., Popovych I.S., Nahrybelnyi Yar.A. and Kobets V.M. Research of Divergence Trajectory with a Given Risk of Ships Collisions. 2 nd International workshop on computational & Information Technologies for Control & Modeling (CITCM 2021), Rivne, 5 November, 2021.
9. Mamenko P. (2023). Minimization of ships' passing path in the field of risks. *Technology Audit and Production Reserves*, 2(70). <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.276419>
10. Fujii Y. Studies in marine traffic engineering: traffic capacity / Y. Fujii, K. Tanaka // Journal of Navigation. – 1971. – Vol. 24. - P. 543–552.
11. Aleksishin, A. Vagushchenko, O. Vagushchenko, Y. Kalinichenko. Improvement of the Anticollision Method "Velocity Obstacle" by Taking Into Consideration the Dynamics of an Operating Vessel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol 6. #3 pp.14-19/. 2019 . DOI: [10.15587/1729-4061.2019.185319](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.185319)
12. Harold P. Benson, Multi-Objective Optimization: Pareto Optimal Solutions, Properties, DOI: https://doi.org/10.1007/0-306-48332-7_315.
13. [Ines Alaya](#); [Christine Solnon](#); [Khaled Ghedira](#). Ant Colony Optimization for Multi-Objective Optimization Problems. [19th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence \(ICTAI 2007\)](#). DOI: [10.1109/ICTAI.2007.108](https://doi.org/10.1109/ICTAI.2007.108)

КОНСТРУКТИВНА ПОБУДОВА РУХУ МАГНІТОЛЕВІТУЮЧОГО ПОЇЗДА

Поляков В.О.

*Інститут транспортних систем і технологій НАН України
(Україна)*

Вступ. Основна функція транспортної системи з магнітолевітуючими поїздами (ТС МЛП) – переміщення пасажирів та вантажів. Вона включає підсистеми, робота яких базується на різних природних принципах і ефектах. Однак, споживча цінність системи вцілому, переважною мірою, визначається саме якістю механічного руху МЛП.

Актуальність досліджень. Сучасний розвиток соціуму є експоненційним. Те ж стосується і обслуговуючих транспортних засобів. Нині виключно когнітивний рівень досліджень їхнього функціонування є недостатнім. Парадигма таких досліджень має набути максимальної креативності. У відношенні до ТС МЛП, це означає, зокрема, що кінцевою метою вивчення таких систем має бути побудування необхідної якості рухів МЛП.

Постановка задачі. Природні (тобто такі, які відбуваються під впливом лише некерованих – природних – збурень) руху МЛП, можуть бути описані моделлю [1]:

$$a_{\lambda\mu} \cdot \eta^\mu = E_\lambda; \quad a_{\lambda\mu} = c_{\lambda\mu} \cdot p^{(2)} + (C_{\lambda,\mu\nu} \cdot \eta^\nu + \beta_{\lambda\mu}) \cdot p + l_{\lambda\mu}; \quad p = \frac{d}{dt} \forall \lambda, \mu, \nu \in [\overline{1, L}], \quad (1)$$

де $\eta^\mu \forall \mu \in [\overline{1, L}]$, L – узагальнені координати розрахункової схеми МЛП, а також число таких координат; $c_{\lambda\mu}, C_{\lambda,\mu\nu} \forall \lambda, \mu, \nu \in [\overline{1, L}]$ – коваріантний метричний тензор згаданого агрегату, а також його триіндексний символ Крістоффеля 1-го роду; $\beta_{\lambda\mu}, l_{\lambda\mu} \forall \lambda, \mu \in [\overline{1, L}]$ – дисипативні та квазіпружні коефіцієнти наведеної моделі; $E_\lambda \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$ – узагальнені збурення системи.

Природні рухи, як правило, не мають необхідних властивостей. Для надання їм (рухам) таких властивостей моделюючі рівняння повинні бути змінені так, щоб вони стали сумісними з цільовими співвідношеннями, які описують ці властивості і зв'язують компоненти стану системи [2]. Наприклад, до МЛП можуть бути прикладені керуючі впливи $\Pi_\lambda \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$. Якщо згадана сумісність досягається, то описувана цільовими співвідношеннями поверхня стає атрактором зображуючої точки стану системи, а її рух гарантовано має бажані властивості. Процес переходу від природного до керованого руху будемо називати його побудовою.

Результати досліджень. Зазвичай, механічна система, яка може бути прийнята як адекватна розрахункова схема механічної підсистеми МЛП, є великою, істотно нелінійною і складною [3]. Крім того, за рідкісним винятком, така система є багатозв'язковою, а її рух відбувається в непередбачуваній зовнішній та внутрішній обстановці. У подібних випадках, як відомо [4], основними труднощами, які ускладнюють побудову рухів реальних технічних систем, є: велика кількість їх ступенів свободи (що підлягають керуванню), кінцева жорсткість ланок кінематичних ланцюгів, а також вимога (у переважній більшості випадків) злитної, безперервної, взаємопов'язаної реалізації фаз таких рухів у вигляді їхніх доцільних синергій.

Використання однорівневих регуляторів для побудови рухів описаного типу систем зазвичай веде до отримання незадовільної якості цих рухів [5]. Виникаюча колізія може бути усунена при їхній ієрархічній побудові, що значно підвищує ефективність пов'язаної з нею переробки та використання великих масивів інформації [6], а тому – і результуючу якість керованого руху. Досягається це, у тому числі, за рахунок систематизації, структуризації, рівневої градації, деталізації та конкретизації, а тому – повноти охоплення та використання згаданої інформації про стан системи на різних рівнях керування ним.

Для кожного з таких рівнів стає характерною структурна та функціональна інформаційна селективність та диференціація, а тому – здатність до високоякісної реалізації обраного для нього кола функцій. Емерджентність такої системи проявляється ієрархічною синтетичністю функціонування рівнів побудови руху у його результуючій якості.

Результати аналізу задачі побудови руху МЛП свідчать, що основними чинниками, які впливають на його (руху) якість, є: властивості системи, які визначають її достатність (кінематичну і динамічну) для виконання такого руху; поточна внутрішня та зовнішня обстановка, в якій воно реалізується; особливості регулятора системи, насамперед – його алгоритму функціонування.

Виходячи з зазначеного, достатньою є трирівнева структура згаданого регулятора: на його низовому рівні – інтроконтролер, який реалізує необхідний набір патерн рухів МЛП, а також їхніх стійких синергій; на проміжному рівні – адаптер, що пристосовує рух до обстановки; на верхньому рівні – координатор, який вичерпно вирішує, у синтетичній взаємодії з блоками попередніх рівнів, рухову задачу поїзда. Функціональна глобальність цих блоків зростає в інверсному порядку: координатор є провідним, синтезуючим рівнем регулятора; адаптер – проміжним, узгоджувачим; інтроконтролер – фоновим, провайдерним.

Основною задачею інтроконтролера є «внутрішньосистемне» керування рухом, який створюється, що передбачає вихідну ініціацію його необхідних первинних компонентів, а також їхнє «внутрішнє» ув'язування. Це, своєю чергою, вимагає узгодженого функціонування виконавчих органів, налагодження їх синергій тощо. Необхідні вихідні сигнали повинні оперативно надходити від внутрішньосистемних датчиків і складають першу з інформаційних макрогруп регулятора. Згадане ж «внутрішньосистемне» керування рухом може будуватися, наприклад, виходячи з таких міркувань.

Якщо програмні співвідношення атрактора зображуючої точки стану системи повні, то з них, у явному вигляді, може бути отриманий закон

$$\eta^\lambda = \eta^\lambda(t), \forall \lambda \in [\overline{1, L}], \quad (2)$$

де t – поточний час, що є конструктивним представником руху, який має бажані властивості. Для реалізації такого руху, як зазначалося, до МЛП, зокрема, можуть бути прикладені керуючі впливи $\Pi_\lambda \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$. Оскільки в даному випадку йдеться про «внутрішньосистемне» керування корисним рухом МЛП, синтезованому на нижньому рівні ієрархії регулятора, то (для цього випадку) в рівняннях (1) слід прийняти $E_\lambda = 0 \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$ і, крім того, доповнити їхні праві частини членами $\Pi_{\lambda} \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$, які є базовими компонентами величин $\Pi_\lambda \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$, і реалізуються в «чистому» вигляді лише для синтезу вихідних патерн рухів. Після цього, із перетвореної вказаним способом моделі (1), можуть бути знайдені закони, згідно з якими повинні змінюватися керування цього нижнього рівня

$$\Pi_{\lambda}(t) = c_{\lambda\mu}(t) \cdot \ddot{\eta}^\mu(t) + [C_{\lambda,\mu\nu}(t) \cdot \dot{\eta}^\nu(t) + \beta_{\lambda\mu}(t)] \cdot \dot{\eta}^\mu(t) + l_{\lambda\mu}(t) \cdot \eta^\mu(t) \quad \forall \lambda, \mu, \nu \in [\overline{1, L}], \quad (3)$$

щоб «внутрішньосистемний» (тобто ззовні незбурений) рух описувався необхідними рівностями (2).

Отже, розглянутий нижній рівень побудови руху (інтроконтролер) для найкращої відповідності своєму призначенню (крім широкого, точного та оперативного доступу до відомостей, що становлять першу макрогрупу інформаційного забезпечення регулятора) повинен мати якомога повніший набір законів типу (2) і (3), а також, безумовно, розвинений пошуковий модуль, що дозволяє ефективно здійснювати відображення виду

$$R: H \rightarrow P_i; H = \{\eta^\lambda(\bullet) \forall \lambda \in [\overline{1, L}]\}; P_i = \{\Pi_{\lambda}(\bullet) \forall \lambda \in [\overline{1, L}]\}, \quad (4)$$

де H, P_i – множини законів бажаних, ззовні незбурених рухів системи, а також керувань нижнього рівня, які необхідні для реалізації цих рухів; R – оператор відображення, що діє

з H у P_i . Тут і далі будь-яка функція з точкою на місці аргументу означає сукупність її (функції) значень при всіх допустимих значеннях такого аргументу.

Однією з доцільних форм організації зазначеного відображення може бути розміщення в пам'яті описуваного рівня регулятора словника «рух – керування», виділення якого у вигляді окремого блоку дозволить спростити логічну структуру алгоритму, а також достатньо просто змінювати і нарощувати правила реагування в процесі обробки.

Синтезований рух системи, який відбувається в умовах обстановки, яка змінюється, у загальному випадку, непередбачувано, повинен залишатися цілеспрямованим. Одним з найбільш ефективних засобів подолання цього утруднення є корекція та координація компонентів згаданого руху (реалізованих інтроконтролером), що вимагає, у свою чергу, оперативного стеження за внутрішньою та зовнішньою обстановкою руху. Тому основним функціональним призначенням проміжного рівня побудови такого руху має стати надання йому властивості пристосовуваності до згаданої обстановки, що базується на результатах обробки другої інформаційної макрогрупи та вимагає, перш за все, класифікації цієї обстановки. Для рухової адаптації достатньою, очевидно, є класифікація обстановки за принципом дихотомії (у вигляді наступних один за одним рівнів класів), за якою має наслідувати її параметризація. Останнє означає, що кожному виділеному класу обстановки в однозначну відповідність повинні бути поставлені множини сутєвих для руху, доступних для спостереження і таких, що однозначно ідентифікують цей клас обстановки, параметрів. При вирішенні різних рухових задач класифікація (і, як наслідок, параметризація) однієї і тієї ж обстановки може суттєво відрізнитися.

При переході зовнішньої та (або) внутрішньої обстановки руху з класу до класу має прийматися рішення щодо стратегії адаптації цього руху, тобто способу формування керуючих впливів на нього з боку адаптаційного рівня регулятора (адаптера) у нових умовах. Як і ситуація, рішення мають бути параметризовані. Після цього повинні бути встановлені залежності типу

$$\alpha_d = \alpha_d(v_c, t), \quad (5)$$

де v_c, α_d – параметри обстановки та рішення. Інакше кажучи, рішення мають відстежувати обстановку. Тоді поточна структура взаємодії функціональних модулів розглянутого рівня регулятора в процесі побудови руху може визначатися блоком класифікації обстановки в залежності від класу, що реалізувався, і, в кожній конкретній ситуації, бути відображенням (взагалі кажучи, неоднозначним) структури обстановки, наприклад, – згідно зі співвідношеннями

$$\aleph : \Gamma \rightarrow S, \quad (6)$$

де Γ і S – множини класів обстановки та структур адаптера; \aleph – оператор (неоднозначний) відображення, що діє з Γ у S .

Обстановка руху, як зазначалося, може змінюватися непередбачувано. Тому досить адекватні алгоритми синтезу необхідних законів $\Pi_{m\lambda}(t) \forall \lambda \in \overline{[1, L]}$ можуть бути побудовані лише з використанням диференціально-ігрових методів [7], які концептуально гарантують якість адаптації, що при цьому оцінюється значенням I інтегративного (який багатокритеріально характеризує згадану якість адаптації) функціоналу Λ . Тоді зазначені закони можуть бути визначені з рівностей типу

$$I = \inf_{P_m} \sup_W \Lambda \langle \Pi_{m\lambda}(t), E_\lambda(t) : P_m = \{\Pi_{m\lambda}(\bullet)\}, W = \{E_\lambda(\bullet)\} \forall \lambda \in \overline{[1, L]}, t \in [t_s, \tau] \rangle, \quad (7)$$

де P_m, W – множини керувань адаптаційного рівня побудови руху, а також його збурень; Λ – прийнятий, з метою оцінки, функціонал; $[t_s, \tau]$ – інтервал побудови руху МЛП.

Адаптаційний рівень регулятора (аналогічно до попереднього) може мати у своєму складі словник «обстановка – керування». Для цього, крім блоку класифікації (упізнання) обстановки, який має багатий набір параметризованих очікуваних обстановок руху, на

цьому рівні його побудови повинен бути пошуковий модуль, що ефективно реалізує відображення виду

$$N: \Gamma \rightarrow P_m, \quad (8)$$

де N – оператор відображення, що діє з Γ у P_m .

Підсумком реалізації руху системи має бути вичерпне рішення задач, які перед ним стоять. Проте, описані рівні побудови зазначеного руху (ні нарізно, ні в сукупності) не мають можливості таке рішення забезпечити. Це – призначення верхнього рівня регулятора (координатора). Обробляючи інформацію третьої макрогрупи, і, отже, виходячи з глобальних цілей конструйованого руху, цей рівень його побудови повинен, передусім, визначати алгоритм досягнення таких цілей, тобто здійснювати відображення виду

$$Q: A \rightarrow \Xi, \quad (9)$$

де A, Ξ – множини цілей, які витікають з вирішуваних рухових задач, а також алгоритмів їх вирішення; Q – оператор відображення (у загальному випадку неоднозначного), що діє з A у Ξ . Аналогічно відображенням (4) і (8), співвідношення (9) досить доцільно може реалізовуватися відповідним пошуковим модулем після розміщення в пам'яті координатного рівня регулятора словника «задача – алгоритм». Результатом функціонування координатора є синтез керування $\Pi_{ul}(t) \forall \lambda \in [1, L]$, реалізація якого веде до вирішення рушійної задачі поїзда в цілому. Отже, результуючий рух системи будується у процесі синтетичної взаємодії трьох описаних рівнів регулятора.

Висновки. У можливості точної, адекватної та евристичної декомпозиції задачі побудови руху МЛП на ряд більш простих підзадач (багато з яких, у значній частині, можуть бути вирішені заздалегідь, у стаціонарних умовах, – на стадії проектування регулятора) і, завдяки цьому, суттєвого підвищення якості такого руху (завдяки реалізації можливості більш точного вирішення згаданих підзадач), яка досягається без використання складних алгоритмів керування ним, полягають основні переваги запропонованої методики згаданої побудови.

ЛІТЕРАТУРА

1. Поляков В. А. Тензорное моделирование движения магнитолевитирующего поезда относительно пути / В. А. Поляков, Н. М. Хачапуридзе // Вестн. ХНТУ – 2007. № 2 (28). – С. 265 - 270.
2. Корнев Г.В. Очерки механики целенаправленного движения. / Г.В. Корнев – М.: Наука, 1980 – 192 с.
3. Дзензерский В. А. Динамика транспорта на сверхпроводящих магнитах: Методические рекомендации / В. А. Дзензерский, Н. А. Радченко – Днепропетровск: Арт-Прогресс, 2003. – 232 с.
4. Охоцимский Д. Е. Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата / Д. Е. Охоцимский, Ю. Ф. Голубев – М.: Наука, 1984 – 312 с.
5. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахага – М.: Мир, 1973 – 332 с.
6. Мангейм М. Л. Иерархические структуры / М. Л. Мангейм – М.: Мир, 1970 – 180 с.
7. Красовский Н. Н. Управление динамической системой. Задача о минимуме гарантированного результата / Н. Н. Красовский – М., 1985 – 520 с.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОГО ОБТІКАННЯ РОТОРІВ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

*Редчиць Д.О.¹, Зінченко А.В.¹, Тарасов С.В.¹, Польовий О.Б.¹, Моїсеєнко С.В.²,
Акіменко О.В.¹*

¹Інститут транспортних систем і технологій НАН України (Україна)

²Херсонський національний технічний університет (Україна)

Вступ. Підвищення потужності вітроенергетичних установок (ВЕУ) та збільшення коефіцієнта використання енергії вітру робить завдання вибору раціональної аеродинамічної форми ротора дуже актуальною. Провідну роль у роботі ВЕУ грають нестационарні аеродинамічні процеси, тому основним напрямом досліджень має бути розробка нових універсальних методів розрахунку нестационарних процесів при обтіканні роторів вітроагрегатів.

Актуальність досліджень. Відомі методики визначення аеродинамічних та енергетичних характеристик роторів ВЕУ засновані на експериментальних даних, імпульсній та вихровій теоріях, чисельному вирішенні рівняння потенціалу. Вони використовують певні припущення при постановці завдання. Головними труднощами розрахунку нестационарних процесів при обтіканні роторів ВО ВЕУ є ефекти динамічного зриву потоку. Досі жодна з відомих спрощених моделей не давала можливості адекватно розрахувати аеродинамічні характеристики роторів у разі динамічного зриву потоку. Рівняння Нав'є-Стокса є найбільш повною математичною моделлю механіки рідини та газу. Тому їх застосування спільно з моделлю турбулентності, рівняннями динаміки ротора дозволяє досліджувати особливості нестационарного обтікання, структуру поля швидкостей, динамічний зрив потоку, процеси формування та розпаду вихорів навколо самого ротора та у сліді за вітроагрегатом.

Постановка задачі. У роботі розглянуто методику розрахунку чисельного моделювання нестационарного обтікання роторів ВО ВЕУ, що базується на спільному рішенні рівняння обертання ротора та динаміки нестисливої рідини.

Результати досліджень. Наведено результати чисельного моделювання нестационарного обтікання ротора Дар'є. Проаналізовано контури завихреності, розподіл коефіцієнта тиску по поверхні лопаті, значення коефіцієнтів лобового опору, підйомної сили, моменту обертання, нормальної та тангенційної сил. В'язкі та динамічні ефекти відіграють істотну роль у роботі ротора Дар'є. Встановлено, що збільшення коефіцієнта швидкохідності призводить до придушення процесу формування динамічного зриву потоку з лопатей ротора Дар'є. Показано, що основний крутний момент створюється на навітряній ділянці траскторії лопаті. Виконано аналіз поля течії навколо дво- та трилопатевого ротора Дар'є. Виділено основні стадії формування вихрової структури. Проаналізовано особливості аеродинаміки обтікання (відрив примежового шару, взаємодія лопатей, перебіг у сліді та поблизу гондоли вітроагрегату) при обертанні ротору. Розглянуто вплив чисел Рейнольдса, коефіцієнтів швидкохідності та заповнення на енергетичні характеристики ротора Дар'є. Зростання числа Рейнольдса призводить до збільшення значень коефіцієнта потужності. При зменшенні коефіцієнта заповнення ротора Дар'є значення коефіцієнта потужності стають менш чутливими до зміни коефіцієнта швидкохідності.

Висновки. Проведено три типи обчислювальних експериментів з вивчення аеродинамічних та енергетичних характеристик дво- та трилопатевого ротора Савоніуса. Для більшості кутових положень нерухомого дволопатевого ротора Савоніуса середній за часом коефіцієнт статичного крутного моменту позитивний. У разі трилопатевого ротора Савоніуса коефіцієнт крутного моменту завжди позитивний при будь-якому кутовому положенні ротора. Збільшення числа Рейнольдса призводить до невеликого поліпшення аеродинамічних властивостей ротора. Виділено основні стадії формування вихрової структури при обертанні

ротора Савоніуса. Вирішено зв'язану задачу динаміки та аеродинаміки трилопатевого ротора Савоніуса. Проаналізовано картину течії навколо ротора, наведено залежності коефіцієнтів лобового опору, підйомної сили та моменту обертання, а також кутової швидкості обертання від часу.

ДО ПРОБЛЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РУХУ НАДВОДНИХ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ АПАРАТІВ

Сохацький А.В.

Університет митної справи та фінансів (Україна)

Інститут транспортних систем та технологій

Національної академії наук України (Україна)

Вступ. Однією з найскладніших проблем створення швидкісних надводних транспортних апаратів є задача пошуку раціонального аеродинамічного компонування, яке забезпечить придатну динаміку руху. Близькість водної поверхні та висока швидкість руху такого транспортного засобу створює певні проблеми з забезпечення стійкості руху та його керованості. Окрім цього існує проблема своєчасної подачі сигналів на аеродинамічні поверхні органів керування рухом транспортного апарата для уникнення небезпечного наближення до водної поверхні, що перебуває в мінливому стані.

Рух такого транспортного апарата з великою швидкістю відбувається поблизу межі розділу середовищ в атмосферних умовах, близьких до параметрів стандартної атмосфери на рівні моря. Близькість водної поверхні сприяє формуванню екранного ефекту – це явище завдяки якому відбувається збільшення підйімальної сили, зменшення індуктивної складової лобового опору, зміна моментних аеродинамічних залежностей. Завдяки екранному ефекту можна досягти високого значення аеродинамічної якості крилевих надводних транспортних апаратів, що сприятиме підвищенню їх технічних характеристик.

Постановка проблеми. Аеродинамічні процеси мають визначаючий вплив на технічні характеристики надводних транспортних апаратів. Для забезпечення заданого режиму руху транспортного апарата необхідно, щоб його аеродинамічні, геометричні, масові, міцносні та динамічні параметри знаходилися в певному діапазоні їх значень, а їх похідні за часом були в певних межах. Розв'язування цієї проблеми полягає у проведенні цілого комплексу експериментальних та теоретичних досліджень з аеродинаміки для надання надводному транспортному апарату раціонального аеродинамічного компонування.

Задача формування аеродинамічного компонування транспортного апарата формулюється наступним чином: знайти такий вектор параметрів, що характеризує форму, структуру, розміри, кінематичні та динамічні параметри, конструктивні особливості та інше, які б забезпечували задоволення вимог та обмежень, що висуваються до транспортного апарата, та досягнення оптимального значення відповідної цільової функції. Взагалі, задача пошуку раціонального аеродинамічного компонування транспортного апарата є оберненою задачею: спроектувати транспортний апарат так, щоб величини похідних давали саме той розв'язок рівняння руху, який відповідає бажаному руху, заданим критеріям технічних властивостей, стійкості та керованості. На сьогодні одержання загального розв'язку такої оберненої задачі є малоімовірним, тому необхідно розв'язувати цілий ряд прямих задач. Аналіз методів формування аеродинамічних компонувань літальних апаратів показує, що для урахування впливу нестационарних аеродинамічних параметрів на динаміку руху необхідні розробки більш ефективних підходів. Таким методом повинен мати сумісний розв'язок зв'язаної задачі динаміки та аеродинаміки транспортного апарата. Якщо розглядати транспортний апарат як тверде тіло, то розв'язок такої задачі може представляти собою сумісний розв'язок рівнянь аеродинаміки та рівнянь динаміки руху, доповнених кінематичними співвідношеннями та параметричними обмеженнями у відповідності з умовами задачі.

Для формування раціональних аеродинамічних компонувань надводних транспортних апаратів, окрім розробки ряду математичних моделей розв'язування зв'язаної задачі аеродинаміки, динаміки руху, аеропружності, необхідно проводити експериментальні дослідження. Вони повинні базуватися на відповідних критеріях

подібності фізичних процесів [1]. Враховуючи досягнення експериментальної аеродинаміки задача проведення коректних експериментальних досліджень надводних транспортних апаратів залишається невирішеною. Методи фізичного моделювання аеродинаміки вимагають подальших розробок.

Аналіз останніх досліджень. На сьогодні дослідження аеродинаміки перспективних транспортних апаратів, що рухаються поблизу підстилаючої поверхні можливе з використанням наступних підходів:

- натурних випробовувань [2-4];
- моделювання на спеціальних треках [3,4];
- моделювання в аеродинамічних трубах [5 - 17];

Натурні випробовування транспортних апаратів дозволяють отримувати найточніші технічні характеристики. Але вони можливі після виготовлення повномасштабного транспортного апарата. Натурні випробовування широко використовували в Інституті гідромеханіки Національної академії наук України при дослідженні аеродинаміки екранопланів. Але такий підхід пов'язаний із значними фінансовими та матеріальними затратами і вимагає повного випуску технічної документації. Практика проектування показує, що використання натурального випробовування доцільно проводити перед запуском серійного виробництва для отримання комплексної оцінки технічних характеристик.

Мета дослідження. При моделюванні обтікання швидкісних транспортних апаратів, що рухаються поблизу водної поверхні, виникає ряд труднощів, пов'язаних з реалізацією реальних умов обтікання. Задача дослідження динаміки руху надводних транспортних апаратів є надзвичайно складною і вимагає обґрунтованого аналізу експериментальних методів та пошуку шляхів розробки фізичних та математичних моделей.

Методи моделювання. Вважається, одним з найточніших підходів для дослідження аеродинамічних характеристик транспортних апаратів, що рухаються над межею розділу середовищ є моделювання на спеціальних треках [3]. Він дозволяє отримувати результати експериментальних досліджень з точністю, близькою до натурних випробовувань. Хоча виникають труднощі з визначенням інтегральних характеристик, але розвиток електронної техніки та математичного моделювання дозволяє отримувати прийнятні розподілені характеристики з певними обмеженнями. У порівнянні з дослідженнями в аеродинамічних трубах застосування моделювання на спеціальних треках дозволяє усунути цілий ряд проблем, пов'язаних з виконанням межових умов на шляховій структурі. Так, використання трекового способу для дослідження аеродинамічних характеристик наземних транспортних засобів дозволило отримати більш точні величини підйимальної сили та лобового опору в роботі [16]. Аналіз досліджень, викладених в роботі [18], свідчить про високу точність отриманих даних при застосування трекового підходу.

Найбільш поширеним способом дослідження аеродинаміки транспортних апаратів є аеродинамічні труби. Для моделювання впливу шляхової структури на аеродинамічні характеристики транспортного апарата використовують наступні методи трубних досліджень:

- а) нерухома шляхова структура;
- б). дзеркальне відображення моделі;
- в) управління примежовим шаром;
- г) рухомий пояс).

Використання нерухомої шляхової структури є найбільш поширеним і самим простим методом [6, 18]. Модель транспортного апарата закріплюється над шляховою структурою на відстані, яка дає можливість урахувати наростання примежового шару на поверхні шляхової структури. При такому моделюванні може виникати циркуляція навколо комбінації "шляхова структура - модель" [6]. Цю проблему можна усунути

завдяки застосуванню різноманітних аеродинамічних пристроїв та методів управління примежовим шаром, але не у всіх випадках [8].

Застосування методу дзеркального відображення моделей дозволяє уникнути процесу утворення примежового шару, характерного для нерухої шляхової структури [10, 12]. Проте в площині симетрії може виникати змішування основного та дзеркально-відображеного потоків. Цей процес може мати місце при моделюванні відривних течій.

В роботі [9, 12] наведено результати експериментальних досліджень аеродинамічних характеристик профілю CLARK-Y-4%, поблизу землі. Експерименти проводилися в аеродинамічній трубі Т-3 кафедри аеродинаміки Харківського авіаційного інституту з використанням методу дзеркальних моделей [12]. Результати досліджень підтвердили, що застосування методу дзеркального відображення моделей дозволяє отримати симетричну течію відносно лінії уявної землі. Змішування потоків, в дослідженому діапазоні кутів атаки, між основним та дзеркально-відображеним крилевими профілями не відбувається за малих кутів атаки та певних межових умов параметрів течії.

Застосування рухомого поясу дозволяє забезпечити виконання межових умови для швидкості на поверхні шляхової структури. Проте при використанні цього способу виникають труднощі моделювання руху над шляховою структурою, що має складний поперечний профіль. Проте даний спосіб вимагає точної синхронізації швидкостей течії та рухомого поясу. Крім цього, виникає ряд труднощів спряження поясу з нерухомим екраном. Даний метод намагалися реалізувати в Центральному науково-дослідному інституті імені А.М. Крилова [5]. Проте даний експеримент на вдалось довести до коректного завершення через проблеми подібності фізичних процесів.

Аналіз результатів дослідження аеродинамічних характеристик різного роду довгих тіл, які рухаються поблизу екрану, використовуючи стаціонарний та рухомий пояс, метод дзеркального відображення викладено в роботах [6,8,9,12,13,16]. При порівнянні методу дзеркального відображення з першими двома способами він дав більш точні показники бокової стійкості, але занижені значення моменту тангажа. Величина підйомної сили виявилась в проміжку величин, одержаних вказаними методами. При зменшенні кліренсу метод дзеркального відображення давав занижені значення сили опору. Більш детальний аналіз методів моделювання руху наземних транспортних засобів в аеродинамічних трубах проведено в роботі [12]. Дослідження показали, що при моделюванні руху транспортного апарата поблизу шляхової структури в аеродинамічній трубі різними методами отримуються різні значення аеродинамічних характеристик.

Ряд моделей екранопланів досліджували в гідродинамічних каналах [3,13,14,]. Схематичні моделі екранопланів приводили в рух у водному середовищі над твердим нерухомим хвильовим екраном, влаштованим на дні каналу [14]. Заміна повітряного середовища водним середовищем в умовах цього дослідження є доцільною, оскільки дає змогу в експерименті одержувати відносно великі сили, що підлягають вимірюванню, що може підвищувати точність вимірювань, і досягати досить великих чисел Рейнольдса (близько 10^6) за відносно малих швидкостей буксирування (близько 4-5 м/с) [14].

Під час руху транспортного апарата над хвилюватою водною поверхнею на нього діятиме низка додаткових нестационарних аперіодичних або періодичних сил і моментів. В основному величина цих сил і моментів буде залежати від висоти польоту над рівнем водної поверхні, відповідності напряму польоту щодо руху фронту хвиль, а також геометричних та аеродинамічних характеристик самого транспортного апарата. В залежності і від погодних умов динамічні та кінематичні параметри можуть досягати критичних значень.

Під їхнім впливом на основні параметри руху будуть накладатися додаткові лінійні та кутові переміщення. В таких умовах транспортний апарат буде здійснювати складний нестационарний рух. Транспортному апарату необхідно надати такі характеристики стійкості та керованості, які б забезпечили безпечний рух.

Надзвичайно важливим питанням є забезпечення його динамічної стійкості, як в поздовжньому так і в поперечному напрямі. Його коливальний рух у вертикальній площині повинен мати частоту що відповідає частоті його зустрічі з гребенями хвиль водної поверхні. Необхідно забезпечити демпфувальні властивості конструкції транспортного засобу саме відповідним аеродинамічним компонованням під впливом повітря. На сьогодні це питання не є вивченим достатньо. Вивчення демпфувальної дії повітряного середовища дозволить прояснити цілий ряд фізичних процесів при русі надводного транспортного засобу. Для цього необхідні розробки експериментальних та теоретичних методів та проведення відповідних досліджень.

Для вирішення викладеної проблеми необхідно розробляти математичні моделі різного рівня складності і розв'язувати їх у вигляді зв'язаної задачі аеродинаміки та динаміки руху. До таких методів слід віднести чисельні методи розв'язування осереднених за Рейнольдсом системи рівнянь Нав'є-Стокса для довільної криволінійної системи координат

$$\frac{\partial \hat{Q}}{\partial t} + \frac{\partial(\hat{E} - \hat{E}_v)}{\partial \xi} + \frac{\partial(\hat{F} - \hat{F}_v)}{\partial \eta} + \frac{\partial(\hat{G} - \hat{G}_v)}{\partial \zeta} = \hat{H}, \quad (1)$$

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; $\hat{H} = 1/jH$ – вектор джерельних членів.

В доповіді детально розглядаються проблеми та методи їх розв'язування з використанням сучасних комп'ютерних технологій. Розроблено методику, алгоритми та програмне забезпечення для розрахунку аеродинаміки та динаміки руху транспортного апарата поблизу розділу середовища. Виконано тестування на прикладі стандартних задач аеродинаміки.

Висновки. Поведений огляд експериментальних підходів до моделювання руху швидкісного транспортного апарата над водною поверхнею вказує на необхідність подальшої розробки методів для забезпечення кінематичної та динамічної подібності фізичних процесів. Попередні дослідження в цьому напрямі проводились без урахування динаміки руху водної поверхні та її властивостей. Подальший розвиток обчислювальної аеродинаміки та її застосування дозволить проводити коректні числові експерименти і надасть можливість вивчити особливості фізичних процесів аеродинаміки та динаміки руху швидкісних надводних транспортних апаратів. В подальших дослідженнях необхідно розробляти математичні моделі з різним рівнем складності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1987. 443 с
2. Аэродинамика ракет: В 2-х книгах / Дж. Аллен, Ф. Балтакис, С. Вукелич и др. ; под ред. М. Хемша, Дж. Нилсена; пер. с англ. А.Д. Хонькина. М.: Мир, 1989. 738 с.
3. Бабенко В.В., Кузнецов А. И., Мороз В.В. Методика проведения буксировочных испытаний в опытовом бассейне с помощью двух моделей глиссирующего судна. *Прикладна гідромеханіка*. 2003. т. 5(77), № 4. С.5–11.
4. Эпштейн Л. А. Гидродинамические методы исследования задач аэродинамики. *Труды ЦАГИ*. 1980. Вып. 2035. С. 1-28.
5. Yun L., Bliault A., Doo J. Wig graft and ekranoplan. Ground effect craft techlogy: Springer Science + Business Media: 2010. 450 p.
6. Гордон М.Г. Экспериментальное исследование поля скоростей и давлений вокруг профиля вблизи земли. *Труды ЦАГИ*. 1965. Вып. 974. 24 с.
7. Горлин С.М. Экспериментальная аэромеханика М.: Высшая школа, 1970. 424 с.
8. Гухо В.Г. Аэродинамика автомобиля. М.: Машиностроение, 1987. 420 с.

9. Приходько А.А., Сохацкий А.В. Математическое и экспериментальное моделирование аэродинамики элементов транспортных систем вблизи экрана. – Днепропетровск: Наука и образование, 1998. 160 с.
10. Серебрянский Я.М., Биячурев Ш.А. Исследование в трубе горизонтально установленного движения крыла на небольшом расстоянии от земли. *Труды ЦАГИ*. Вып. 437. 1939. 32 с.
11. Mercker E., Wiedemann J. Comparison of different ground simulation techniques for use in automotive wind tunnels. *SAE technical paper series*. 1990. N9000321. 16 p.
12. Сохацький А. В. Теоретичні основи створення аеродинамічних компонентів перспективних швидкісних транспортних апаратів: дис. доктора технічних наук: 05.07.01. Дніпропетровськ. 2010. 364 с.
13. Экранопланы: транспортные суда 21 века / А.И. Маскалик, Р.А. Нагапетян, В.В. Иваненко [и др]. СПб.: Судостроение, 2005. 262 с.
14. Белинский В.Г. О возмущенном движении экранопланов над взволнованной поверхностью моря. *Прикладна гідромеханіка*. 2006. Том 8, № 3. С. 3 – 15.
15. Achenbach E. Experiments on the flow past spheres at very high Reynolds numbers. *J. Fluid Mech.* 1972. Vol. 54(3). P. 565–575.
16. Ohtani K., Takei N., Sakamoto H. Nissan full scale tunnel - its application to passenger car design. *Soc. Automot. Eng. (SAE)*. 1972. № 720100.
17. Volgepohl G. Luftwiderstand von Eisenbahn-ahrzeungen: *Z. Ver. Dtsch. Ing.* 1934.
18. Aiba S., Tsuchida H. Heat transfer around a circular cylinder near a plane boundary. *Trans. ASME*. 1985. Vol. 51. P. 866-873.

ОЦІНКА КРИТЕРІЮ ЕФЕКТИВНОСТІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Шапатіна О.О., Крашенінін О.С., Коляда К.Ю., Гупалова В.О.

Український державний університет залізничного транспорту (Україна)

Вступ. За даними кабінету Міністрів та Укрзалізниці відбувається падіння обсягів перевезення залізничним транспортом майже у двічі, що пов'язане з воєнним станом в країні, яке привело до падіння обсягів промислового виробництва та зниження обсягів внутрішнього попиту [1].

Але навіть за таких умов більшу частку перевезення вантажів як внутрішніх, так і міжнародних становлять перевезення залізничним транспортом, який забезпечує масові перевезення вантажів та пасажирів, залишається надійним та ефективним видом транспорту.

Актуальність досліджень. Досвід передових країни показав, що розвиток економіки України на ринку транспортних послуг необхідно пов'язувати із розвитком взаємодії видів транспорту. Для зростання ролі залізничного транспорту набуває актуальності запровадження мультимодальних перевезень, яке буде забезпечувати взаємодію України з країнами Європи, а також сприятиме мінімізації витрат та збереженню навколишнього середовища.

Метою дослідження є розробка заходів щодо покращення процесів функціонування мультимодальних перевезень вантажів за рахунок мінімізації витрат на перевезення з урахуванням якісних показників.

Для цього поставлені і вирішуються наступні задачі:

- формування моделі оцінки ефективності використання різних видів транспорту при забезпеченні оптимальних витрат;
- вибір методу оцінки оптимального маршруту доставки і обсягу вантажів;
- оцінка ефективності транспортної технології перевезень на основі кваліметричного показника.

Результати досліджень. В дослідженні показано, яким чином з урахуванням логістичних принципів визначається граничне заміщення способів перевезень при застосуванні різних видів транспорту на основі функції корисності і транспортних витрат.

Цільовою функцією для оцінки ефективності мультимодальних перевезень визначено показник, який відповідає витратам на перевезення з урахуванням кваліметричної складової [2]

$$W(l_i) = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \lambda_i P_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $a = \sum a_i$ – пункти відправлення та призначення; $b = \sum b_j$ – кількість видів транспорту, що задіяні при мультимодальних перевезеннях; $c = \sum c_k$ – маса вантажів, що доставляються різними видами транспорту, т; l_i – маршрут доставки вантажів різними видами транспорту, км; λ_i – значущість видів транспорту, $\sum \lambda_i = 1$; P_i – показник рівня витрат для транспортних технологій з урахуванням кваліметричної складової, у.о./тран.

За таких обмежень:

$$\begin{cases} c_i > 0; l_i > 0; \sum \lambda_i = 1; \lambda_i \geq 0; \\ l_1 \leq l_{is}; l_2 \leq l_r; l_1 + l_2 + l_3 \leq l_{dp}. \end{cases} \quad (2)$$

При чому вартість доставки вантажів залежать від вибору оптимальних частин мультимодального маршруту. На основі визначення показника витрат на мультимодальні перевезення здійснюється обґрунтування оптимального маршруту перевезень.

В загальному вигляді рішення цієї задачі можна звести до задачі лінійного програмування або задачі динамічного програмування, а також використовують такі методи як: алгоритм Дейкстри, алгоритм Флойда-Уоршелла, задача комівояжера, мурашиний алгоритм, транспортна задача, генетичний алгоритм тощо.

За допомогою алгоритму Дейкстри знаходять найкоротший шлях від однієї вершини графу до інших, але при великій кількості вершин в графах, а також при від'ємних значеннях ребер цей метод не застосовується внаслідок некоректного рішення. Даний недолік відсутній у алгоритмі Флойда-Уоршелла, який має значну розрахункову складність.

Задача комівояжера та мурашиний алгоритм відносяться до евристичних, при їх вирішенні знаходиться не найефективніший маршрут, а наближене розв'язання, тільки при збільшенні повторів алгоритму отримують більш точний результат [3]. Рішення транспортної задачі відноситься до задач лінійного програмування, при цьому ефективність оцінюється за критерієм найменшої вартості перевезення. Пошук рішення за генетичним алгоритмом відбувається за допомогою «схрещення» та подібного до природного процесу відбору. Недоліком даного методу є необхідність знання передісторії, генофонду [4, 5].

Якщо обмеження мають нелінійну залежність, то застосовують динамічне програмування, при обмеженнях, що мають лінійну залежність, використовують метод лінійного програмування. В аналітичному вигляді окремі задачі можна звести до вирішення щодо визначення оптимального шляху, але у загальному вигляді формалізацію рішення теоретично досягти складно, тому використовують методи оптимізації.

На підставі проведеного аналізу показано, що на ефективність перевезень впливає вибір транспортного засобу з урахуванням діапазону оптимальних значень вантажопідйомності та зони дальності перевезень на основі визначення оптимального значення кваліметричного показника.

Висновки. В результаті дослідження сформовано модель оцінки ефективності використання різних видів транспорту з забезпеченням оптимальних витрат. Крім того застосування розглянутих методів та моделей оцінки ефективності транспорту на практиці дає можливість залучати користувачів транспортних послуг на залізничний транспорт в рамках мультимодальних перевезень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Державна служба статистики України. Обсяг перевезених вантажів за видами транспорту. URL: <https://ukrstat.gov.ua/>.
2. Panchenko S., Lavrukhin O., Shapatina O. Creating a qualimetric criterion for the generalized level of vehicle. Eastern-European journal of enterprise technologies, 2017. Vol. 1, № 3(85). P. 39–45. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.92203.
3. Denardo E.V. Dynamic Programming: Models and Applications. Mineola, NY: Dover Publications. 2003. 228 p.
4. Oudani M., El Hilali Alaoui A., Boukachour J. An efficient genetic algorithm to solve the intermodal terminal location problem. International journal of supply and operations management, 2014. Vol. 1 (3). P.279–296.
5. Бутько Т. В., Костенніков О. М., Прохоров В. М., Шапатіна О. О. Розробка автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень на основі векторної оптимізації. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту, 2019. Вип. 188. С. 71-85.

СЕКЦІЯ
ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ Й ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕКОЛОГІЧНА
БЕЗПЕКА ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ІНТЕГРУВАННЯ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРА ДО ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ НАДДУВУ СУДНОВИХ МАЛООБОРОТНИХ ДИЗЕЛІВ

Андрєєв А.А., Андрєєва Н.Б.

*Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування
ім. адмірала Макарова (Україна)*

Вступ. Умови експлуатації суднових малооборотних дизелів (МОД) відрізняються значною зміною протягом рейсу температури зовнішнього повітря, а значить і повітря, що подається в турбокомпресор (ТК), відповідно, і наддувного повітря (повітря після ТК). Тому паливна ефективність МОД залежить, окрім параметрів повітря на вході ТК, ще й від температури наддувного повітря, яка, у свою чергу, – від температури води, що його охолоджує. При високих температурах заборотної води штатні охолоджувачі наддувного повітря (ОНП) не справляються із завданням підтримки його температури на прийнятному рівні, достатньому для демпфування підвищених температур повітря на вході в ТК і забезпечення високої паливної ефективності МОД. За даними фірм-розробників суднових МОД: "MAN" і "Wartsila", підвищення температури наддувного повітря на 10 °С викликає зменшення ККД МОД і, відповідно, зростання питомої витрати палива b_e приблизно на 0,5%, що гостро ставить завдання його охолодження.

Актуальність досліджень. У той час, як системи утилізації теплоти випускних газів досить розвинені і використовуються практично у всіх суднових дизелях провідних фірм-двигунів (MAN, Wartsila, Mitsubishi), використання теплоти наддувного повітря обмежується нагріванням поживної води утилізаційних котлів або теплофікаційними потребами. У системах охолодження наддувного повітря із застосуванням повітряної холодильної машини та системах контактного його охолодження уприскуванням води теплота наддувного повітря відводиться за борт і не розглядається як джерело теплоти для термотрансформаторів (ТТр). У той же час такі ТТр забезпечували б не тільки найбільш повну утилізацію теплоти наддувного повітря, але і його охолодження нижче за температуру заборотної води, що особливо актуально при плаванні судна в літній час і південних широтах при підвищених температурах заборотної води. В якості робочого тіла в таких ТТр доцільно застосовувати низькокиплячі робочі тіла (НРТ), що забезпечувало б досягнення дуже низьких температур води, що охолоджується, і, отже, наддувного повітря.

Постановка задачі. Перш ніж оцінювати ефективність охолодження наддувного повітря ТТр для його використанні в системі охолодження наддувного повітря суднових МОД, проаналізуємо можливість інтегрування ТТр в систему наддуву суднового МОД.

Конструктивно найбільш простими і, отже, надійними в експлуатації є ТТр ежекторного типу (ЕТТр), у яких функцію компресора виконує струменевий апарат – ежектор. Основні елементи ТТр – теплообмінні апарати, що серійно випускаються вітчизняною промисловістю: трубчасто-пластинчасті охолоджувачі випускає ПАТ "Завод "Екватор", м. Миколаїв; кожухотрубчасті охолоджувачі - Морський завод, а також відомі зарубіжні фірми "Guentner", "Bitzer", "Alfa Laval" та ін. При цьому максимально може бути задіяний апаратний парк існуючих систем охолодження наддувного повітря: високо-, середньо- та низькотемпературні ОНП з проміжними контурами водяного охолодження.

Єдиним пристроєм з частинами, що рухаються, в ЕТТр є герметичний насос НРТ. Герметичні насоси широко застосовуються для перекачування зріджених газів, а також у насосно-циркуляційних системах холодильних установок та морозильних апаратів як суднових, так і стаціонарних. Питання надійної герметизації холодильних систем з насосною циркуляцією НРТ (хладонів, зокрема фреонів та аміаку) в умовах підвищеної вібрації також вирішено, що підтверджено всією практикою їхньої експлуатації на судах.

Накопичено також значний досвід експлуатації герметичних насосів великої продуктивності в електростанціях на базі паротурбінних установок, що працюють на НРТ (ізопентан, фреон R12) та використовуючих тепло геотермальних вод.

Єдиним елементом несерійного виробництва є ежектор, проте його виготовлення в технологічному відношенні не викликає труднощів, а ежектори для циркуляції хладонів у суднових та стаціонарних холодильних установках виготовлялися в НВЦ "НКІ" (зараз НУК), що на заводі "Ленінська кузня", м. Київ, і за кордоном: фірми "Sabroe" та "Bramm", Данія, "York", Швейцарія та ін.

Результати досліджень. Досліджувана система з урахуванням ЕТТр представлена на рис. 1, що дозволяє судити про конструктивні особливості інтегрування ЕТТр до системи наддуву суднового МОД.

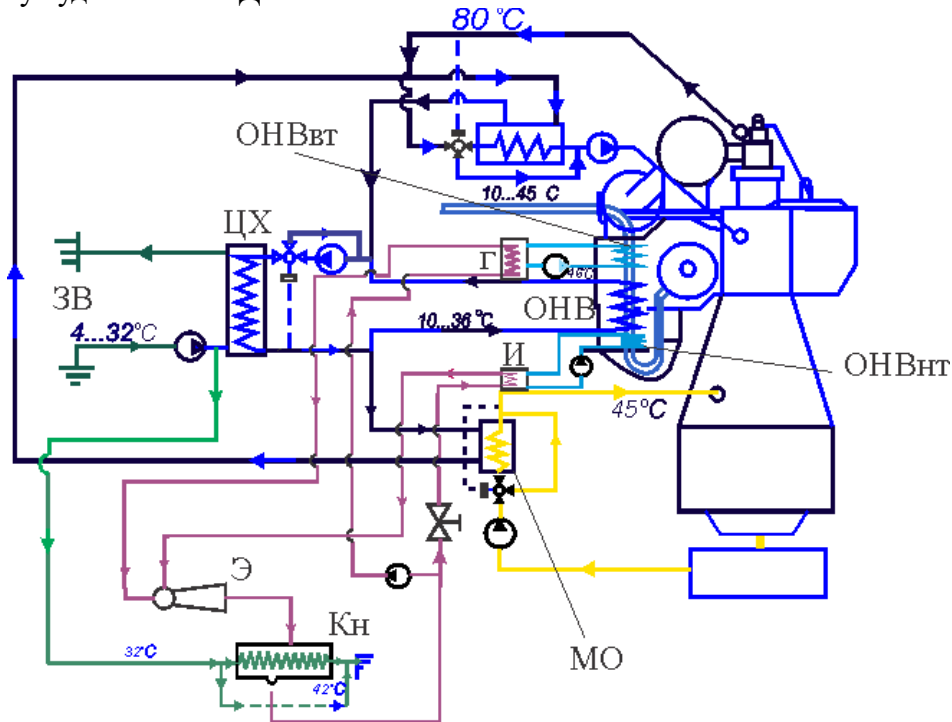


Рисунок 1 – Досліджувана система охолодження МОД з урахуванням ЕТТр.
ОНВвт - високотемпературний ступінь охолоджувача наддувного повітря; ОНВнт - низькотемпературний ступінь охолоджувача наддувного повітря;
ЦХ – центральний холодильник; МО – маслоохолоджувач; Кн – конденсатор; ЗВ – забортна вода; Е – ежектор; ОНВ – охолоджувач наддувного повітря

Як видно, в ТТр використовуються теплообмінники – штатні ОНП: високо-, середньо- і низькотемпературні ОНП (ОНПвт, ОНПст і ОНПнт), а наявність проміжного водяного контуру, до якого підключають теплообмінники з фазовим переходом НРТ (генератор НРТ високого тиску та випарник НРТ низького тиску, а також нагрівач рідкого НРТ – економайзерна секція генератора) виключає необхідність вторгнення в тракт наддувного повітря взагалі.

Так, генератор парів НРТ високого тиску підключають до проміжного водяного контуру високотемпературної, тепловикористовуючої ступені ОНПвт (див. рис. 1), що забезпечує його надійну експлуатацію при цілком помірних температурних напорах, що визначаються температурою кипіння НРТ в генераторі (120 °C), достатньої інтенсивності теплопередачі в процесі фазового переходу НРТ (кипіння НРТ) та виключає витрати енергії на подолання аеродинамічного опору, яке мало б місце при розміщенні генератора НРТ у наддувному тракті МОД.

Можливе деяке збільшення поверхні низькотемпературного ступеня ОНПнт і відповідно його аеродинамічного опору, обумовлене підвищеним тепловим навантаженням через глибше охолодження повітря в порівнянні з його охолодженням

шляхом відведення теплоти заборотною водою. Проте резерв потужності сучасних вискоефективних турбокомпресорів, достатній для подолання аеродинамічного опору ОНПнт. Про наявність такого резерву свідчать системи утилізації енергії випускних газів МОД потужністю понад 20 МВт суден сучасної побудови, в яких 10...12 % загальної витрати випускних газів подають на утилізаційну газову турбину, мінаючи турбокомпресор.

Для видалення вологи, що випадає в процесі охолодження повітря в ОНП, використовуються штатні відокремлювачі. Застосування ОНП з гофрованими пластинами (фірми "Güentner") дозволяє підвищити коефіцієнт тепловіддачі до повітря на 25 % порівняно з гладкими пластинами, а в комплекті з краплевідділювачами – сепарувати і відводити вологу, що випадає.

Можливе також використання вискоефективних інерційних відокремлювачів у вигляді пакетів з профільних пластин НКІ, що забезпечують практично повне відділення вологи (коефіцієнт уловлювання дворядного пакета 0,998) при невеликому аеродинамічному опорі: 250 ... 1000 Па. Такі відокремлювачі отримали широке застосування у системах стиснутого повітря, вентиляції суднових машинних відділень, тобто при великих витратах та підвищеній вологості повітря, що відповідають умовам експлуатації суднових МОД.

Водовідділювачі з дворядних пакетів профілів НКІ використовуються як сепарувальні пристрої в повітроприймальних шахтах суднових газотурбінних установок (ГТУ). Застосування вологовідділювачів при високих витратах повітря, притаманних ГТУ, підтверджує можливість їх використання у суднових МОД.

Наведене вище дає підстави припустити можливість безпечної експлуатації МОД з глибоким охолодженням наддувного повітря.

Висновок про можливість застосування хладонів як НРТ в ТТр суднових МОД було зроблено ще в 70-ті роки за результатами великих експериментальних та теоретичних досліджень, проведених в ОНІЛКВ НКІ. Надійна експлуатація ТТр на хладонах R142b і R12 також відома.

Висновки. Таким чином, за результатами дослідження питань, пов'язаних з особливостями конструкції ОНП та ТТр, спільною експлуатацією ОНП та ТТр (випадання вологи та її відведення), застосуванням НРТ у ТТр, з урахуванням сучасних технологічних можливостей та накопиченого досвіду експлуатації ТТр на НРТ можна зробити висновок працездатності системи наддуву суднового МОД із ТТр.

ЛІТЕРАТУРА

1. Артемов Г.А., Горбов В.М. Суднові енергетичні установки. Миколаїв: УДМТУ, 2002. 356 с.
2. Influence of Ambient Temperature Conditions on Main Engine Operation. MAN B&W Diesel A/S. Copenhagen, Denmark, 2005. 15 p.
3. Heim K. Existing and Future Demands on the Turbocharging of Modern Large Two-stroke Diesel Engines. *8th Supercharging Conference*. 1–2 October 2002, Dresden. 18 p.
4. Pyrysunko M., Radchenko A., Tkachenko V., Zubarev A., Andreev A. Marine Diesel Engine Inlet Air Cooling by Ejector Chiller on the Vessel Route Line. In: *Ivanov, V., Pavlenko, I., Liaposhchenko, O., Machado, J., Edl, M. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. DSMIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2022. Pp. 259–268.
5. Андреев А.А., Коновалов Д.В., Радченко М.І. Основні положення математичної моделі теплообмінників тепловикористовуючої системи охолодження наддувного повітря суднових малообертових дизелів. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2011. Вип. 39 (1). С. 68–73.
6. Андреев А.А. Визначення раціональних параметрів проміжного охолодження наддувного повітря суднових ДВЗ. *Суднова енергетика: стан та проблеми: Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, науковців та фахівців*. Миколаїв: НУК, 2007. С. 143-146.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ДВИГУНІВ МОРСЬКИХ ТА РІЧКОВИХ СУДЕН

Бондар С.А.

Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)

Вступ. Експлуатація будь яких механізмів суднової енергетичної установки неможлива без їх технічного обслуговування (ТО). Зокрема, для головних суднових дизельних установок (СДУ) за період (періодичність) ТО або ремонту приймається інтервал часу між двома послідовними видами технічного обслуговування або ремонту будь-якого елемента СДУ [1]. Під видом ТО чи ремонту розуміється технічне обслуговування чи ремонт, що визначається за однією з ознак – етапу періодичності, обсягу робіт та ін. Обсяг та перелік послідовного виконання ТО дизелів встановлює завод-виробник залежно від конструкції дизеля та кількості проробленого ним часу. У ТО входять: контроль за технічним станом, очищення від забруднень, регулювання зазорів в деталях, що сполучаються, їх заміна з метою попередження недопустимих зносів і поломок, усунення виникаючих пошкоджень та їх наслідків. Всі ці роботи проводяться в обов'язковому порядку та є основою «Превентивного технічного обслуговування» (Preventive maintenance) або обслуговування за планом ремонту суднових технічних засобів. Водночас існує інший тип обслуговування – «Управління технічним станом суднового обладнання виключно за фактичним станом» (Predictive maintenance) [2, 3]. Не виключаючи певну прогресивність цього напрямку слід зазначити, що через прагнення судновласників скоротити витрати в умовах жорсткої конкуренції, а також через обмежені фінансові можливості для підтримки суднової енергетичної установки в належному технічному стані, обсяг профілактичних робіт, що проводяться, може зводитися до мінімуму. З метою виключення цих наслідків та надійного впровадження системи для забезпечення безпеки судна використовується метод формалізованої оцінки безпеки – ФОБ (Formal safety assessment – FSA), затверджений у 2007 р. Комітетом з безпеки на морі та комітетом із захисту довкілля (MERC).

Головна спрямованість концепції ФОБ складається в її використанні під час розробці нових правил, порівнянні існуючих з новими нормативними документами, аналізі різних технічних та експлуатаційних рішень, включаючи людський фактор, та пошуку балансу між надійністю суднового обладнання та вартістю її забезпечення. Застосування методу експертної оцінки під час оцінці ризику дозволяє замінити недостатність статистичної інформації щодо аварій. Таким чином, застосування концепції ФОБ під час розробці теоретичних та практичних основ управління ризиками в діяльності класифікаційного товариства при наявності затримань суден, аварійних подій, відповідальність за які полягає на класифікаційне товариство, інформаційних збоїв та помилок, пов'язаних з «людським фактором», залученого в цю технологію, можна визнати перспективним і в теперішній час [4].

Актуальність дослідження. З метою збереження експлуатаційної надійності судна в межах встановленого терміну експлуатації повинна бути також скоригована система технічної експлуатації у бік посилення насамперед за тими агрегатами та системами, відмова яких призводить до відмови пропульсивної установки або до небезпечної шкоди, вираженої в наступних суттєвих витратах на проведення непланового ТО чи ремонту. Перехід до системи ТО «за станом» для суден, що вже тривалий час знаходяться в експлуатації, формально може бути полегшений, якщо в попередній період на них суворо виконувались усі елементи ТО за план-графіками та є достатні статистичні дані щодо відмов та трудомісткості робіт з повернення до нормального функціонального станом агрегату чи системи. Збір, обробка та аналіз таких статистичних даних сприяє підвищенню надійності роботи суднових технічних засобів.

Постановка задачі. Задачею дослідження є визначення критеріїв оцінки надійності суднових технічних засобів (зокрема двигунів внутрішнього згорання – ДВЗ) за статистичними показниками їх роботи на попередньому періоді експлуатації.

Результати досліджень. Одним з основних параметрів, що характеризують надійність судового енергетичного обладнання в цілому та ДВЗ зокрема, є параметр потоку відмов $\omega(t)$, що визначає середню кількість відмов у малому інтервалі напрацювання [5, 6]:

$$\omega(t) = \frac{d\Omega(t)}{dt} = \frac{M[r(t + \Delta t)] - M[r(t)]}{\Delta t}$$

де $d\Omega(t)$ – математичне очікування кількості відмов за напрацювання;

$$d\Omega(t) = M[r(t)],$$

$r(t)$ – кількість відмов за час напрацювання t .

Аналіз даних про результати відмов суднових ДВЗ у межах оголошених фірмами-виробниками термінів експлуатації свідчать, що їх причини розподіляються наступним чином: фізичний (втомний) знос – 45 %, а решта тією чи іншою мірою пов'язані з їх експлуатацією. При цьому, якщо для відмов з фізичних зносів є певні залежності, побудовані на основі статистики або прискорених ресурсних випробувань, то встановити аналогічне за якістю ТО є дуже складним завданням. Найбільш наближеним до достовірного значення може бути величина, отримана шляхом аналізу потоку відмов значної частини двигунів суден однієї серії в інтервалах 2000...2500 годин. При цьому їх експлуатація повинна виконуватись в ідентичних умовах та з чітко встановленою системою ТО [7, 8].

Для оцінки потоку відмов використовувалися статистичні дані щодо відмов і несправностей головних двигунів однотипної групи судів, що у технічному менеджменті однієї судноплавної компанії (таблиця 1).

Таблиця 1 – Кількість та відсотки основних відмов та несправностей елементів ДВЗ фірми Wartsila 6R32BC за п'ятирічний період експлуатації (25000 годин)

Найменування несправностей та відмов	Кількість відмов	Відсоток відмов	Параметр потоку відмов, %
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Паливна апаратура			
1. Закоксування, засмічення та знос отворів сопел форсунок	46	35,9	16,3
2. Зависання голок та тріщини в соплах форсунок	12	9,4	4,3
3. Знос плунжерних пар та порушення положення плунжера щодо втулки палвиного насосу	7	5,5	2,6
Загальна кількість	65	50,8	23,0
Деталі циліндропоршневої групи			
4. Поломка поршневих кілець	14	10,9	5,0
5. Підвищений знос втулки циліндра	7	5,5	2,5
6. Прогорання випускних клапанів	7	5,5	2,5
7. Пригорання поршневих кілець	6	4,7	2,1
8. Тріщини в днищі кришки циліндра	3	2,3	1,1
9. Тріщини в головках поршнів	2	1,6	0,71
10. Тріщини в анкерних зв'язках	2	1,6	0,7
Загальна кількість	41	32,0	14,5

Закінчення таблиці 1

I	2	3	4
Система наддува			
11. Критичне забруднення повітряного фільтра та робочих поверхонь	12	9,4	4,3
12. Обрив лопаток турбіни	2	1,6	0,7
Загальна кількість	14	10,9	5,0
Підшипники колінчатого валу			
13. Підвищений знос вкладишів підшипника	5	3,9	1,8
14. Виплавлення антифрикційного металу	3	2,3	1,1
Загальна кількість	8	6,3	2,8
Сума всіх відмов	128		

З табл. 1 побудовано номограму потоку відмов (рис. 1).

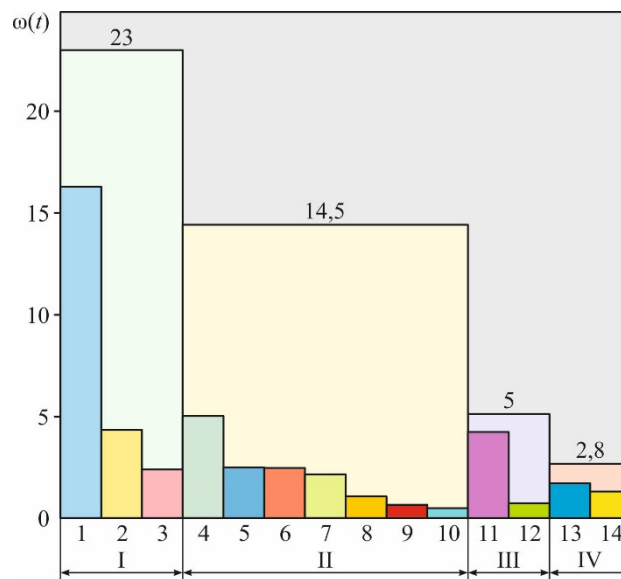


Рисунок 1 – Номограма потоку відмов суднового дизеля 6R32BC фірми Wartsila (позиції 1...14 відповідають найменуванням у таблиці 1): I – відмови паливної апаратури; II – відмови деталей циліндрової групи; III – відмови системи наддуву; IV – відмови підшипників колінчатого валу

Висновки. За результатами досліджень визначимо наступне.

1. Як основний показник, що відображає надійність та здатність до подальшої експлуатації ДВЗ доцільно розглядати параметр потоку відмов його основних елементів.

2. Під час переходу до системи ТО «за станом» треба враховувати, що при цьому можливо порушення послідовності контролю технічного стану ДВЗ та системи контролю відмов. З метою збереження подальшої експлуатаційної надійності ДВЗ, у межах встановленого терміну експлуатації, система ТО, згідно з планом - графіків повинна бути не тільки збережена, а й скоригована у бік посилення, за тими агрегатами та системами, відмова яких призводить до відмови пропульсивної установки або до небезпечних збитків, виражених у наступних суттєвих витратах на проведення непланового ТО або ремонту.

3. З метою визначення та проведення завчасних дій, що дозволяють заздалегідь визначити потенційно небезпечні ситуації та таким чином запобігти виникненню аварій, доцільно використовувати метод формалізованої оцінки безпеки. При цьому можна оцінити величину ризику, провести оцінку витрат і вигод, пов'язаних із застосуванням можливих варіантів управління ризиками і на підставі систематизованого аналізу прийняти обґрунтовані рішення щодо зниження величини ризику.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дакі О.А., Штрибець В.В., Трофименко А.О., Ліганенко В.В., Тришин В.В. Методи підвищення функціональних показників судових двигунів внутрішнього згоряння // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2022. – № 1. – С. 295-299. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/45>
2. Бондарь С.А. Корректировка технического обслуживания судовых дизельных установок с остаточным ресурсом методом анализа риска // Судовые энергетические установки : научно-технический сборник. – 2013. – Вып. 31. – Одеса : ОНМА. – С. 59-68.
3. Шакурн К.С., Бондарь С.А., Аболешкин С.Е. Модернизированный подход к описанию эволюции износа судовых механических систем // Судовые энергетические установки : научно-технический сборник. – 2013. – Вып. 32. – Одеса : ОНМА. – С. 177-184.
4. Любченко В.О. Про проблему використання методу формальної оцінки безпеки у діяльності класифікаційного товариства [Електронний ресурс] // Економіка : реалії часу. Науковий журнал. – 2015. – № 6 (22). – С. 170-174. – Режим доступу до журналу : <http://economics.opu.ua/files/archive/2015/n6.html>
5. Бондарь С.А. Характеристика и последствия неравномерности нагрузки по цилиндрам при изменении системы технического обслуживания двигателя // Судовые энергетические установки : научно-технический сборник. – 2014. – Вып. 34. – Одеса : ОНМА. – С. 65-79.
6. Бондарь С.А. Обеспечение надежности работы судовых дизелей путем корректировки остаточного ресурса работы // Автоматизация судовых технических средств : научно-технический сборник. – 2013. – Вып. 19. – Одеса : ОНМА. – С. 8-15.
7. Горб С.И., Горб А.С. Оценка рисков в техническом менеджменте судов // Автоматизация судовых технических средств : научно-технический сборник. – 2012. – Вып. 18. – Одесса : ОНМА. – С. 13-22.
8. Бондарь С.А. Оценка рисков при эксплуатации судовых среднеоборотных дизелей с остаточным ресурсом // Автоматизация судовых технических средств : научно-технический сборник. – 2014. – Вып. 20. – Одеса : ОНМА. – С. 10-17.

ПЕРЕДБАЧЕННЯ ВПЛИВУ НЕРЕГУЛЯРНОСТІ ПАЛИВОПОДАЧІ НА ПАРАМЕТРИ РОБОТИ ГОЛОВНОГО СУДНОВОГО ДВИГУНА З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА

*Варбанець Р.А., Мінчев Д.С., Псарюк С.П., Братченко П.В., Кучеренко Ю.М.,
Коваленко В.О.*

*Одеський національний морський університет
(Україна)*

Вступ. Використання цифрових двійників є ефективним методом діагностування технічного стану двигунів внутрішнього згоряння. Однією з поширених несправностей, яка істотно впливає на ефективність роботи двигуна, є нерівномірність паливоподачі по циліндрам двигуна та нерегулярність подачі палива форсункою визначеного циліндру. Вплив даного явища на роботу головного суднового двигуна досліджується з використанням сервісу Blitz-PRO, який дозволяє вивчати роботу двигуна як на усталених так і на неусталених режимах роботи. Показано, що навіть відносно незначна нерегулярність подачі пального призводить до суттєвого погіршення умов роботи головного суднового двигуна і має бути усунена.

Надійну роботу суднових дизелів можна забезпечити періодичним контролем і моніторингом технічного стану. Визначення параметрів робочого циклу для кожного циліндра двигуна може допомогти у внесенні необхідних виправлень і налаштувань для забезпечення ефективності роботи двигуна, рівномірного розподілу навантаження на циліндри двигуна, а також для раннього виявлення небезпечних тенденцій у роботі двигуна. еволюція технічних умов. Одним з ефективних методів діагностики є використання цифрового двійника двигуна, який описує з достатньою достовірністю вплив несправностей, що досліджуються на роботу двигуна.

Актуальність досліджень. Використання цифрових двійників відповідає філософії четвертої промислової революції (industry 4.0) і є однією з ключових її технологій. При їх застосуванні для задач діагностики технічного стану суднових двигунів внутрішнього згоряння забезпечується поглиблений аналіз даних моніторингу та діагностики, отриманих за допомогою діагностичного обладнання. Цифрові двійники слугують як для інтерпретації діагностичної інформації, так і для прогнозування впливу можливих несправностей на роботу двигуна. Також вони можуть використовуватися в системах керування двигуна для адаптивного регулювання параметрів паливоподачі та повітропостачання. Отже дослідження можливостей застосування цифрового двійника для вивчення впливу нерегулярності паливоподачі є актуальним.

Постановка задачі. Математичне моделювання робочого циклу двигуна є ефективним підходом, що дозволяє проводити розширений аналіз даних діагностичних вимірювань. За допомогою цього методу можна полегшити ідентифікацію та нормалізацію експериментальних даних, прогнозування наслідків несправності та прийняття рішень.

Онлайн-сервіс моделювання Blitz-PRO надає можливість моделювати як усталені, так і неусталені режими роботи двигуна. В основі моделі використані квазістаціонарні і одновимірні нестационарні систем рівнянь, які описують процеси у відкритих термодинамічних системах, що утворюють загальну термодинамічну систему, представлену двигуном.

Моделювання неусталеної роботи двигуна базується на послідовному (по цикловому) синтезі робочих процесів двигуна. Динаміка судна, силової установки та системи турбонаддуву описується за допомогою наступного набору рівнянь:

$$p_{prop}(1-t) - R_{ship} = m_{ship} \frac{dv_{ship}}{dt}; \quad (1)$$

$$T_b \eta_{train} - T_{prop} = J_{rot} \frac{\pi}{30} \frac{dn}{dt}; \quad (2)$$

$$P_{turb.pulse} - P_{compr} = J_{TC} \left(\frac{\pi}{30} \right)^2 n_{TC} \frac{dn_{TC}}{dt}, \quad (3)$$

де P_{prop} , T_{prop} – упор та момент гребного гвинта; R_{ship} – буксирувальний опір корпусу судна, m_{ship} – водотонажність судна з урахуванням доданої маси води, v_{ship} – швидкість судна, T_b – крутний момент двигуна, J_{rot} – приведений момент інерції двигуна, валопроводу та гребного гвинта з урахуванням доданих мас води, $P_{turb.pulse}$ – потужність турбіни турбокомпресора з урахуванням імпульсності потоку, P_{compr} – потужність компресора турбокомпресора, J_{TC} – момент інерції турбокомпресора, n_{TC} – частота обертання турбокомпресору.

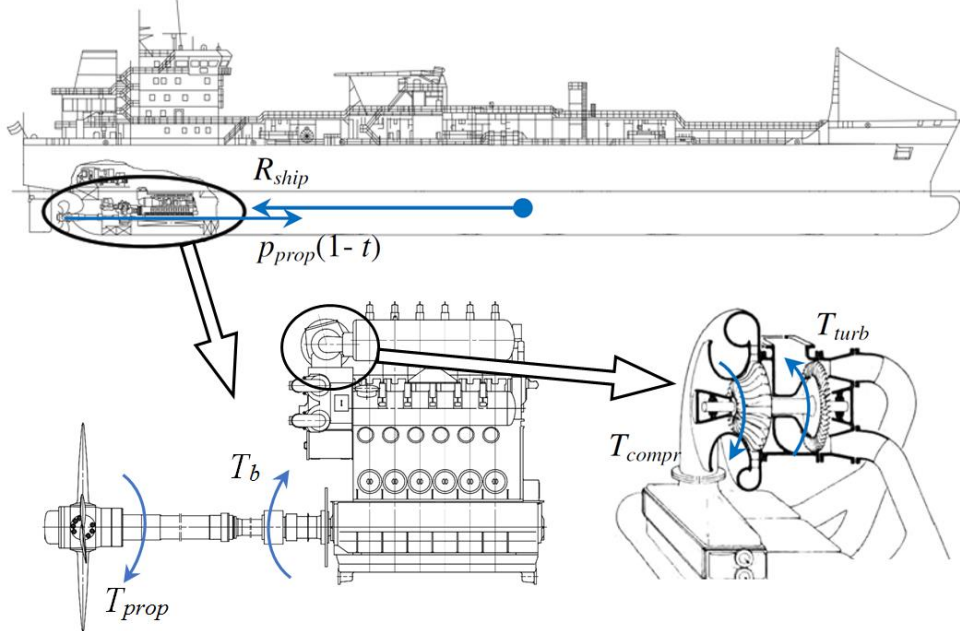


Рисунок 1 – Декомпозиція динамічної системи пропульсивного комплексу судна

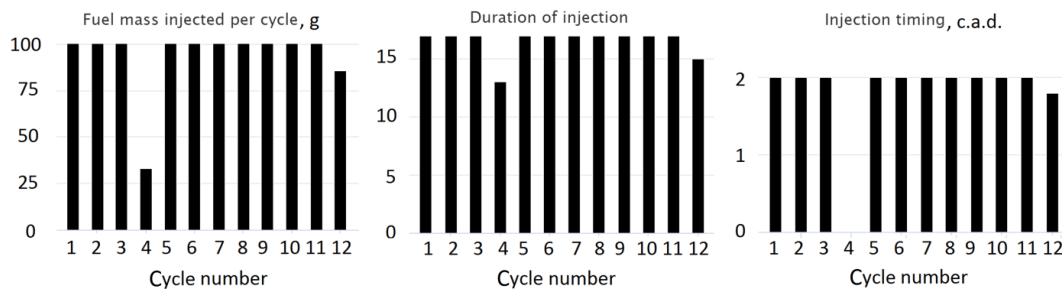


Рисунок 2 – Карти параметрів впорскування пального при нерегулярності паливоподачі

Результати досліджень. Декомпозиція судового пропульсивного комплексу показана на рисунок 1, з якого добре видно взаємодія між його складовими. Для проведення розрахунків були задані характеристики гвинта та закон опору судна.

Робота двигуна на неусталених режимах визначається картами керування двигуном, які включають параметри впорскування палива (випередження впорскування, тривалість упорскування та кількість впорскуваного палива), а також параметри керування турбокомпресором. Карты керування двигуном можуть бути виражені як функція частоти обертання двигуна, навантаження, часу або кількості циклів, залежно від несправності, яка підлягає дослідженню.

У наступному прикладі представлено аналіз можливих впливів нерегулярного впорскування палива на роботу двигуна. На рисунку 2 наведено приклад набору карт

керування уприскуванням палива з нерегулярним уприскуванням палива для дизельного двигуна MAN 5G70ME-C. Цей тип несправності типовий для роботи двигуна з частковим навантаженням, але викликає є небезпечнішим, якщо це відбувається при більших навантаженнях двигуна. Тому розрахунки виконувались для режиму 79% для MCR на якому досліджувався вплив періодичного відхилення параметрів впорскування (зменшення на 33% і 85% від нормальної циклової дози, по одному разу на кожні 12 робочих циклів). Результати розрахунків показані на рисунку 3. Видно, що ефективна потужність і швидкість двигуна падають з 12 740 кВт при 73,6 об/хв до середнього значення 10 309 кВт при 70,9 об/хв, а тиск продувки зменшується з 281 кПа до середнього значення 256 кПа. Слід зазначити, що суттєво зростає нерівномірність швидкості обертання колінчастого валу, наслідком чого буде збільшення рівня вібрацій та амплітуди крутильних коливань в валопроводі.

Зменшення тиску продувки викликає відповідне зниження коефіцієнта надлишку повітря в тих циклах, на яких циклова доза пального відповідає нормальному значенню, та підвищення температури вихлопних газів, що може призвести до перегріву випускного клапана та поршня циліндра при тривалій роботі двигуна.

Циклічні зміни в процесі роботи двигуна також дуже чітко видно на індикаторній діаграмі, рисунок 4.

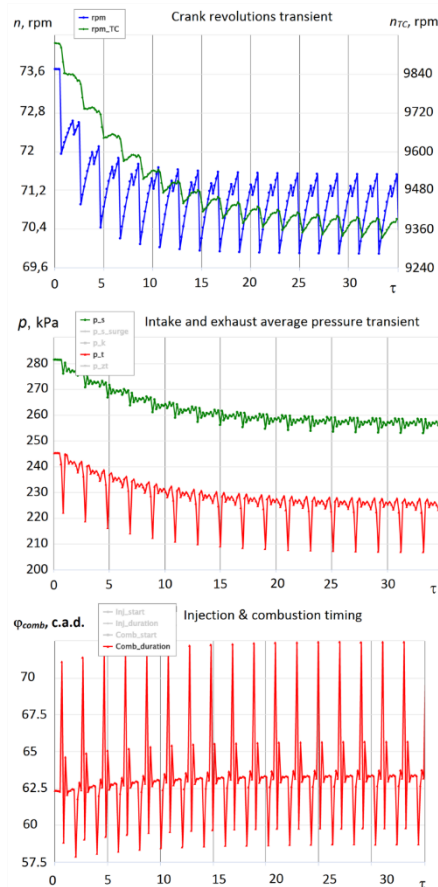


Рисунок 3- Результати розрахунку неусталеної роботи двигуна при нерегулярній паливоподачі

Висновки. Використання цифрового двійнику робочих процесів головних суднових ДВЗ дозволяє ефективно передбачати вплив нерегулярності паливоподачі на роботу двигуна в складі пропульсивного комплексу судна. Показано, що нерегулярна паливоподача призводить до зменшення середньої потужності і частоти обертання двигуна при його роботі за експлуатаційною гвинтовою характеристикою. Більше негативними

наслідками є збільшення ступеня нерівномірності частоти обертання колінчастого валу двигуна, що неминуче призводить до збільшення рівня вібрацій та може мати наслідки у вигляді перевищення допустимих амплітуд коливань в судновому валопроводі. Також суттєвим є зростання теплової напруженості деталей двигуна при його роботі в умовах нерегулярної паливоподачі, ага пояснюється зменшенням тиску продувки, а отже і зниженням коефіцієнту надлишку повітря в циліндрах двигуна при значеннях циклової дози пального, яка відповідає заданій (нормальній) для даного режиму роботи двигуна.

ЛІТЕРАТУРА

1. D. Minchev, R. Varbanets, N. Aleksandrovskaya, and L. Pisintsaly, “Marine diesel engines operating cycle simulation for diagnostics issues”, Acta Polytechnica, vol. 3, no. 61, pp. 428-440, 2021, <http://dx.doi.org/10.14311/AP.2021.61.0435>.
2. Blitz-PRO by D. S. Minchev. User’s manual. [Online]. Available: <http://blitzpro.zeddmalam.com/extra/Tutorial/Help.pdf>. date of access: September, 30, 2022.

ПРО ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК

Воїнов О.П., Самохвалов В.С., Самохвалов І.Є., Самохвалова О.В.

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна)

Вступ. Людство в процесі свого розвитку створило багатогалузеве високорозвинене світове виробництво. Однією з його основних галузей є енергетика. Її особливе становище у виробництві обумовлено тим, що її продукція – теплота та електрика – є необхідними для функціонування всіх галузей виробництва.

Серед елементів обладнання енергетики найбільш поширеними та важливими є котельні установки, що забезпечують вироблення найбільш масового первинного енергоносія – пари та гарячої води, що використовуються в енергетиці та інших галузях виробництва. Ці обставини надають котельним установкам особливо важливого становища серед об'єктів енергетики та загалом серед об'єктів сучасного виробництва. Котельні установки є важливими елементами як у стаціонарних енергетичних установках, зокрема, в морській інфраструктурі, так і на флоті.

У значній частині світового флоту застосовують котельні установки, які виконують найважливішу функцію джерела первинної енергії для руху судна, а також теплофікації його приміщень. Рівень ефективності функціонування суднової котельної установки має вирішальний вплив на рівень ефективності роботи судна.

Актуальність досліджень. Особливістю вітчизняної енергетики, зокрема, суднової, є високий ступінь зносу використовуваного устаткування, у тому числі котельних установок, що призводить до зниження рівня їх технологічної ефективності [1].

Технологічна ефективність котельних установок має три складові: екологічну, економічну та загальнотехнічну. Кожна складова відображає властивості котельної установки зі свого боку та знижується в міру збільшення тривалості її експлуатації.

Фактично виникла проблема підвищення технологічної ефективності зношених діючих котельних установок, як стаціонарних, так і суднових. У цих умовах актуальним є пошук шляхів вирішення зазначеної проблеми [2].

Постановка задачі. Метою дослідження є виявлення та обґрунтування шляхів підвищення технологічної ефективності суднових котельних установок.

Радикальне вирішення проблеми підвищення технологічної ефективності зношених суднових котельних установок полягає в їх повному оновленні, тобто заміні зношених котлів новими. Проте за нинішніх умов це економічно вкрай складно [3].

Тому доступним шляхом підвищення технологічної ефективності діючих зношених котелень є застосування їх часткового оновлення - комплексу (програми) організаційно-технічних заходів, що здійснюються на них, у процесі їх застосування.

Результати досліджень. Часткове оновлення полягає в доступному та мало ресурсомісткому покращенні стану працюючих елементів котлів, умов та режиму їх функціонування та є простим інноваційним засобом підвищення їх технологічної ефективності.

Часткове оновлення котельної установки є комплексом заходів, що доповнюють та розширюють програму її технічного (експлуатаційного та ремонтного) обслуговування, вузько спрямованих на підвищення рівня технологічної ефективності її функціонування [4].

До комплексу заходів програми часткового оновлення входить налагодження режиму роботи елементів котельних установок та системи автоматичного управління ними, нормалізація стану та корекція налаштування вузлів котельно-допоміжного обладнання, з можливістю ремонту або заміни гранично зношених деталей.

У загальному випадку використання зношеного обладнання, можливе часткове оновлення є неминучим, вимушеним, але завжди економічно безумовно доцільним і

виправданим етапом і об'єктом ресурсовкладення.

Розуміючи це, слід програму часткового оновлення робити максимально продуктивною.

Часткове оновлення зношеної котельної установки, незалежно від його обсягу, завжди є доцільним та супроводжується позитивним ефектом у вигляді підвищення рівня технологічної ефективності її функціонування. Зрештою, раціонально проведене часткове оновлення зношеної котельної установки практично завжди є рентабельним [5].

Висновки.

1. Однією з основних галузей виробництва є енергетика.
2. Найпоширенішими елементами устаткування енергетики є котельні установки.
3. Особливістю вітчизняної енергетики є високий рівень зносу котельних установок.
4. Зношені котельні установки мають низьку технологічну ефективність функціонування.
5. Виникла актуальна проблема підвищення технологічної ефективності зношених судових котелень.
6. Радикальне вирішення проблеми полягає у повному оновленні, але воно є економічно вкрай складним.
7. Доступним шляхом підвищення технологічної ефективності є застосування часткового оновлення.
8. Часткове оновлення полягає у покращенні стану працюючих елементів котлів, умов та режиму їх функціонування.
9. Часткове оновлення котельні доповнює та розширює програму її технічного обслуговування.
10. Часткове оновлення завжди є економічно доцільним і рентабельним.

ЛІТЕРАТУРА

1. Басок Б.І., Базєєв Є.Т. Енергетична стратегія в реаліях сучасного світу (огляд) / Теплофізика та теплоенергетика, 2019, Т. 41, № 1, с. 34 – 42.
2. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» – Розпорядження Кабінету Міністрів України № 605-р. від 18 серпня 2017 р. [Електронний ресурс] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>.
3. Воинов А.П., Самохвалов В.С., Коновалов Д.В., Воинова С.А. О возможности повышения эффективности функционирования промышленно-отопительных котлов / Энергетика та електрифікація, 2019, № 12. – С. 8 – 12.
4. Воинов А.П., Коновалов Д.В., Самохвалов В.С., Воинова С.А. О некоторых особенностях управления изношенными техническими объектами / Энергетика та електрифікація, 2019, № 4. – С. 23 – 25.
5. Воинов, О.П., Елькін Ю.Г. Часткове оновлення – інструмент підвищення екологічної ефективності зношених енергетичних об'єктів / Вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут»: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, 2021, № 4(8) – С. 47 – 51.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ДИЗЕЛЯ, СИСТЕМОЮ ОХОЛОДЖЕННЯ MGO ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ SO_x

Врублевський Р. Є.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Вступ. Великі суднові двигуни спалюють тонни палива кожен день, щоб привести в рух великогабаритні судна. Відомо, що в цих двигунах використовується низькосортне рідке паливо для зниження експлуатаційних витрат судна, оскільки вартість палива складає до 30...50 % від загальних експлуатаційних витрат судна.

Екологічні обмеження стали одним з основних інструментів захисту навколишнього середовища. Наймасштабніше і жорстке з них у 2020 р., міститься у вимогах ІМО, зазначених у додатку VI до Міжнародної конвенції по запобіганню забрудненню від морських суден (конвенція MARPOL). Вона регламентує зниження максимально допустимого вмісту сірки в судовому паливі з 3,5 до 0,5 %.

Не завжди можливо використовувати низькосортне паливо, таке як мазут або HFO, у регульованих областях, відомих як ЕСА або зони контролю викидів. У таких випадках одним із найбільш часто використовуваних видів чистого палива є суднове газойль-паливо (MGO) [1].

Суднова система уприскування мазуту може не бути розрахована на використання мазуту з низьким вмістом сірки (низької в'язкості). В'язкість палива, якість згорання і здатність змазувати – ось деякі з експлуатаційних проблем. Компоненти системи уприскування мазуту будуть пошкоджені і вийдуть із ладу. Тому необхідно модифікувати паливні системи на борту. Через більш низьку в'язкість судового газойлю вимоги виробника двигуна до палива можуть не дотримуватися. У більшості судових дизельних двигунів в'язкість палива повинна бути не менше 2,0 сСт. При нормальних температурах в'язкість MGO коливається в межах 1...2 сСт, а це означає, що не можна гарантувати достатнє змащування двигуна. В'язкість можна поліпшити за допомогою добавок, але це відносно дорого. Тому актуальним завданням сьогодення є забезпечити в'язкість і змащуючу здатність MGO вимогам виробників двигунів.

Основна частина. Для рішення задачі виконання екологічних обмежень, розглянемо варіанти їх забезпечення. Є три варіанти виконання екологічних обмежень:

1. Перехід на мазут з низьким вмістом сірки (LFSO/морський газойль/морське дизельне паливо). Безпечне і перевірене рішення, що не вимагає великих інвестицій і доступне у всьому світі. Недоліком цього варіанту є те, що вартість палива продовжує рости.

2. Використання високосірчистого мазуту (HFO) із скруберами. Це рішення не вимагає адаптації паливних баків або переходу на дорожче паливо. Проте установка коштує дорого, а доступність палива обмежена.

3. Модернізація паливної системи під природний газ. Це рішення знижує викиди CO₂, NO_x, SO_x і твердих часток. Проте витрати на переобладнання існуючих суден будуть надмірними, а інфраструктура для бункерування відсутня.

У короткостроковій перспективі перехід на MGO/MDO є єдиною надійною альтернативою на даний момент для суден, працюючих у водах ЕСА.

Процес переробки нафти для видалення сірки впливає на в'язкість і, отже, на мастильні властивості. Використання малов'язкого, погано змащуючого MGO може призвести до ушкодження паливного насоса двигуна, який розрахований на роботу на паливі високої в'язкості (HFO). Щоб забезпечити належні плівкотвірні властивості для захисту частин насоса, що рухаються, від зносу, виробники двигунів радять підтримувати мінімальну в'язкість палива 2 сСт на вході в паливний насос. Для забезпечення

безперебійної роботи при запуску і зупинці двигуна настійно рекомендується рівень в'язкості більше 3 сСт. [2]

MGO – єдине доступне паливо, в якому зміст сірки може бути 0,1 %, тому це єдиний варіант, який відповідає наступним нормам ЕСА. MGO з низьким вмістом сірки має середню в'язкість 3 сСт при 40 °С, тому для підтримки цього рівня в'язкості на вході в паливний насос потрібна система охолодження. Система охолодження потрібна для підтримки цього рівня в'язкості на вході в паливний насос, де температура зазвичай досягає 60...65 °С (рис. 1).

Позначення суднового палива дистилляту згідно ISO 8217 – DMX, DMA, DMZ і DMВ. DMX в основному використовується для спеціальних застосувань наприклад, для аварійних двигунів. DMA і DMZ це – морські дистилляти найвищої якості, що не містять чорних нафтопереробних сировинних матеріалів, тоді як DMВ може містити дуже невелику кількість залишкового палива. DMA зазвичай відповідає MGO, а DMВ – MDO. [3]

Із графіка (рис. 1) видно, що MGO бункерується з в'язкістю 2 сСт при 40 °С. Щоб отримати в'язкість 3 сСт на вході в двигун, MGO необхідно охолодити з температури бака 45 °С до 18 °С.

Рішення просте компактне і надійне, яке пропонується в даній роботі. У системі рідкого палива необхідно встановити блок охолодження MGO, щоб знизити температуру MGO, отже, збільшити в'язкість. Охолоджуюча установка MGO охолоджує до 17 градусів Цельсія, тому в'язкість і змазуюча здатність відповідають вимогам виробників двигунів.

Була розроблена установка охолодження MGO та встановлена в паливну систему танкеру «CABO SAN VICENTE», яку можна побачити на рис. 2.

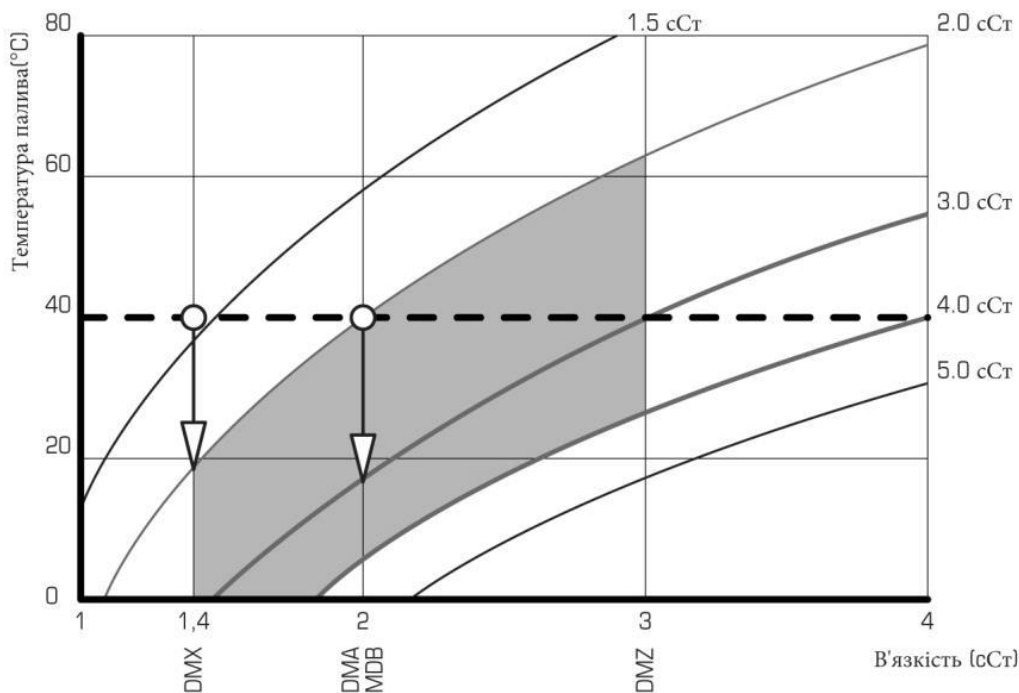


Рисунок 1 – Графік визначення потрібної температури палива для отримання визначеної в'язкості

Установка охолодження MGO складається з двох контурів (рис. 2):

- 1 – контур морської води (елементи – 1, 2, 3, 4, 5);
- 2 – контур прісної води (елементи – 6, 7, 8).

Така схема установки (рис. 2) забезпечує безперебійну роботу при будь-якому навантаженні, точний контроль поверхні і безпечну роботу навіть за наявності витоків.

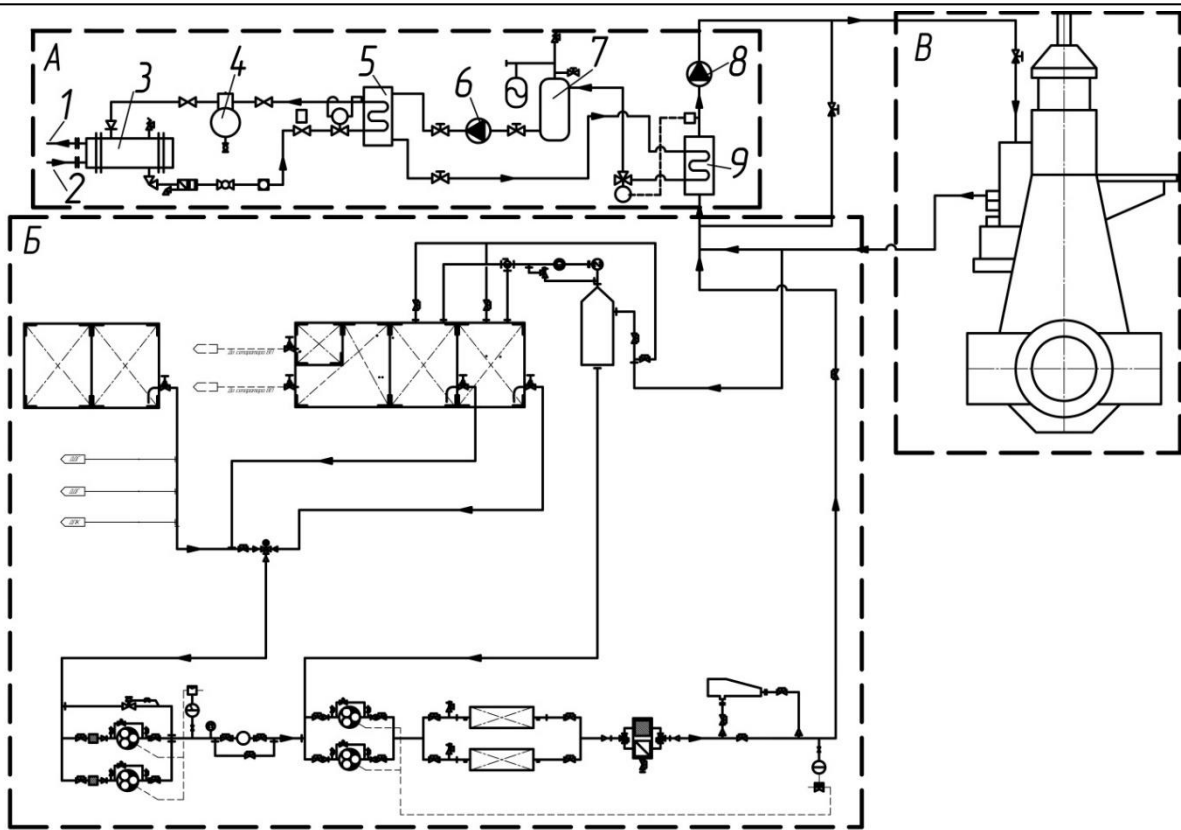


Рисунок 2 – Модернізована паливна система танкеру «CABO SAN VICENTE»: А – устаткування для охолодження MGO; Б – паливна система судна; В – головний двигун; 1 – вихід морської води; 2 – вхід морської води; 3 – конденсатор; 4 – компресор; 5 – випарник; 6 – циркуляційний насос; 7 – буферна ємкість; 8 – пластинчастий охолоджувач MGO; 9 – паливний насос

Параметри установки охолодження MGO:

- максимальна температура MGO в робочому баку: 45 °С;
- температура на виході з охолоджувача MGO: 30 °С;
- температура випару: 5 °С;
- проектна витрата палива розрахована при роботі двигуна на максимальній номінальній потужності;
- максимальне падіння температури на 2 °С/хв (рекомендовано виробниками двигунів, щоб уникнути теплового удару палива);
- в'язкість палива контролюється побічно за допомогою контролю температури.

Датчик температури встановлюється на вході в двигун. Контрольована температура MGO передається на систему управління температурою (СУТ) MGO, яка регулює потужність охолодження установки за допомогою 3-ходового клапана, розташованого в лінії повернення охолодженої води з охолоджувача палива. СУТ використовує пропорційне управління для забезпечення швидкості падіння температури нижче 2 °С/хв до досягнення заданого значення.

Висновок: запропонована схема та компоненти установки охолодження MGO. Розроблена схема модернізації паливної системи танкеру «CABO SAN VICENTE». В якій установка охолодження вмонтована в паливну систему танкера. Ця установка охолодження MGO, дозволяє знизити температуру MGO, отже, збільшити в'язкість. Вона охолоджує MGO до 17 °С, тому його в'язкість та змазуюча здатність будуть відповідати вимогам виробників двигунів. Використання даної модернізації дозволить у короткостроковій перспективі перехід на MGO/MDO – як єдиної надійної та менш затратної альтернативи зараз для танкера, працюючого у водах ECA. Використання

розробленої установки охолодження MGO, дасть можливість перейти на MGO, в якому вміст сірки 0,1 %, без ушкодження паливного насоса двигуна, який розрахований на роботу на паливі високої в'язкості. Тому впровадження цього технічного рішення для існуючої дизельної установки дозволить адаптувати її до нових стандартів MARPOL без значних затрат на модернізацію. Що дасть можливість зекономити кошти судновласника на модернізацію судна для виконання екологічних обмежень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Світові морські перевезення: ключові фактори та тенденції. <http://www.morvesti.ru/analitika/1689/56157/> (Дата звернення 25.04.2023)
2. Легкий та важкий газойль: відмінності та властивості. <https://oilresurs.ru/news/legkiy-i-tyazhelyy-gazoyl-otlichiya-i-svoystva/> (Дата звернення 25.04.2023)
3. Third IMO GHG Study 2014. Executive Summary and Report. – IMO, 2015. – 295 p

ОПТИМІЗАЦІЙНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПАКТНОГО ПОПЕРЕЧНООБТІЧНОГО ПУЧКА ТРУБ МАЛОГО ДІАМЕТРУ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ANSYS Workbench

¹Горобець В.Г., ¹Троханяк В.І., ²Богдан Ю.О.

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України (Україна)

²Херсонська державна морська академія (Україна)

Вступ. Сучасні тенденції розвитку теплоенергетики в умовах існуючої проблеми раціонального та ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів визначаються необхідністю розробки теплотехнічного обладнання з покращеними теплогідравлічними та масогабаритними показниками. Серед широкого загалу існуючих теплообмінних апаратів (ТА) досить затребуваними лишаються кожухотрубні ТА, завдяки своїй відносно високій ефективності та надійності. Кожухотрубні ТА класичного виконання мають пучки гладких циліндричних труб із шаховим або коридорним розташуванням. Слід зазначити, що поверхні такого типу з використанням труб середнього і великого діаметрів призводять до збільшення маси і габаритів ТА в цілому. Одним із відомих шляхів покращення масогабаритних характеристик є застосування оребрення та інтенсифікаторів теплообміну на конвективних поверхнях [1]. Разом із тим, використання оребрених поверхонь і інтенсифікаторів суттєво підвищує гідравлічний опір у трактах теплообмінника та потребує збільшення енергетичних витрат на прокачування теплоносіїв [2, 3]. Перспективним напрямом зниження гідравлічного опору та інтенсифікації теплообміну в кожухотрубних ТА є застосування компактних пучків гладких труб малого діаметру [4].

Використання сучасних можливостей чисельного моделювання процесів гідродинаміки та теплообміну при поперечному обтіканні компактних пучків гладких труб малого діаметру методами кінцевих елементів в поєднанні з методами нелінійної оптимізації дозволяє визначити геометрію пучка підвищеної ефективності.

Метою роботи являється проведення оптимізаційного дослідження компактних поперечнообтічних пучків гладких труб малого діаметру при змінних геометричних параметрах, для отримання пучка труб з підвищеною теплогідравлічною ефективністю.

Постановка задач дослідження. Для досягнення поставленої мети необхідно засобами програмного пакету ANSYS Workbench створити параметризовану геометричну модель компактного пучка труб малого діаметру, виконати комп'ютерне моделювання процесів гідродинаміки та теплообміну (програма ANSYS Fluent), отримати розподіли швидкостей, температур, локальні значення і величину втрат тиску, визначити коефіцієнти тепловіддачі, теплогідравлічну ефективність та провести оптимізацію геометрії (програма ANSYS DesignXplorer).

Матеріали та методи досліджень. Геометрична модель досліджуваного трубного пучка представлена на рис. 1. Дана компоновка відрізняється від традиційної компоновки шахових і коридорних пучків відсутністю зазорів між сусідніми трубками в повздовжніх рядах. За незмінний параметр прийнято діаметр трубки $d = 8$ мм. У якості змінних параметрів оптимізаційних розрахунків прийняті відстань між сусідніми рядами трубок (S), яка змінювалась в діапазоні від 5 до 10 мм, і зміщення трубок перпендикулярно вісі ряду (M), величина якого знаходиться в діапазоні від 1 до 5 мм.

При оптимізації досліджуваних пучків труб методом чисельного моделювання був використаний метод MOGA. Чисельні розрахунки проводились на базі пакету прикладних програм ANSYS Fluent. Процеси гідродинаміки і теплообміну описуються системою рівнянь Нав'є-Стокса і рівнянням енергії. Режим течії турбулентний. При розрахунку турбулентних течій використана k - ϵ модель турбулентності, яка з достатньою точністю описує турбулентні течії в каналах.

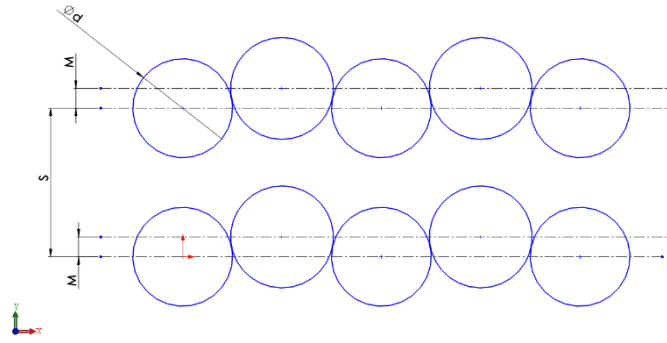


Рисунок – 1 Геометрична модель компактного пучка гладких трубок малого діаметру

Вихідними параметрами чисельного розрахунку вибирались наступні: коефіцієнт тепловіддачі, втрати тиску і теплогідрравлічна ефективність. Останній параметр є відношення кількості теплоти $Q = c_p G \Delta T$, яка передається через поверхню трубного пучка, до величини потужності насоса $N = \Delta p G / \rho$, яка необхідна для прокачування теплоносія

$$E = c_p \rho \Delta T / \Delta p, \quad (1)$$

де c_p – теплоємність теплоносія, Дж/кгК; ρ – густина теплоносія, кг/м³; ΔT – температурний напір на поверхні теплообміну, К; Δp – втрати тиску, Па

При чисельних розрахунках процесів гідродинаміки і теплообміну використовується метод кінцевих елементів. Побудова сітки здійснюється у генераторі сітки ANSYS Meshing на базі платформи Workbench. Планування типу кількості CFD моделей проводилося методом «Латинського дизайну вибірки Гіперкуба» (LHS) з використанням програми ANSYS DesignXplorer. Тип зразка визначає кількість точок, які повинен генерувати алгоритм. Цей варіант застосовується при наявності певних розширених знань про природу моделі. При цьому вдосконалена форма методу вибірки Монте-Карло дозволяє уникнути групування вибірок. У LHS точки генеруються випадковим чином у квадратній сітці через простір проектування, але при цьому дві точки не мають однакових значень. Це означає, що жодна точка не має спільного рядка чи стовпця сітки з іншою точкою.

Для ініціалізації генератора випадкових чисел у LHS встановлено значення 10. Не зважаючи на те, що генерація вихідної точки є випадковою, початкове значення постійно призводить до конкретного LHS. Ця властивість дозволяє генерувати різні вибірки, змінюючи значення, або повторно генерувати ту ж вибірку, зберігаючи при цьому те саме значення. Кількість різних геометрій досліджуваного пучка при чисельних розрахунках, які обумовлені зміною параметрів S і M, встановлювалось рівним 50 (рис. 2).

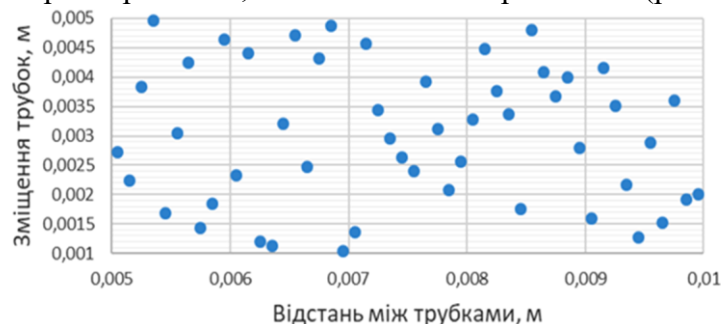


Рисунок – 2 Точки, що характеризують зміну параметрів S і M, для проведення CFD моделювання

При виконанні оптимізаційних розрахунків застосовувався метод MOGA. Цей багатоцільовий генетичний алгоритм, являється одним з ряду алгоритмів, які використовуються в задачах оптимізації для широкого класу прикладних проблем в різних сферах діяльності (економіка, банківська сфера, наукові дослідження, тощо). Алгоритм MOGA добре адаптований до задач оптимізації енергетичного обладнання, де необхідно моделювати процеси гідродинаміки і теплообміну.

Результати досліджень. З отриманого масиву результатів CFD моделювання програма ANSYS DesignXplorer запропонувала найбільш ефективні 4 варіанти геометрії досліджуваного пучка (див. табл. 2). Кількість запропонованих варіантів геометрій встановлюється розробником програми розрахунку автоматично або оператором. Згідно розробленого алгоритму у відібраних варіантах геометрій пучка представлене максимальне значення двох розрахункових параметрів: коефіцієнта тепловіддачі та теплогідралічної ефективності. Також за умовою розрахунків для даних пучків мають бути мінімальні значення перепаду тиску в міжтрубних каналах (Па). Для представлених у табл. 1 результатів оптимізаційних розрахунків проведено аналіз в результаті якого встановлено, що найбільш ефективним варіантом геометрії досліджуваного трубного пучка являється другий (див. Табл. 1, рядок виділений жовтим кольором).

Таблиця 1 – Результати оптимізаційних розрахунків різних варіантів геометрії досліджуваного трубного пучка

D = 8 mm	обмеження	обмеження	Мінімальне		Максимальне		Максимальне	
	0,005 - 0,01	0,001 - 0,005	Перепад тиску, Па		Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м ² К		Тепло гідралічна ефективність	
Ім'я	Відстань між трубками (S), м	Зміщення трубок (M), м	Параметр	Варіація	Параметр	Варіація	Параметр	Варіація
Варіант1	0,0050025	0,00100092	100,967087	192,06%	134,694965	34,67%	106,516998	-65,87%
Варіант2	0,009937333	0,001001986	34,5701419	0,00%	100,019304	0,00%	312,101156	0,00%
Варіант3	0,009380798	0,001000335	38,0618444	10,10%	102,670826	2,65%	283,412907	-9,19%
Варіант4	0,005421226	0,001001782	91,2285853	163,89%	130,389099	30,36%	117,917734	-62,22%

Результати чисельних розрахунків процесів гідродинаміки та теплообміну досліджуваного компактного трубного пучка з геометрією за другим варіантом наведені на рисунках 3-6. На рис. 3 показаний розподіл тиску в каналі трубного пучка. Перепад тиску у різних точках каналу лежить в інтервалі від -47 до 130 Па. Якщо на вході в канал він максимальний, то в областях між трубами спостерігається падіння тиску від 21 до -47 Па.

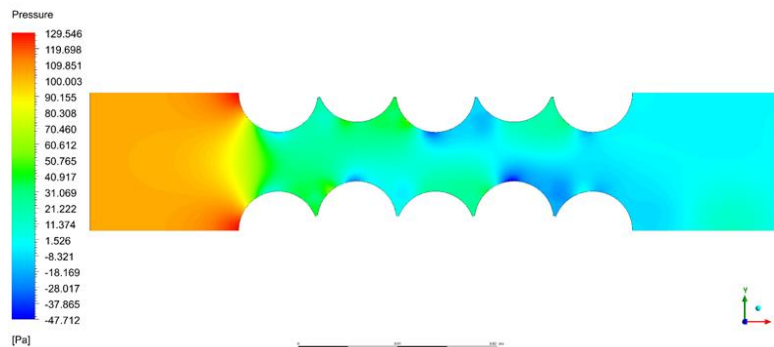


Рисунок – 3 Поле тисків в міжтрубному каналі для другого варіанту геометрії досліджуваного трубного пучка, Па

На рисунках 4 та 5 наведено поле швидкості та лінії току у каналі відповідно. Як видно з рис. 4 в поперечному перерізі каналу в окремих точках значення швидкості досягає 14 м/с. При заданій середній швидкості повітря на вході 5 м/с у верхній точки труби має місце відрив пограничного шару від поверхні обтікання. В місцях дотику сусідніх труб спостерігаються відривні вихрові течії і застійні зони, в яких значення швидкості наближається до нуля. У верхній частині каналу на виході також утворюється відривний вихор.

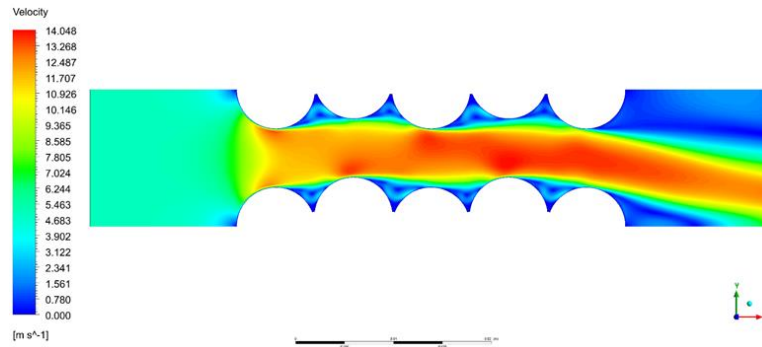


Рисунок – 4 Поле швидкостей в міжтрубному каналі для другого варіанту геометрії досліджуваного трубного пучка, м/с

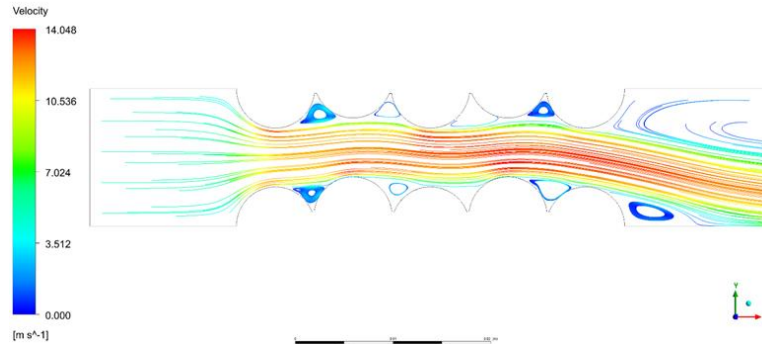


Рисунок – 5 Лінії току в міжтрубному каналі для другого варіанту геометрії досліджуваного трубного пучка, м/с

На рис. 6 показано розподіл температур в міжтрубному каналі для другого варіанту геометрії досліджуваного трубного пучка. Розрахунки показали, що практично у всіх точках каналу спостерігається рівномірне поле температур, значення яких близьке 288,15 К (+15°C). На поверхні третьої труби температура становить 386,6 К (+113,5 °C). Поблизу досліджуваної трубки від її поверхні відбувається відрив пограничного шару.

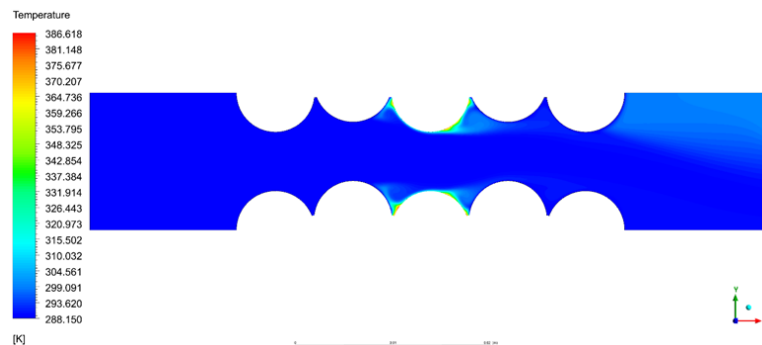


Рисунок – 6 Поле температур в міжтрубному каналі для другого варіанту геометрії досліджуваного трубного пучка, °C.

На рис. 7 представлено діаграму впливу геометричних параметрів досліджуваного трубного пучка – відстані між сусідніми рядами трубок (S) і зміщення трубок перпендикулярно вісі ряду (M) на вихідні розрахункові параметри процесів гідродинаміки та теплообміну – перепад тиску, число Ейлера, коефіцієнта тепловіддачі, число Нуссельта та теплогідрравлічну ефективність. Значний вплив на перепад тиску та числа Ейлера має параметр зміщення трубок (M), величина якого досягає 62 %. Вплив відстані між сусідніми рядами трубок на вищевказані параметри незначний і не перевищує 8 %. В свою чергу на підвищення коефіцієнта тепловіддачі, числа Нуссельта та теплогідрравлічної ефективності більший вплив має відстань між рядами трубок, відповідно 52 %, 65 % і 68 %.

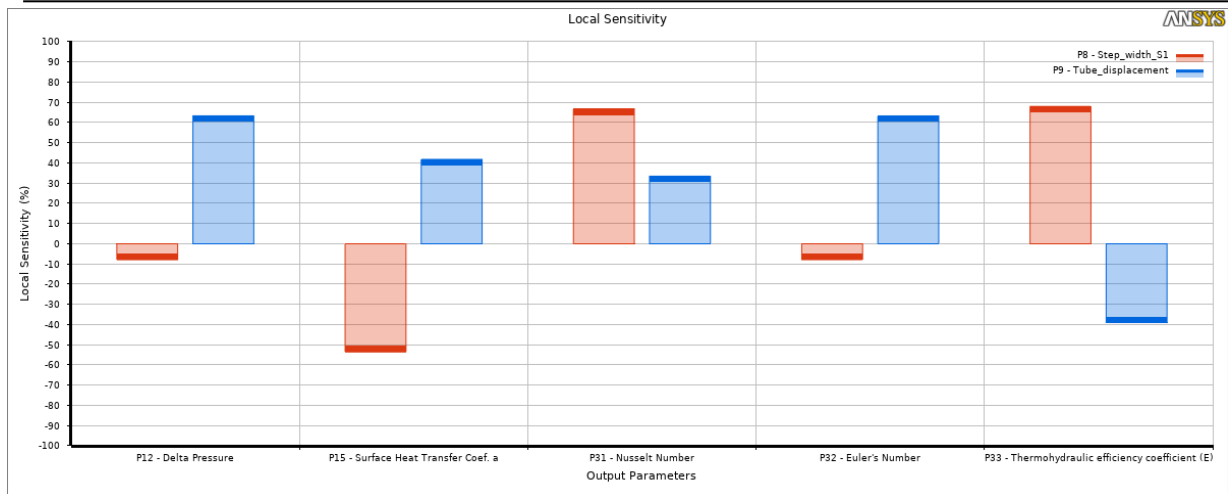


Рисунок – 7 Діаграма впливу геометричних параметрів досліджуваного трубного пучка на вихідні розрахункові параметри процесів гідродинаміки та теплообміну

Результати оптимізаційних розрахунків компактних поперечнообтічних пучків гладких труб малого діаметру дозволяють більш детально досліджувати вплив геометричних параметрів на процеси гідродинаміки та теплообміну, що в ньому протікають. Отримати поверхні відгуку і рівняння регресії цих поверхонь для розрахункових параметрів процесів гідродинаміки та теплообміну, таких як: перепад тиску в каналах, число Ейлера, коефіцієнт тепловіддачі, число Нуссельта та теплогідрравлічна ефективність.

Висновки. Проведено оптимізаційні розрахунки компактних поперечнообтічних пучків гладких труб малого діаметру при змінних геометричних параметрах засобами програмного пакету ANSYS Workbench.

Виконано комп'ютерне моделювання процесів гідродинаміки та теплообміну, отримано розподіли швидкостей, температур, локальні значення і величини втрат тиску, визначені коефіцієнти тепловіддачі, теплогідрравлічну ефективність та виконано аналіз розрахункових параметрів процесів гідродинаміки та теплообміну пучка труб з підвищеною теплогідрравлічною ефективністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bhuiyan, A.A., Islam, Akms, Thermal and hydraulic performance of finned-tube heat exchangers under different flow ranges: A review on modeling and experiment, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 101, 2016, 38-59.
2. Gorobets, V.G., Thermohydraulic efficiency of enhanced and ribbed surfaces, *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 148, 2010, 46-56.
3. Kirpichev, M.V., On the most advantageous form of the heating surface, *Krzhizhanovsky Power Engineering Institute*, 12, 1944, 5-8.
4. Gorobets, V.G., Bohdan, Yu.O., Trokhaniak, V.I., Antypov, I.O., Investigations of heat transfer and hydrodynamics in heat exchangers with compact arrangements of tubes, *Applied Thermal Engineering*, 151, 2019, pp. 46-54.

ТЕОРЕТИЧНО ОГЛЯДОВИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ ВПЛИВУ ТРАНСПОРТУ НА НАВКОЛИШНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Гриценко Н.В, Павлов В.І.

Український державний університет залізничного транспорту (Україна)

Вступ. Транспортно-дорожній комплекс є потужним джерелом забруднення природного довкілля. Із 35 млн.т шкідливих викидів, 89% припадає на викиди автомобільного транспорту та підприємств дорожньо-будівельного комплексу. Істотна роль транспорту забруднення водних об'єктів. Крім того, транспорт є одним з основних джерел шуму в містах і робить значний внесок у теплове забруднення навколишнього середовища. Викиди від автомобільного транспорту, такі як відпрацьовані гази двигунів внутрішнього згоряння, містять понад 200 найменувань шкідливих речовин, у т.ч. канцерогенних. Нафтопродукти, продукти зношування шин і гальмівних колодок, сипучі і вантажі, що пилять, хлориди, що використовуються як анти-обмерзання дорожніх покриттів, забруднюють придорожні смуги і водні об'єкти. Використання транспорту завдає шкоди екологічному середовищу. Однак життя без транспорту, швидше за все, вже неможливе, люди звикли жити «в парі» з транспортними засобами.

Актуальність дослідження. Важко уявити сьогодні людську цивілізацію без участі у ній транспорту. Він став для людства не просто як основний транспортний засіб, а й частиною побуту. Природне прагнення людини до свободи пересування, ускладнення функцій у виробничій діяльності та сфері послуг, нарешті, саме життя у великих містах, міських агломераціях – все це зумовлює зростання індивідуального користування та збільшення обсягу вантажних перевезень. Рівень транспортної системи вже давно став одним із основних показників економічного розвитку країни, якості життя населення. Але, незважаючи на транспортну урбанізацію, досягнення науково-технічного прогресу приносять людям не лише користь, а й шкоду. До шкідливих чинників слід зарахувати: ймовірність дорожньо-транспортних пригод; нещасні випадки; неминучість шкоди від забруднення довкілля викидами відпрацьованих газів; транспортний шум та вібрація.

Постановка задачі. Забруднення повітря погіршує якість довкілля всього населення що мешкає у придорожніх територіях, тому контрольні санітарні та природоохоронні органи обґрунтовано звертають на це першочергову увагу. Однак поширення шкідливих газів має все ж таки короткочасний характер і зі зменшенням або припиненням руху взагалі знижується. Всі види забруднення повітря через порівняно короткий час переходять у безпечніші форми.

Забруднення поверхні землі транспортними та дорожніми викидами накопичується поступово, залежно від кількості проходів транспортних засобів та зберігається дуже довго. Для майбутнього покоління транспортне забруднення ґрунту залишиться важким спадком минулого. Хімічні елементи, що накопичуються в ґрунті, особливо метали, охоче засвоюються рослинами і через них по харчовому ланцюгу переходять в організм тварин і людини. Частина їх розчиняється і виноситься стоковими водами, потрапляє потім у річки, водоймища і вже через питну воду також може опинитися в організмі людини. Виходячи з цього, основним завданням даного дослідження є створення на державному рівні, нормативної бази документів, що стосуються обліку транспортних забруднень ґрунту та водойм на території прилеглої до дороги території, та оцінки складу забруднення ґрунту сільськогосподарських та селищних земель, а також для проектування очищення дорожніх стоків.

Результати дослідження. Досліджень забруднень ґрунту досі виконано небагато: процес викиду та розподілу забруднюючих частинок на поверхні майже також складний, як і в повітрі, а натурні вимірювання з використанням методів мікроаналізу не всім доступні та мають високу вартість. За деякими даними вміст свинцю на поверхні ґрунту

на краю смуги відведення зазвичай становить до 1000 мг/кг, але в пилу міських вулиць з дуже великим рухом може бути в 5 разів більше. Більшість рослин легко переносять підвищений вміст у ґрунті важких металів, лише за вмісту свинцю понад 3000 мг/кг виникає помітне пригнічення. Для тварин небезпека викликає вже 150 мг/кг свинцю у їжі [1,2]. Враховуючи, що до половини свинцевих частинок не випадає відразу на землю, розноситься з аерозолями, викиди свинцю, хоч і в меншій концентрації, можуть відкладатися на великих відстанях від дороги, а контроль за відкладеннями викидів інших металів унаслідок їх не токсичності (залізо, мідь), не встановлено. Реальний розподіл забруднень переважно підтверджує можливість застосування спрощених способів розрахунку, заснованих на статистичній обробці натурних вимірів. Але, через те, що багато факторів, що впливають, не враховуються, об'єктивна точність таких розрахунків невелика і для випадків, коли призначення захисної смуги або будівництво спеціальних захисних споруд пов'язане зі значними витратами; слід було б застосовувати більш надійні методи [3].

Що стосується забруднення водних об'єктів, то воно відбувається через потрапляння транспортних викидів на поверхню землі в басейнах стоку, в підземні води і безпосередньо у відкриті водойми. Ймовірно, скидання неочищених стоків промислових підприємств набагато небезпечніше, але без урахування дорожніх впливів на якість води неможливо забезпечити належну якість довкілля.

Органи санітарного нагляду обґрунтовано вимагають від дорожніх експлуатаційних організацій нормального утримання водойм, що знаходяться у зоні безпосереднього впливу (захисної смуги) шляхів сполучення. З поширених викидів найбільше занепокоєння попадає у воду нафтопродуктів. Перші ознаки у вигляді окремих кольорових плям з'являються при розливі 4 мл/м² (товщина плівки - 0,0040,005 мм). За наявності 10-50 мл/м² плями набувають сріблястого відблиску, а більше 80 мл/м² - яскраві кольорові смуги. Суцільна тьмяна плівка виникає при розливі більше 0,2 л/м², а при 0,5 л/м² - вона набуває темного кольору [4]. За наведеними ознаками можна орієнтовно підрахувати кількість нафти, що потрапила у водойму, наприклад, для визначення шкоди від дорожньої аварії.

Виходячи із цієї проблеми, необхідне створення нових очисних споруд спрощеного типу. Однак, у великих містах, на територіях, що охороняються, буває складно знайти місце для локальних очисних споруд спрощеного типу. Сучасні споруди для очищення стічних вод, які відповідають вимогам ДСТУ 8691:2016 «Стічні води. Настанови щодо встановлення технологічних нормативів відведення дощових стічних вод у водні об'єкти» мають високу вартість, їх робота вимагає постійних витрат енергії та обслуговуючого персоналу. В очисних спорудах використовуються механічні, фізико-хімічні, електрохімічні, біологічні чи комплексні методи. Для очищення зливових дорожніх стоків, що не містять у значній кількості розчинів хімічних речовин, зазвичай застосовують механічні методи, що включають відстоювання і фільтрування. Як правило, їх достатньо для первинного очищення, що забезпечує санітарні показники для виробничих стоків, що підлягають подальшому більш тонкому очищенню або допускаються до скидання в багатоводні водотоки [5].

Поряд із забрудненням повітря та води, шум став не менш поширеним наслідком технічного прогресу та розвитку транспорту. Фізична сутність звуку полягає у збудженому будь-яким джерелом коливанні атмосфери. Вухом реагує на коливальні процеси із частотою від 20 Гц до 20 кГц. За цими межами виникає інфразвук та ультразвук, за певної сили небезпечні для людей [6]. Поєднання чистих тонів створює музику, а безладна суміш звуків різної частоти – шум. Сила звуку - тиск звукових коливань (понад атмосферного), як будь-якої іншої фізичної дії може вимірюватися потужністю. Використовуючи термінологію фізики можна сказати, що дизельний автомобіль з корисною потужністю більше 200 кВт є джерелом акустичного випромінювання потужністю приблизно 10 Вт. Зміна рівня звуку на 5 дБа відповідає

звуковому тиску 0,01 Па. Така зміна досить різко відчувається на дні низьких звуків, менше - для високих. Вплив транспортного шуму на навколишнє середовище, в першу чергу, на місце існування людини, стало проблемою. Близько 40 млн. населення України проживає в умовах шумового дискомфорту, причому половина з них зазнає впливу шуму понад 65 дБа [6].

Головна проблема цієї незручності полягає у відсутності контролю за рівнем шуму на шляхах сполучення. Вимога обмеження шуму відсутня навіть у «Правилах дорожнього руху». Вважається, що у міських умовах 60-80% шуму створює рух транспортних засобів.

Результати дослідження. Виконавши теоретичний оглядовий аналіз основних екологічних проблем впливу транспорту на довкілля, який впливає на якість життя населення, ми побачили серйозну загрозу для майбутнього. Виходячи з цього, необхідно на законодавчому рівні розробити та вжити відповідних заходів щодо нейтралізації даних загроз. Сучасні тенденції науково-технічного прогресу та транспортної урбанізації вимагають від людства конкретних дієвих заходів щодо відновлення довкілля.

Основними засобами очищення ґрунтів від забруднень є:

- видалення верхнього шару ґрунту із забруднених територій;
- промивання ґрунту з розчиненням забруднювачів у рідині, що промиває (вода);
- хімічні методи очищення: процес вилуговування; термічні методи;
- біохімічні способи очищення: застосування бактерій у поєднанні з вентиляцією ґрунту; грибкові технології; використання мулу;
- рекультивация ґрунту.

Важливими заходами щодо очищення водойм є:

- будівництво відстійників горизонтального типу, які мають пристрої для механізованого видалення осаду та бензомаслоуловлювачі для відділення нафтопродуктів, що спливають у процесі відстою;
- створення грязьових пасток, які мають вигляд прямокутних або круглих колодязів;
- удосконалення відстійників для первинного очищення дорожніх стоків у вигляді колодязів, для збирання з поверхні нафтопродуктів, а з дна - твердих опадів;
- полегшені водоочисники для невеликого обсягу зі змінними фільтрами з геотекстилю спеціальних марок.

Основними заходами щодо зниження транспортного шуму є:

- виключення перетинів транспортних потоків, забезпечення рівномірного вільного руху;
- зниження інтенсивності руху, заборона вантажного руху в нічний час;
- видалення транзитних магістралей та доріг з вантажним рухом із житлових зон;
- пристрій шумозахисних споруд та зелених насаджень. Щільна зелена стіна листяних дерев з підростом та чагарником у нижньому ярусі ізолює транспортний коридор, дає додаткову площу озеленення, особливо корисну у міських та промислових зонах. Ще одним рішенням є земляні вали чи виїмки. Їх можна вписати в ландшафт, надати природного вигляду. Можна також використовувати захисні екрани. У країнах Європи використовується прозорий екран, незважаючи на значну висоту, не створює враження замкнутого простору, що негативно впливає на психологічний стан водіїв..

Найголовнішими заходами, які необхідно впровадити, є:

- впровадження жорсткого контролю за дотриманням допустимих норм викидів у повітря.
- встановити контроль за дотриманням екологічних норм при побудові та експлуатації транспортної інфраструктури.

Висновки. Всі перелічені заходи вимагають грошових вкладень, тому їх слід ретельно вивчити і порівняти за витратами, а також виконати відповідну економічну оцінку екологічної шкоди від викидів. Він оцінюється як сума витрат суспільства, пов'язаних із зміною довкілля. Ідея економічної оцінки збитків досить проста, проте

значні труднощі викликає її практичне втілення. Перша стадія оцінки передбачає аналіз обсягів та структури викидів. Потім визначаються концентрації речовин, що забруднюють атмосферу (водойми, ґрунт). При цьому використовується інформація, отримана за допомогою систем екологічного моніторингу, або розрахунок розсіювання шкідливих домішок. Дані про концентрацію шкідливих домішок дозволяють оцінити вплив забруднюючих речовин на довкілля та господарську діяльність людини у натуральних показниках, які згодом виражаються у грошових еквівалентах. Проста в ідеальному плані схема визначення шкоди пов'язана з великими труднощами, коли йдеться про її реалізацію на практиці.

Слід зазначити, що в даний час вживаються певні заходи щодо збереження навколишнього середовища та транспортна система технічно перетворюється. Наприклад, у житті все більше використовуються електроавтомобілі, на залізниці використовуються гібридні локомотиви, що мають електротягу тощо. Однак, це лише мала частка, і потрібно ще багато часу, щоб нові технічні засоби змінили старі транспортні фонди.

Незважаючи на проведення різноманітних заходів, автомобільний транспорт та дорожньо-будівельна техніка продовжують залишатися найбільшим джерелом негативного впливу на навколишнє середовище.

Для ліквідації екологічного безладдя необхідно активізувати діяльність міських та районних комітетів з охорони навколишнього природного середовища, а також служб охорони природи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Присяжний В.І., Міхеєв В.С. Аналіз екологічного стану та напрямків впливу газотурбінних мобільних техногенних об'єктів на стан довкілля / Екологічні науки: науково-практичний журнал. К. ДЕА, 2019. С. 5–10.

2. Екологічний вплив міського транспорту на навколишнє середовище [Електронний ресурс] URL: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=485369> (дата звернення 04.04.2023).

3. Екологія: Транспорт [Електронний ресурс] URL: http://childflora.org.ua/?page_id=32 (дата звернення 04.04.2023).

4. Білявський Г. О., Фурдуй Р. С, Костіков. І. Ю. Основи екології: підручник – 2-ге вид. – К.: Либідь, 2005. — 408 с.

5. ДСТУ (Державний Стандарт України) ДСТУ 8691:2016 Стічні води. Настанови щодо встановлення технологічних нормативів відведення дощових стічних вод у водні об'єкти [Електронний ресурс] URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/8691_2016.pdf (дата звернення 06.04.2023).

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ МОРСЬКОГО ФЛОТУ

Єрмошкін М.Г.

Інститут Військово-Морських Сил Національного університету "Одеська морська академія" (м.Одеса)

Вступ. Протягом багатьох століть, історично склалося, особливо в останні роки ці проблеми стали актуальними на сьогоднішній день.

Технічний прогрес дав сильний поштовх для розвитку морського флоту, як найефективнішого і економічного виду транспорту, і в той же самий час це розвиток спричинив за собою цілий ряд проблем. У ХХ столітті технічний прогрес привів до збільшення чисельності морського флоту, розмірів суден, потужності суднових енергетичних установок і споживання палива. Історично склалося, що суднопластво, з моменту народження парового двигуна, ніколи не було добрим другом навколишнього середовища. З початку ХХ століття, судна транспортного і кораблі військового флотів, перейшли на використання важкого самого брудного палива і відмовилися від вугілля. З тих пір морський торговельний і військові флоти не визначились чіткими правилами своєї діяльності в світовому океані, щодо екологічної безпеки. З огляду на той факт, що торговий флот працює, в основному до 90% часу, у відкритому морі і до недавнього піддавався жорстким вимогам в області охорони навколишнього середовища. Першим міжнародним документом щодо запобігання забрудненню моря нафтою, який був прийнятий в 1954 р. в Лондоні та вступив в дію з 26 липня 1958р. з подальшими поправками, був МАРПОЛ - 73/78.

З цієї причини прапор приналежності судна найчастіше не збігається з країною судновласника і особливо національності членів екіпажу. У зв'язку з цим іноді незрозуміло кому пред'являти претензії. Через те, що більшу частину суден торгового флоту не можна зарахувати до будь-якій державі, з цієї причини морську транспортну галузь не включили в Паризьку хартію 2015 року, що регулює заходи щодо зниження вуглекислого газу в атмосфері. Рішенням проблеми скорочення викидів отруйних речовин займаються багато наукових організацій. Треба враховувати той факт, що в важкому паливі міститься 3,5% сірки. Паливно-енергетичні кризи, які періодично охоплюють багато країн, змусили судновласників для підвищення економічності використовувати залишкові важкі високов'язкі палива, що мають низькі ціни.

Така обстановка робить цивільний флот одним з найбільш "брудних" в світі, так як на його частку припадає 13% всіх викидів в навколишнє середовище. В даний час, коли ООН і захисники навколишнього середовища у всьому світі б'ють на сполох, а ті країни, які підписали Паризьку угоду, не виконують графік своєчасного скорочення викидів, але рух за "чисті" пароплави і теплоходи поступово нарощує вимоги. Протягом останніх трьох років цей рух впливає на галузь, починаючи від конструкції нових проектів суден і робіт зі створення нових типів пального.

Краще пізно, ніж ніколи, - зазначив заступник генерального секретаря Vinco, Ларс Роберт Педерсен. Морська транспортна, промислова галузі почали наводити лад в своїй галузі.

Основна частина. Вже починаючи з січня 2020 року приблизно 60 000 суден цивільного флоту повинні скоротити викиди двоокису (SO₂) і трьохоксику (SO₃) сірки. Залежно від умов і показників роботи дизеля, таких як: коефіцієнт надлишку повітря, значення температур і тисків, деяка частина цих газів перетворюється в сірчисту кислоту (розчин SO₂ в воді) і сірчану кислоту - H₂ SO₄. Використання високосірчистих палив призводить до корозійних пошкоджень вузлів та деталей суднових дизельних установок. У більшості індустриально розвинених країн використання в стаціонарних теплоенергетичних установках високосірчистих палив заборонено відповідно до законів про охорону навколишнього середовища. У деяких районах роботи морських суден, в

яких здійснюється контроль за вмістом сірки і NOx в випускних газах у відповідності з місцевими регіональними і національними вимогами, що викликає необхідність у використанні палива зі зниженим вмістом сірки, було оптимальним рішенням для переходу на малосірчисті сорти палив. На сьогоднішній день, сучасні методи вже стали малоефективними, тому що сполуки сірки є природними компонентами сирової нафти і завжди будуть присутні в важкому паливі в різних співвідношеннях.

В основі важких, залишкових палив і його залишкових фракцій глибокої переробки нафти концентрується сірка та її високомолекулярні сполуки. У зв'язку із зростанням цін на нафту, нафтопереробні підприємства вдосконалюють технологію переробки нафти, в зв'язку з чим кількість залишкових фракцій знижується, а вміст сірки і її сполук в них збільшується.

З цієї причини, чим вище щільність палива, тим більше в ньому вміст сірки (рис. 1).

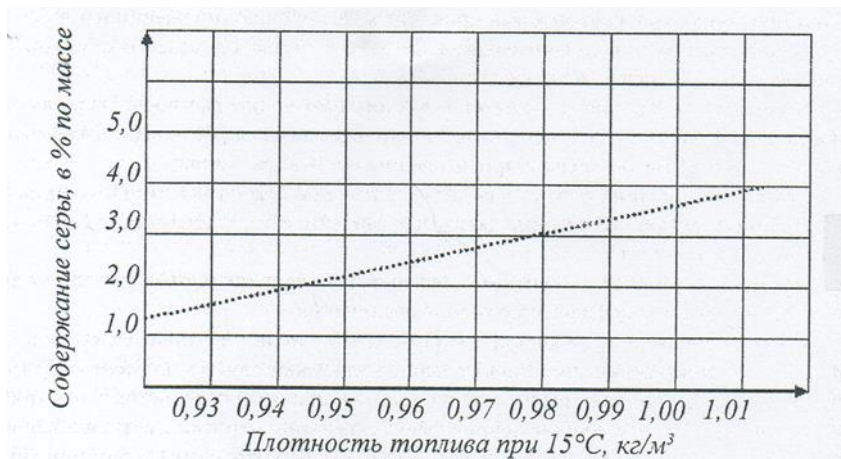


Рисунок 1 – Залежність вмісту сірки в морських сортах важкого палива від їх щільності

Технологія переробки нафти полягає в кипінні нафти і випарів сполук сірки і відбувається при підвищеному вмісту сірки, що значно вище вмісту сірки в бензині, яке може досягати від 0,05 до 0,12%, у закордонних - до 0,15%.

Малов'язкі суднові сорти залишкових палив містять мінімальну кількість сірки, так як вони виробляються за технологією змішування низько киплячих залишкових фракцій переробки нафти з дистилатами. А так як кислоти, в залишкових сортах палива, утворюються при температурах нижче точки роси, в діапазонах температур між 50 °C утворюється сірчана кислота. При впливі кислоти з'являється корозія в низькотемпературних зонах циліндрів двигунів і котлів, яка отримала назву "низькотемпературної корозії".

Так як будь-які корозійні пошкодження робочих поверхонь призводять до порушення згорання палива і супроводжуються наслідками для навколишнього середовища. Для успішної боротьби з корозійними проблемами використовують мастила з високим вмістом лугу, які нейтралізують корозійно-активні сірчані сполуки, що утворюються в процесі згорання. Здатність мастил до нейтралізації корозії характеризується "Спільним лужним числом" (СЛЧ) або в світовій практиці "Total Base Number" - TBN. Чим вище СЛЧ (TBN), тим вище їх здатність до нейтралізації. Негативні наслідки, які виникають в процесі спалювання високосірчаних палив, можна звести до мінімуму за умови підтримки відповідних теплових режимів під час роботи дизелів та застосуванням мастил які містять оптимальну кількість лужних присадок.

У процесі згорання, не менш важливим буде співвідношення кількості ванадію та сірки, що містяться в залишковому паливі. У процесі згорання палива утворюється п'ятиокис ванадію (V₂O₅) яка діє як каталізатор і сприятиме створенню SO₃ (с

подальшим переходом в H_2SO_4), в результаті чого буде відбуватися збільшення температури точки роси.

Під час вибору мастила і підбору дози під час роботи двигуна треба виходити із значення його СЛЧ (TBN) і кількості сірки яка знаходиться в паливі, а також виконувати рекомендації заводу-виготовлювача дизеля. Треба врахувати той факт, що велика кількість миючих присадок в мастилі, (якщо вони не витрачаються при малому вмісті сірки в паливі), основу яких складає кальцій (Ca), акумулюються у вигляді твердих відкладень на голівках поршнів і канавках поршневих кілець. Такі відкладення призводять до зіскоблювання масляної плівки із дзеркала втулки, що призводить до контакту металу кілець з металом втулки і “залягання” поршневих кілець в канавках. В результаті цього підвищується інтенсивність зносів і пошкоджень ЦПГ дизелів через сухе тертя.

Виробники двигунів і виробники мастил рекомендують:

1. зниження витрати циліндрового мастила в разі високих значень TBN в мастилі і низьких значеннях сірки в паливі;
2. збільшення витрат циліндрового мастила при низьких значеннях TBN в мастилі і високих значеннях сірки в паливі.

На малюнку 2 наведені рекомендації фірми MAN-B & W, які показують питому дозу подачі циліндрового мастила в залежності від вмісту сірки в паливі і значення TBN мастила. У світовій практиці основним мастилом є мастило яке має $TBN = 70$ тобто TBN 70.

На підставі прийнятих обмежень щодо вмісту сірки в паливі Міжнародними угодами, Регіональними та Національними Правилами прийнятий ряд обмежень щодо вмісту сірки для суднових (корабельних) палив, що призвело до використання циліндрових мастил, як з низьким, так і з високим вмістом TBN.

В окремих районах, особливо в близькості територіальних вод деяких країн, робота морських суден піддається контролю за вмістом сірки NO_x в випускних газах згідно з місцевими, регіональним і національним вимогам, що вимагає необхідність використання палив зі зниженим вмістом сірки.

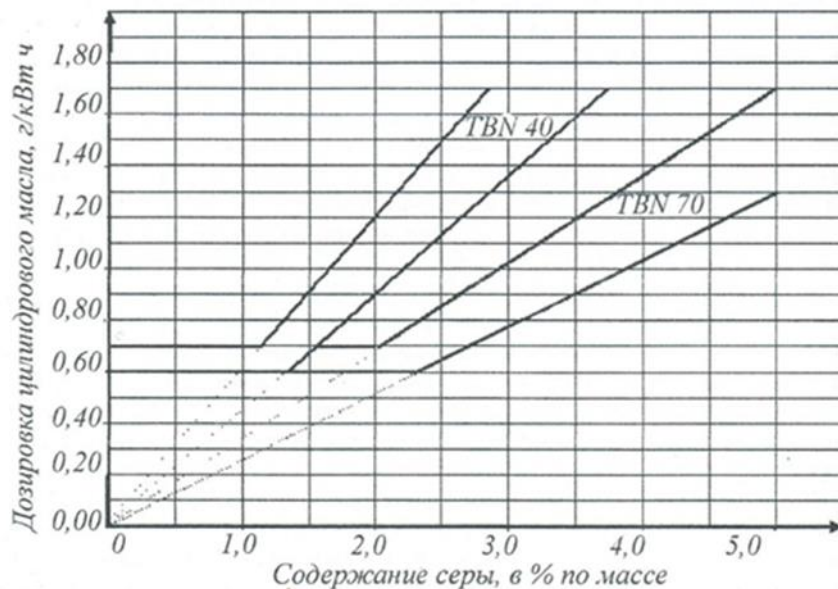


Рисунок 2 – Оптимальна питома доза подачі циліндрового мастила в залежності від вмісту сірки в паливі і СЛЧ (TBN)

У таких випадках фірма MAN-B & W рекомендує підтримувати дозування циліндрових мастил з різним лужним, плаваючим числом (TBN). Всі ці експлуатаційні

складності призводять до зносу деталей двигуна, які труться та забруднюють навколишнє середовище.

Одним із серйозних шкідливих елементів, що міститься в паливах, є ванадій, особливо високий вміст якого знаходиться в нафті венесуельських родовищ. Проблеми, які створює спільним великим вмістом сірки і ванадію можуть бути усунені в значній мірі в сучасних двигунах вдалої конструкції, більш ефективної обробки палива та виборі оптимального режиму роботи двигуна.

Судновласники очікують збільшення вартості на 25-40% у зв'язку з більш високою собівартістю виробництва палива, а також створення і організації нових точок дистрибуції. Між іншим, середньостатистична вартість бункерування паливом в минулому році склала 440 доларів за метричну тонну.

Судновласники, звичайно ж, висловили стурбованість такими фінансовими витратами. Але ще більше їх лякає ймовірність того, що попит на нове "чисте" паливо перевищить пропозицію, і судна будуть простоювати на якорних стоянках. Крім того, невідомо, чи добре судові двигуни будуть працювати на малосірчастому паливі. Світові оператори навіть звернулися в ІМО с проханням відстрочити свою директиву. Особливо активно виступала Греція, як країна-власник понад 20% світового торгового флоту. Навіть Білий дім висловив стурбованість тим, як сильно вимога про скорочення викидів вплине на ринок нафти і нафтопродуктів, з яких виготовляється суднове паливо.

Таким чином, боротьба за навколишнє середовище диктує все більш жорсткі умови морського бізнесу. Вже на етапі проектування новобудови, корабели вносять в конструкцію корпусу відповідні зміни, а також створюють гібридні силові установки.

Для того, щоб судноплавство масово скоротило обсяг шкідливих викидів, будуть потрібні безпрецедентні інновації, - заявив Сорен Тофт, виконавчий віце-президент Maersk, найбільшого в світі оператора контейнерних перевезень з флотом близько 700 суден. Сучасний пароплав - дуже капіталомісткий актив, і флот з нульовим рівнем викидів, на наш погляд, з'явиться не раніше 2030 року.

Компанія Maersk заявила, що повністю вуглецево-нейтральний флот з'явиться у них до 2050 року. В цей час французька компанія CMA CGM розмістила замовлення на мегасудна, серед яких ті, що працюють на LNG.

Що стосується вантажовідправників, деякі з них вже скаржаться на те, що до цього часу невідомо, як вимоги ІМО позначаться на умовах фрахту. Їх стурбованість поділяє і Джорджі Еспін, представник Європейської ради вантажовідправників, що представляє 75000 вантажовласників в країнах ЄС. Він зазначив, що через витрати на модернізацію флоту тарифи вже почали підвищуватися, але весь процес ціноутворення позбавлений будь-якої прозорості.

Велика частина дебатів йде про те, як оптимальніше дотриматись вимог ІМО про скорочення викидів та зосереджена навколо Скраббер - пристроїв для очищення вихлопних газів судна. Деякі судновласники вже укомплектували свій флот Скраббер-пристроями, які дозволять і далі закуповувати важке суднове паливо.

Ці пристрої коштують від 3 до 10 мільйонів доларів. Вартість недешева, але перевізники вважають, що вона окупиться приблизно за два роки. Однак не все так однозначно. Критики Скраббер-пристроїв стверджують, що пристрій лише маскує викиди оксидів сірки як безпечні для довкілля.

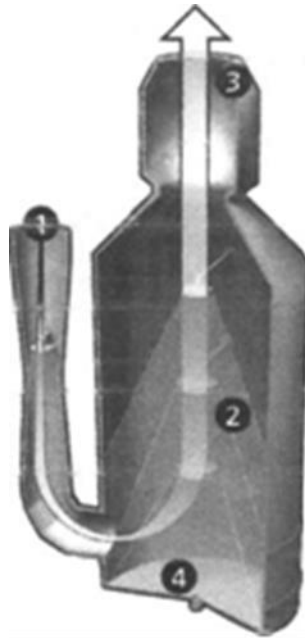


Рисунок 3 – Принцип роботи Скраббера. 1. Вихлопи з двигуна потрапляють в скраббер. 2. Морська вода або вода з підвищеною лужністю закачується в скраббер. Вона розчиняє оксиди сірки і видаляє інші шкідливі викиди. 3. Відпрацьовані вихлопи викидаються в повітря. 4. Відпрацьована вода стікає з дна скраббера і викидається в море, в залежності від конструкції пристрою.

Зараз щосили дискутують про Скраббер-пристрої, хоча потрібно зазначити, що близько 90% світового флоту віддає перевагу паливу з низьким вмістом сірки, - прокоментував Рольф Хабба Янсен, виконавчий директор Harang-Lloyd (Німеччина), яка планує встановити Скраббер-пристрої тільки на 10 з 227 своїх суден.

Висновки. Покроковий план зі скорочення викидів сірки - це довгоочікуваний крок в більш екологічне майбутнє. Тим часом, важка промисловість також погодилася скоротити свої викиди парникових газів до 2050 року, що обійдеться їм в набагато більшу суму.

ІСТОРІЯ БУДІВНИЦТВА ЛЕГКИХ КРЕЙСЕРІВ НА КОРАБЕЛЬНІ В М. МИКОЛАЄВІ

Єрмошкін М.Г.

Інститут Військово-Морських Сил Національного університету “Одеська морська академія” (м.Одеса)

Вступ. Досвід, отриманий в процесі проектування крейсерів проектів 26 (26 біс) та будівництва легких крейсерів на суднобудівних заводах періоду 1935-1941 років ім. А. Марті “Ворошилов” і “Молотов” проектів 26 і 26 біс, проекту 68 “Фрунзе” і “Орджоникідзе”, на заводі ім. 61 комунара “Куйбишев” і “Свердлов”, є неоціненним і вивела Радянський Союз до 1941 року в число провідних військово-морських держав, на базі створеної сучасної промисловості на світовому технічному рівні.

Основна частина. Отриманий досвід є корисним як для курсантів, так і фахівців суднобудівної галузі.



Рисунок 1 – Крейсер проекту 26 біс “Молотов” (“Слава”) в Севастопольській бухті.

Створення кораблів класу крейсер, також як і есмінців проекту 7, проводилось у відповідності до програми військово-морського суднобудування на 1933-1938 рр., яка передбачала будівництво серії з восьми легких крейсерів. Розробку цього проекту доручили головному конструктору Анатолію Йосиповичу Маслову, який у 1906-1917 роках брав участь у створенні лінкорів типу “Севастополь” та броненосних крейсерів типу “Ізмаїл”.



Рисунок 2 – Крейсер пр.26 “Ворошилов” повертається на чолі ескадри з Поті до Севастополя 5 листопада 1944 р.

У відповідності до прийнятої військово-морської програми суднобудування в 1935-1941 рр. на суднобудівному заводі ім. О. Марті у м. Миколаєві було побудовано за

проектами ЦКБС – I (ЦКБ-17) два легкі крейсери “Ворошилов” (проект 26, типу “Кіров”) та “Молотов” (проект 26 біс, типу “Максим Горький”).

Основні тактико-технічні дані крейсера "Ворошилов"

- повна водотоннажність - 8800 т, головні розміри – 191×17,56×5,27 м; бронювання: борт, палуба – 50 мм, стінки бойової рубки – 150 мм, дах рубки – 100 мм, бапти знарядь головного калібру – 50-70 мм; 6 водотрубних котлів (105 т пару/год, 25 атм, 325°C); 2 ГТЗА сумарною потужністю 110 000 л. Максимальна швидкість 36,7 вуз.

Озброєння:

- знаряддя калібру 180 мм у трьох тригартатних вежах, дальність стрільби до 37 км, боєкомплект – по 150 пострілів на ствол; 6 універсальних знарядь Б-34 калібру 100 мм, дальність стрільби – 20 км, висота ураження – 10 км, боєкомплект на ствол - 336 набоїв;

- 6 напіваавтоматів калібру 45 мм, дальність стрілянини – 9,4 км, висота ураження – 6 км, боєкомплект на ствол – 490 набоїв;

- 6 кулеметів “ДК” калібру 12,7 мм;

- 2 тритрубні 533-мм торпедні апарати 39-Ю;

- 20 великих та 30 малих глибинних бомб;

- радіопеленгатор “Градус-К”, гідроакустична установка “Арктур-МУ-П” дальність дії до 12 км;

- 2 поплавкові гідролітаки-розвідники “КОР-1”, що злітали з катапульт К-12 німецької фірми “Хейнкель”. Після посадки на воду літаки підіймалися на корабель кранами. Бензин для літаків приймався до сховищах ємністю 4,8 тонни.

На крейсері “Молотов” (проект 26 біс) порівняно з крейсером “Ворошилов” товщина броньового поясу зросла до 70 мм, збільшено запас котельного палива з 1310 до 1657 т, кількість 45-мм напіваавтоматів збільшилася з 6-ти до 9-ти і зменшилася кількість кулеметів з 6-ти до 4-х. При цьому повна водотоннажність зросла на 1000 тонн і досягла 9792 т.

Будівництво крейсерів велося у відповідності з жорстким графіком, так крейсер “Ворошилов” був закладений на стапелі №1, при цьому слід зазначити, що крейсер “Молотов”, який будувався на тому ж стапелі і був закладений 14.01.1937 тобто на півроку раніше, ніж було спущено “Ворошилов”.

Таблиця 1 – Основні періоди будівництва крейсерів проектів 26 та 26 біс

Назва	Закладка	Спуск	Здавання
“Ворошилов”	15.10.1935	28.06.1937	22.06.1940
“Молотов”	14.01.1937	19.03.1939	14.06.1941

Крейсер “Молотов” заклали на стапелі №4, а коли стапель №1 звільнився, то середню, зібрану частину корпусу приспустили до води, а потім за допомогою 150-тонного плавкрана укрупнені секції переносили на стапель №1. У передвоєнні роки будівництво кораблів ВМФ та торгового флоту велося наростаючими темпами і скрізь, де було можливо, заощаджували час, скорочуючи терміни. На ходових випробуваннях крейсер “Ворошилов” у квітні 1940 р. розвинув максимальну швидкість 36,72 вузла при потужності ГЕУ 122 500 л. с.

Більш важкий крейсер “Молотов” на ходових випробуваннях розвинув максимальну швидкість 36,6 вузла при потужності 133000 л. с. Ще два крейсери проекту 26 біс “Калінін” і “Лазар Каганович” (з 1957 - “Петропавловськ”) були закладені миколаївськими суднобудівниками, на верфі в Комсомольську-на-Амурі в 1938 р. і були здані флоту в 1942. Крейсера, створені за проектами 26 та 26 біс, стали великим досягненням вітчизняного суднобудування. Потужність артилерії головного калібру на той час перевершувала легкі крейсери інших країн.

Для порівняння: дальність стрільби зі зброя 180 мм була вищою, ніж у зброя 203 мм важких крейсерів іноземних флотів. Всі крейсери, збудовані наприкінці 30-х років, з перших днів війни, взяли активну участь у бойових діях. Досвід участі в бойових діях довів що засоби ППО крейсерів малоефективні, що мало місце для більшості кораблів іноземних флотів, країн, що брали участь у Другій Світовій війні, тому на крейсерах 26 та 26 біс проєктів терміново замінила 45 мм напівавтомати на 37 мм автомати. Бойова історія крейсера “Ворошилов” почалася 26 червня 1941 р. з участі в набіговій операції на румунський порт Констанца.

2 серпня 1942 року о 17 год. 38 хв крейсер “Молотов” і лідер “Харков” вийшли з Туапсе, маючи завдання обстріляти німецькі позиції в районі Феодосії, але на переході були виявлені німецькою авіаційною розвідкою.

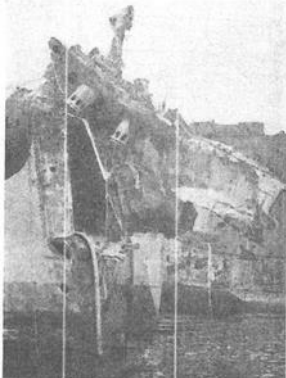
3 серпня 00 год. 09 хв. берегові батареї відкрили вогонь по крейсеру та лідеру, і кораблі були атаковані торпедними катерами та авіацією. О 00 год. 27 хв крейсер був атакований двома торпедоносцями Хе-111 одночасно з двох бортів, але не дивлячись на ухилення вліво, одна торпеда потрапила у правий борт кормової частини корабля на заглибленні 4-х метрів у районі 270 мм та глибина під кілем 200 м.

3 серпня 1942 року під час обстрілу німецьких позицій у районі Феодосії вибухом авіаційної торпеди у крейсера “Молотов” відірвало кормову частину довжиною 20 м. Корма затонула разом із кермовим пристроєм, механізмами та обладнанням. Щоб довести корабель до бази в Поті, екіпаж виявив майстерність і мужність.

3 серпня о 22-й годині крейсер “Молотов” прибув на зовнішній рейд Поті.

Щоб відновити боєздатність корабля, необхідно було виготовити нову кормову частину корпусу та встановити в ній нове обладнання, відцентрувати лінії валів та відремонтувати гребні гвинти.

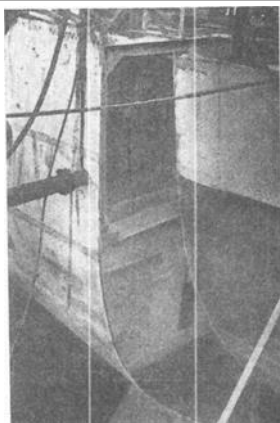
Представником Управління кораблебудування ВМФ, інженер-капітаном 2 рангу О.К. Поповим, який був уповноважений керувати ремонтом крейсера, була висловлена пропозиція про використання корпусних конструкцій та обладнання недобудованих кораблів: кормової частини від корпусу крейсера “Фрунзе” (проєкт 68), балер та перо керма з крейсера “Железняков” з Ленінграда (проєкт 68), а рульова машина з однотипного крейсера з Комсомольська-на-Амурі, датчик керма з підводного човна Л-25.



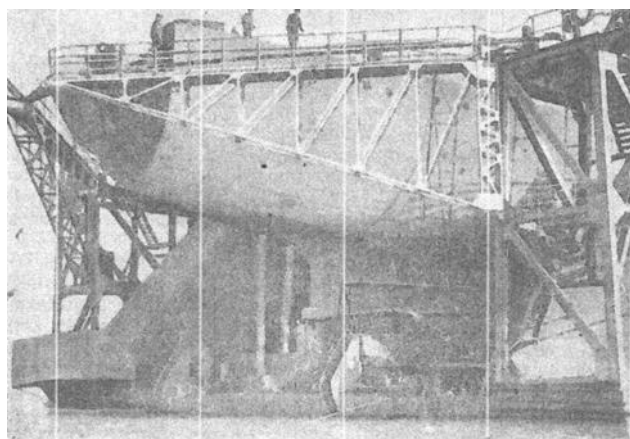
Загальний вигляд пошкодженої частини крейсера



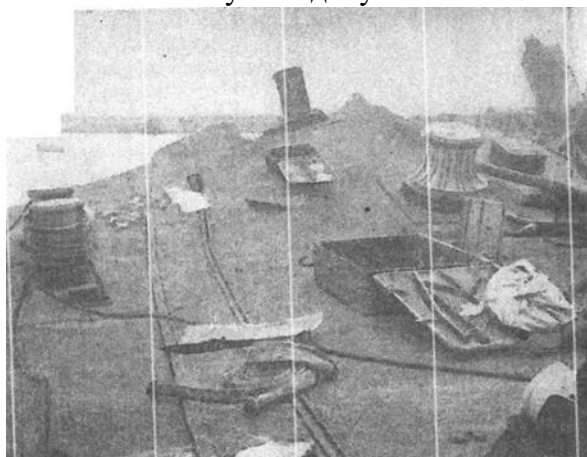
Вигляд на верхню палубу. Лінія з'єднання обох частин по верхній палубі



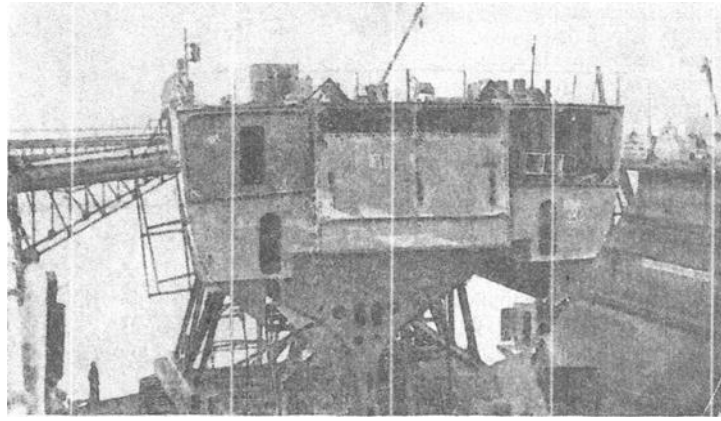
Правий борт крейсера.
Лінія стикування обох частин по борту



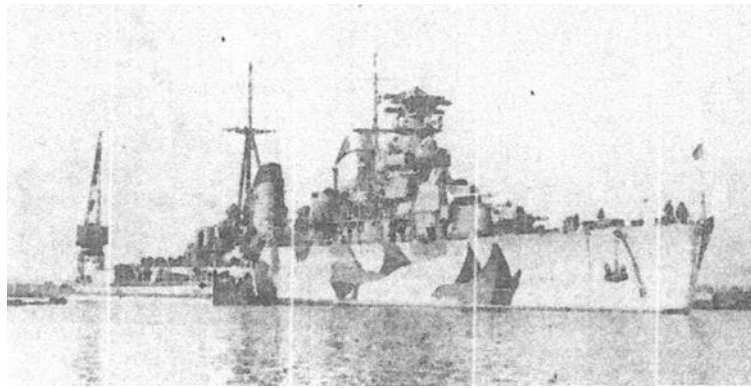
Відрізана кормова частина крейсера "Фрунзе"
у плавдоку



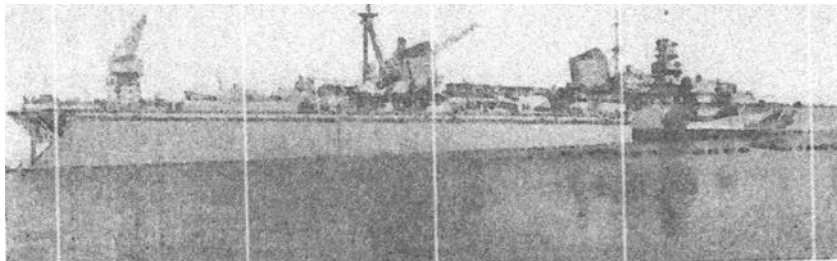
Пошкодження настилу верхньої палуби в кормовій
частині корабля



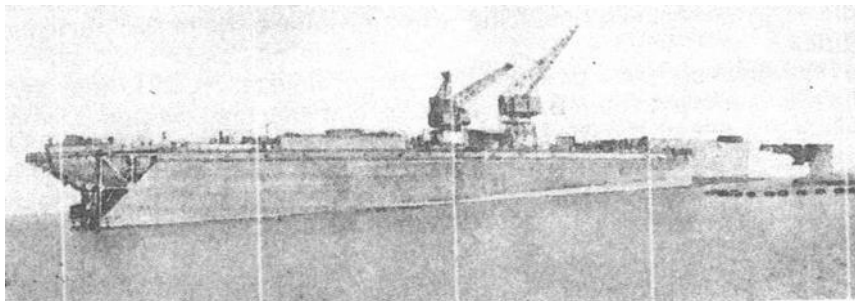
Відрізаний кормовий блок крейсера "Фрунзе"
підготовлений для стикування з корпусом крейсера "Молотов"



Крейсер "Молотов" заведений в плавдок



Крейсер "Молотов" в плавдоці встановлений с дифферентом 3° системи
"док-корабль"



Крейсер "Фрунзе" поставлений у плавучий док для відрізки кормової частини

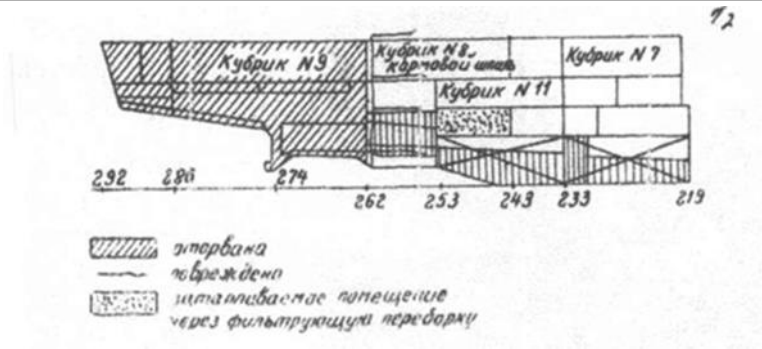
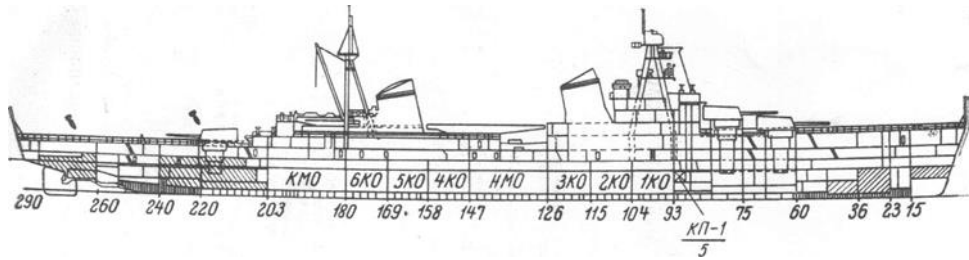


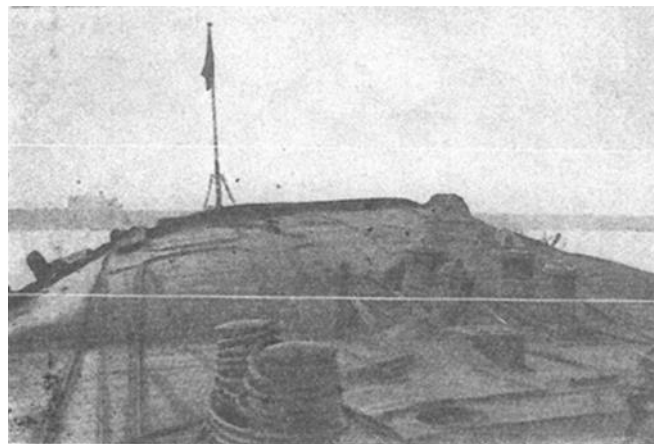
Схема пошкоджень кормової частини крейсера від вибуху торпеди



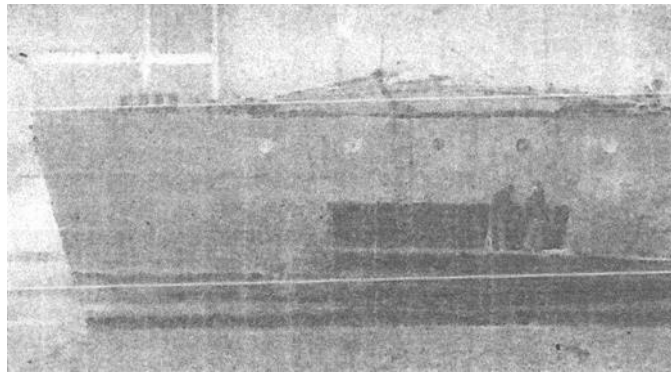
Крейсер "Ворошилів". Поздовжній розріз. Заштрихованими показані відсіки, затоплені внаслідок вибуху та випрямлення корабля



Пробойна у зовнішній обшивці правого борту. Місце виходу бомби за борт 223 шп. (Фото виконано з кесону)



Деформація (здуття) настилу верхньої палуби в районі вибуху бомби



Ремонт зовнішньої обшивки борту накладним листом.
Видно здуття верхньої палуби

2 листопада 1941р. крейсер "Ворошилов" стояв біля елеватора №3 у п. Новоросійська, у тригодинній готовності до походу.

О 09 год. 25 хв. на кораблі була оголошена "Повітряна тривога" і через п'ять хвилин було скоєно авіаційний наліт противника. Внаслідок цього нальоту отримали пошкодження крейсер "Ворошилов", танкери "Валеріан Куйбишев", "Вайан Кутюр'є", транспорт "Чапаєв" та багато інших. У нальоті брали участь 15 бомбардувальників.

О 09 год. 36 хв. з висоти 800 м, три Ю-88 скинули 12 бомб, з яких дві вагою по 250 кг потрапили в корабель. Одна з бомб пробила верхню та нижню палуби та платформу в районі 223 шп. правого борту та вийшла назовні через обшивку борту в районі 220-221 шп. і вибухнула у воді за бортом крейсера нижче за ватерлінію на 4 м утворивши пробоїну 200 мм через яку почалося затоплення відсіку. Друга бомба пройшла через верхню та нижню палубу в районі 273 шп. правого борту і розірвалася у шкіперській коморі. Внаслідок вибуху настил верхньої палуби підняло зі стрілкою прогину 1,8 м. На верхній палубі від борту до борту в районі 275 шп. виникла поперечна тріщина шириною 300 мм. Палуба з правого борту довжиною 14 м. в 11-му кубрику відірвалася. Пошкоджено зовнішню обшивку борту в районі шкіперської комори на рівні ватерлінії. Об 11 годині командир наказав до 19 год. приготувати корабель для переходу в п. Поті.

О 23 годині крейсер був взятий на буксир крейсером "Красний Кавказ". Рух розпочався о 01 год. 00 хв.

3 листопада під час буксирування довелося утримувати на курсі за допомогою ГЕУ швидкості буксирування 3-4 вузли, потім довели її до 7-8 вузлів. У міру осушення приміщень остаточно визначено розміри руйнувань, які від розриву двох авіаційних бомб охопили площу по горизонталі від 218 шп. до 286 шп. близько 40 м. і по вертикалі, від діючої площини вгору заввишки близько 2,5 м. Устаткування, вивезене із Севастопольських заводів та підприємств, вже прибуло до Поті. Керівництво було доручено військовому інженеру 2 рангу Н.А. Грушину представнику КПА УК ВМФ. Ремонт крейсера необхідно було провести в доку, але оскільки дока необхідної вантажопідйомності не було, прийнято рішення виконати ремонт із застосуванням кесона.

14 листопада із Севастополя у док прибув 50-тонний плавучий кран та кесон, який був виготовлений для бойових навчань на крейсері "Красний Крим" у 1940 р. Цей кесон необхідно було підігнати до обводів крейсера "Ворошилов".

20 грудня кесон був готовий і мав розміри 9,6 x 8,14 x 1,02 вага 25 т, обсяг близько 240 м³, шпациї 600 мм, 16 шпангоутів. Кесон 3 м необхідно було встановити на поглибленні 6 метрів за наступною схемою. З лівого борту корабля 40-тонним плавкраном встановлений 80-тонний понтон, притоплений ліг на ґрунт, який після продування мав притиснути нижню частину кесона до борту крейсера. За цією схемою два притискні рядки, які були заведені під киль корабля, проведені через рими понтону і закріплені до понтона.

21 грудня кесон доставили до борту крейсера 50-тонним краном і 22 грудня розпочали його встановлення.

25 грудня установка кесона закінчилася і о 12 год.

26 грудня розпочали відкачування води переносним насосом.

Вже 2 січня 1942 року розпочали ремонтні роботи в кесоні, а 10 лютого кесон був знятий і 14 лютого крейсер пройшов ходові випробування.

Друге бойове пошкодження крейсера "Ворошилов".

30 листопада 1942 року о 17 год. 15 хв. крейсер "Ворошилов" у супроводі лідера "Харьков" та есмінця "Сообразительный" вийшли з Батумі для виконання бойового завдання обстріляти острів Фідонісі, в. Сулина та гавань Бугаз. Перехід групи через віддаленість від своїх баз вимагав певної підготовки. Перехід пройшов з повною скритністю.

1 грудня о 05 год. на кораблях поставили параванохоронці і швидкість з параваном стали тримати 12 вузлів, ГЕУ була підготовлена до збільшення швидкості по-бойовому до 30 вузлів, і особовий склад займав свої місця за бойовим розкладом.

З 07 год. 45 хв. до 08 год. 00 хв. зробили з дистанції 40 кабельтових обстріл острова Фідонісі. Незабаром "Сообразительный" правим параваном підсік міну і о 08 год. 06 хв. під час перетину крейсером "Ворошилов" кільватерного струменя ескадреного міноносця "Сообразительный" у правому паравані, на відстані 10 м від борту стався вибух міни, а за хвилину вибухнула друга міна у лівому паравані. Вибухи сталися в районі 83-93 шп. Вибухи були великою силою і люди не могли втриматися на ногах. Швидкість крейсера зменшилася до 6 вузлів. Після вибухів командир крейсера зрозумів, що вони зайшли на мінне загородження, і вирішив вивести корабель заднім ходом. Але віце-адмірал Л.А. Володимирський, що знаходився на борту крейсера, вважаючи менш ризикованим вихід з мінного загородження повним ходом вперед, так як знижувалася ймовірність вибухів мін у районі корми, особливо небезпечних для корабля наказав дати "Найповніший вперед" і відвернути вліво (08 год. 08 хв.). Після цього маневру крейсер описав циркуляцію, благополучно вийшов із мінного загородження.

2 грудня об 11 год. 52 хв. крейсер прибув до Поті. В базі підводну частину крейсера оглянули водолази та були виявлені ушкодження, які тимчасово були закладені дерев'яними пробками та проконопачені. З огляду на відсутність доку необхідної вантажопідйомності вирішили використати навчальний кесон, який вже застосовували у 1941 році, під час ремонту кормової частини крейсера. Установку кесона проводили силами рятувального загону Потійської ВМБ. Для установки застосували 50-тонний плавучий кран, водолазний бот МК-2 та пмш "Челюскінець". Під час встановлення кесона його підвісили на стропах, які закріпили на верхній палубі корабля за спеціально приварені рими та за вежі. Притискні стропи завели під кілем, і обтягнули за допомогою якорних шпилів лебідками. Переконавшись, після перевірки водолазом у правильності прилягання кесона, його продули та 80-тонний понтон, встановлений із протилежного борту, щільно притиснув кесон до борту крейсера. В першу чергу проводили роботи, які забезпечували герметичність корпусу.

Слід зазначити, що протягом усього періоду ремонту крейсер зберігав свою боєготовність і вже між четвертою та п'ятою перестановкою кесона він виходив на виконання бойових завдань.

З 4 грудня 1942 р. до 31 січня 1943 р. основні роботи були виконані, а після виходу на бойове завдання, 12 лютого 1943 р. роботи, що залишилися, були остаточно завершені під керівництвом кораблебудівельника В. А. Сільченко. Використання для ремонту корпусів кораблів кесона, у разі відсутності доків, було єдиним правильним рішенням у період війни.

Висновки. Усі епізоди боротьби за живучість показали, наскільки важливо вміти орієнтуватися у темряві, у затопленому відсіку. Підготовка легких водолазів на крейсері з-поміж фахівців різного профілю в якості їх другої спеціальності цілком себе виправдала.

Впевнені дії особового складу у темряві у задимлених приміщеннях під час виробництва перемикань, ремонту технічних засобів та боротьби з водою, що надходить, були результатом тренувань на складних "комплексних аварійних навчаннях". Дивізіон руху забезпечив маневрування та перехід корабля на швидкостях від 12 до 30 вузлів. За 67 год. 30 хв. пройдено 1219 миль, із середньою швидкістю 18 вузлів.

"Відмінна підготовка та натренованість особового складу крейсера забезпечила успішну боротьбу за живучість корабля" - було відзначено командувачем флотом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Красиков Б.Я. Из опыта борьбы за живучесть кораблей Черноморского флота в Великой Отечественной войне (июнь 1941 г. – июнь 1942 г.; июль-декабрь 1942г., 1943 г.) ЦВМА, ф. 1087, оп. 028393, дд. 1,2,5,7.

2. Красиков Б.Я. Аварии и боевые повреждения кораблей, исправление повреждений в море и в базе, методы и примеры скоростных ремонтов. ЦВМА, ф. 1087, оп. 017218, д. 99.

3. Красиков Б.Я. Опыт войны (фотоальбомы снимков, иллюстрирующих повреждения и условия борьбы за живучесть кораблей). ЦВМА, ф. 1087, оп. 5, дд. 782, 783, 791-794, 814-841.

4. Донесение Военного совета ЧФ Наркому ВМФ по набеговой операции на п. Феодосия крейсера "Молотов" и лидера "Харьков" 1-3 августа 1942 г. Отд-е ЦВМА, ф. 10, д. 2360.

5. Яровой В.В. – Крейсера - ветераны советского ВМФ. – "Судостроение", № 5, 1985.

6. Яровой В.В. – Крейсера типов "Киров" и "Максим Горький" – "Судостроение", № 7, 1985.

7. Бабич В.В. - Наши авианосцы – "Таврида", Симферополь, 2003.

СУЧАСНІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ КОРАБЛІВ ТА СУДЕН, ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ РОЗВИТКУ

Єрмошкін М.Г., Ігнатенко О.А.

*Інститут Військово-Морських Сил Національного університету
"Одеська морська академія"
(Україна)*

Вступ. Сучасний світовий морський флот характеризується високим ступенем електрифікації. Одна з основних тенденцій розвитку суднової електроенергетики - постійне зростання потужностей суднових електростанцій і потужностей встановленого електрообладнання. Так, середня потужність електротехнічного обладнання морських суден подвоюється кожні 20 років і в даний час досягає вже десятків тисяч кіловат. З ростом потужностей електростанцій ускладнилася їх структура, структура електричних мереж. Удосконалюються системи автоматичного регулювання, управління, захисту і контролю. При цьому незмінно підвищуються вимоги до надійності роботи суднового електротехнічного обладнання.

У зв'язку з цим, на думку авторів, буде цікавим розглянути стан і розвиток суднових електроенергетичних систем (далі – ЕЕС) і деякі особливості їх автоматизації на сучасних кораблях та судах.

Основний матеріал. Враховуючи темпи розвитку світового морського транспортного флоту в найближчі 15-20 років основним напрямком його розвитку є створення різнотипних спеціалізованих кораблів та судів з підвищеною вантажопідйомністю і швидкістю руху. При цьому, основні показники енергоефективності, такі як економічність роботи та збільшення ресурсу технічних засобів, скорочення чисельності обслуговуючого персоналу, забезпечення безпеки мореплавства, а також перехід на більш сучасні, енергозберігаючі та альтернативні джерела енергії, можливо досягти за рахунок застосування сучасних систем автоматизації процесу управління пропульсивним комплексом судна. Не винятком є і розвиток сучасної військово-морської складової світового морського флоту, направленої на побудову сучасних кораблів, в тому числі великої водотоннажності, з використанням концепції модульності та принципів глибокої автоматизації процесів управління. Так, наприклад, сучасні авіаносні кораблі США (типу "Джеральд Р. Форд") будуть мати на 500-900 чоловік менше обслуговуючого персоналу у порівнянні з попередніми авіаносцями (типу "Німіц") при однакових показниках водотоннажності. Це буде досягнуто за рахунок широкого впровадження систем автоматизації та зменшення на 30-50% трудомісткість технічного обслуговування корабельних технічних засобів.

В період з початку 2000-х років спостерігається значний зріст потужності суднових пропульсивних установок, що відповідно викликає необхідність збільшення загальної потужності електроенергетичних систем за рахунок підвищення потужності суднових дизель- або валогенераторів. А це в свою чергу приводить до збільшення потужності електроприводу механізмів головної енергетичної установки, підрулюючих та швартовних пристроїв, електроприводів допоміжних механізмів та систем тощо. В теперішній час вже широко використовуються асинхронні електродвигуни потужністю 2000 кВт і вище (при напрузі від 400 В до 3-5 кВ) в якості електроприводів підрулюючих та швартовних пристроїв. Аналіз розвитку суднової закордонної електропромисловості показує, що на сучасних судах великої водотоннажності потужні ЕЕС з напругою силової мережі до 450 В замінюються системами напругою 3,0-6,0 кВ. Такі конструктивні рішення в першу чергу пов'язані з недостатньою комутаційною спроможністю і електродинамічною стійкістю існуючих автоматичних вимикачів, в наслідок чого потужність паралельної роботи суднових генераторів значно обмежена.

Так в останній час світовий морський флот інтенсивно поповнюється різнотипними цивільними спеціалізованими судами (танкери, контейнеровози, пасажирські судна тощо) та військовими кораблями (авіаносці, транспортні танко десантні кораблі, судна комплексного забезпечення тощо) з напругою силової мережі 3,5-6 кВ. Так **контейнеровози** фірми "Maersk" типу "Triple-E", які оснащені надпотужною силовою мережею, стали першими суднами нової серії великотоннажних суден з високоавтоматизованою системою управління, з найсучаснішими комп'ютерними системами для забезпечення ефективного управління та функціонування, в тому числі і пропульсивною установкою та електроенергетичною системою судна.

В ЕЕС з електрообладнанням підвищеної напруги використовуються потужні (до 3 МВА) трансформатори для живлення силової мережі напругою 380-450В або високовольтних електроприводів потужних допоміжних механізмів та пристроїв.

Крім того, з ростом потужності, що потребується судновими системами, зростають потужності генераторів. Як що на судах минулого століття використовувалися генератори потужністю до 800 кВт, то на сучасних спеціалізованих судах знаходять застосування синхронні генератори потужністю до 3000 кВт. Так, зараз, дуже поширеним різновидом судових генераторів є безщ іткові синхронні генератори. Так, 70% всіх генераторів встановлених на судах японської фірми "Mitsubishi" та південнокорейська фірми "Hyundai Heavy Industries", складають такі генератори з потужністю від 3000 до 5000 кВт при напрузі 4000-3000 В і частоті обертання 500-1800 об/хв. А шведська фірма "ACEA" вже на протязі десяти років використовує в суднобудівництві генератори потужність 8000 кВА.

Поруч з традиційними джерелами судової генерації електроживлення широке застосування мають потужні валогенератори та утилізаційні турбогенератори, а також комбіновані валотурбогенераторні установки. Застосування валогенераторів на судах дозволяє зменшити собівартість електроенергії і знизити експлуатаційні витрати.

Так, на судах з гвинтом фіксованого шагу частіше застосовуються синхронні валогенератори, які працюють із постійною швидкістю обертання, що впливає на вибір режиму роботи пропульсивної установки, але, в той же час, робить такі валогенераторні установки більш дешевшими і конструктивно простішими. Для суден з гвинтом регульованого кроку виявляється більш доцільним використання асинхронізованих синхронних валогенераторів, які мають: високу якість виробленої електроенергії; здатність виробляти як активну так реактивну потужність; можливість автономного режиму роботи та паралельної роботи з ДГ.

Подальший розвиток отримали судові системи з електрорухом, які знайшли використання для великотоннажних криголамів, поромів, кораблів та суден льодового режимів плавання, потужних буксирів тощо. Так, в даний час змінився підхід до використання "електричної силової установки", завдяки розвитку нових технологій стало можливим створення інтегрованої електроенергетичної системи» (OEES), яка значно перевершує по ряду тактико-технічних характеристик сучасні типи судових електроенергетичних установок. Це стало можливим завдяки технології виробництва твердотільних напівпровідників, що застосовуються в силовому електрообладнанні. Це дозволяє значно знизити масагабаритні характеристики електрообладнання. Більш того, нові технології конструкційних матеріалів (ключовими з яких є технології виробництва постійних магнітів з полем підвищеної індуктивності і високотемпературних надпровідників), а також запозичені з електротехніки технології виробництва вдосконаленого 15-фазного асинхронного двигуна (AIM - Advanced Induction Motor), дозволяють значно підвищити питому потужність і ККД установки.

Представником сучасних технологій в військовому суднобудуванні є есмінець ВМС США DDG-1000 «Zumwalt». При довжині в 182,9 метра та повної водотоннажності 14 564 тони має пропульсивний комплекс з електричною силовою установкою в 78 000 кВт, та здатний розвивати максимальну швидкість 33 вузла.

Висновок. Таким чином, проведений аналіз показує, що потужність електроенергетичних систем кораблів та суден перспективної побудови постійно зростає, і системи будуть складатися із потужних електричних машин, трансформаторів, комунікаційної апаратури, розвинутих кабельних мереж, складних систем автоматичного управління, регулювання і контролю. Досягнутий рівень автоматизації сучасних суден дозволяє зменшити чисельність екіпажів, обходитись без постійної вахти в машинному відділенні і центральному посту управління. В цих умовах до суднових ЕЕС висуваються все більш жорсткі вимоги в частині безперебійного постачання споживачів відповідального призначення електроенергією високої якості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мехтиев Г.А., Исмаилов С.С. Особенности применения асинхронизированных синхронных валогенераторов на судах с ВРШ. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2019. – Випуск 1(28). – 202 с. <https://doi.org/10.33298/2226-8553/2019.1.28>.
2. Шинкаренко Д. Розробка перспективних суднових силових установок за кордоном - крок до нового покоління кораблів. Іноземний військовий огляд. Випуск №11, 2010. – 62-70 с.
3. Сергієнко Л. І., Миронов В. В. Електроенергетичні системи суден: Підручник для моряків, школи. — М.: Транспорт, 1991. — 264 с.

ІСТОРІЯ СТВОРЕННЯ ПЕРШОЇ ПОВОЄННОЇ СУДНОБУДІВНОЇ ВЕРФІ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ

Єрмошкін М.Г., Шаров Р.А.

Інститут Військово-Морських Сил Національного університету "Одеська морська академія" (м.Одеса)

Вступ. В ході Другої Світової війни 1939-1945 рр. транспортний флот СРСР брав активну участь і втратив майже половину довоєнної вантажопідйомності. Такий стан морського флоту, як ВМФ, так і Міністерство Морського Флоту вимагало від підприємств суднобудівної галузі промисловості в найкоротший термін заповнити втрачений тоннаж.

Вже незабаром після перемоги над Німеччиною, було прийнято рішення про відновлення довоєнних потужностей суднобудування зруйнованих війною. 18 березня 1946 сесія Верховної Ради СРСР затвердила державний план першої післявоєнної п'ятирічки відновлення і розвитку народного господарства країни, в тому числі і вітчизняного морського торгового суднобудування.

Після обговорень, першим серед нових післявоєнних суднобудівних підприємств, був обраний завод в Херсоні. У січні 1946 року комісія фахівців під керівництвом Ф. І. Кравчика, обстеживши район на 10 км вище і нижче Херсона по Дніпру, намітила два майданчики – перший - в 9 км від міста, на о. Кіндейка, інший - на місці рибальського селища в межах міста, на іншому дніпровському острові - Карантинному.

Відповідно до затвердженого 22 січня того ж року планового завдання на проектування, воно містило вказівки про терміні будови верфі з випуском великих серій транспортних суховантажних і наливних суден вантажопідйомністю до 6 тис. т і постачання механізмів і обладнання, в основному, від інших підприємств галузі а також інших галузей промисловості.

У найкоротші терміни було розроблено проектне завдання, в сучасному розумінні - ескізний проект підприємства в цілому, що дозволяє після детальних розрахунків випустити технічні і робочі проекти окремих об'єктів. У ньому визначалася сумарна вартість будівництва і економічно пояснювався вибір однієї з двох рекомендованих комісією майданчиків. Державні органи Херсона під час обговорення попередніх висновків комісії фахівців звернули увагу що "міський варіант" може не тільки полегшити залучення на будівництво робочої сили, а й стати у пригоді в справі якнайшвидшого відновлення зруйнованого німецькими окупантами Херсона. Проектанти проте визнали за необхідне провести додаткові рекогносцирувальні пошуки в районах обох островів і з метою обґрунтування вибору на стадії розробки проектного завдання - проаналізувати три варіанти будівельних-спускових споруд верфі з закритим утепленим елінгом, прив'язавши кожен до обох конкуруючих будівельних майданчиків.

Основна частина. З багатьох варіантів, в першу чергу увійшли традиційні стапелі для поздовжнього динамічного спуску, які вимагали елінгів і кранів великої висоти і проведення значного об'єму днопоглиблювальних робіт; в другий варіант - сухі доки, які дозволяли б не тільки будувати, але і здійснювати статичний спуск судів з порівняно невеликою осадкою; в третій варіант - поточно-позиційна схема з горизонтальними стапельними місцями і спусковою гідротехнічною спорудою нового типу. Кошторисні вартості перших двох варіантів (традиційних) виявилися набагато вище, ніж у третього (комплекс будівельних-спускових споруд зі стапелями - в два, а з доками - в півтора рази дорожче). Тому від стапелів і сухих доків вирішили відмовитися.

З цієї причини основні положення першої проектної будівлі формулювалися приблизно наступним чином:

- розрахункова програма - суховантажні або наливні морські судна вантажопідйомністю до 6 тис. т, що випускаються крупними серіями;

- підприємство отримує вузький профіль суднобудівної верфі, тому заготівельні і механічні виробництва орієнтуються на самозабезпечення серійними корпусними конструкціями, а також нестандартними вузлами пристроїв, необхідного обладнання і арматури;

- корпуси суден зварні, з секцій масою до 50 т, для чого необхідний складально-зварювальний цех;

- формування корпусів проводиться в горизонтальному положенні в закритому утепленому приміщенні;

- роботи доцільно здійснювати на спеціально обладнаних позиціях, в зв'язку, з чим необхідно забезпечити можливість переміщення не тільки відсіків, але і всього корпусу в зборі з однієї позиції на іншу;

- динамічний спуск на воду готового корпусу виключається.

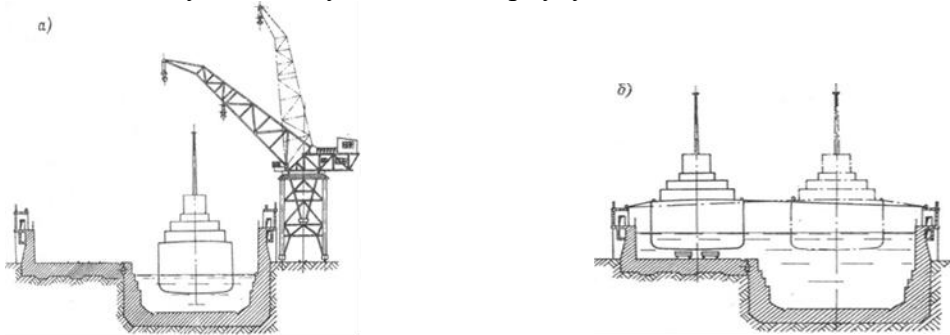


Рисунок 1 – Введення і підйом судна на рівень стапельних місць і сліпа заводу «Севморпуть-1»: а - введення в нижню камеру; б - підйом і установка над верхнім ступенем НДК

І вже 15 квітня 1947 року Міністерство затвердило проектне засідання. В порядку вибіркового контролю проект Херсонського заводу розглянула і затвердила Рада науково-технічної експертизи Держплану СРСР. Видатний радянський суднобудівник академік Ю. А. Шиманський (1893-1962) на одному із засідань НТО суднобудування висловився про проект вельми доброзичливо і вирішили будувати верф в межах міста Херсон.

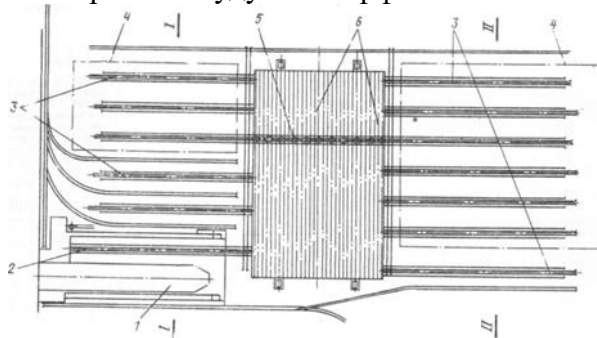


Рисунок 2 – Вигляд в плані комплексу основних споруд (сліпа) заводу "Севморпуть-1"

1 - нижня щабель НДК; 2 - судновозні шляхи її верхньої ступені; 3 - судновозні шляхи горизонтальних стапельних місць; 4 - контури утеплених елінгів; 5 - трансбордер; 6 - заглиблений майданчик зі шляхами, по яких повинен пересуватись трансбордер, що несе розрахункове судно.

Для зведення величезного комплексу складних споруд був встановлений жорсткий п'ятирічний термін. Тому проектування здійснювалось паралельно з будівництвом: майже по кожному з основних цехів і споруд новобудови проектувальники розробляли і технічний, і робочий проекти.

Проектувальники в цій роботі орієнтувалися на рівень, досягнутий світовим суднобудуванням за роки війни. У проекті враховувалися також особливості серійного виробництва, освоєного в суміжних галузях радянської промисловості. Для цього

вирішили в основу проекту Херсонської верфі покласти детально опрацьовані ще в 1940-1941 рр. на замовлення Головного управління Північного морського шляху схеми засобів переміщення побудованих суден в горизонтальній площині, статичного “спуску” і підйому з води транспортів льодового плавання вантажопідйомністю 5 тис. т, які були невід’ємною частиною нездійсненого проекту заводу з робочою назвою “Севморпуть-1”, що призначався для забезпечення ремонту і будівництва суден в умовах Крайньої Півночі.

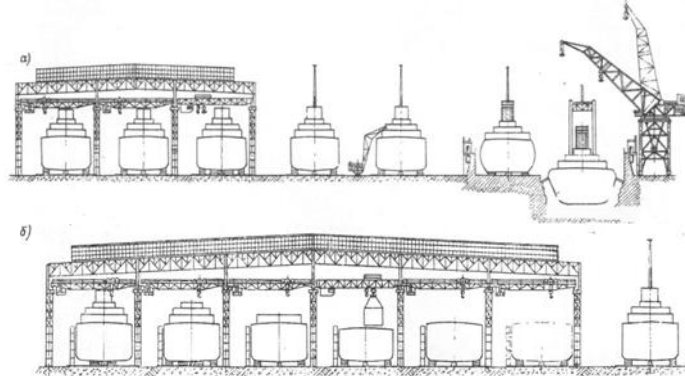


Рисунок 3 – Поперечні перерізи комплексу основних споруд: а-за I-I з краном; б-по II-II

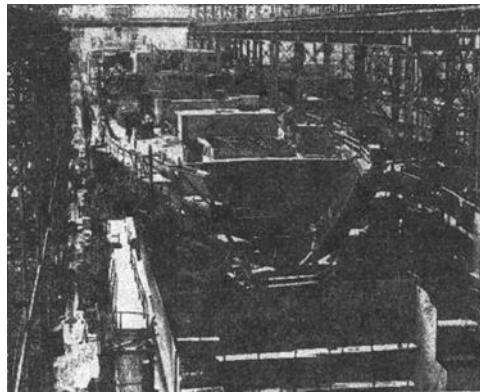


Рисунок 4 – Збирання суднового корпусу на першій позиції складально-монтажної лінії Херсонської верфі

Таку ідейну основу, схваленого у квітні 1941 р задуму, становило поєднання горизонтальної частини сліпа з двоступінчастим наливним сухим доком, яке ніде раніше не застосовувалося. Нижню сходинку цієї незвичайної гідротехнічної споруди, названої розробниками “наливна док-камера” (НДК), передбачалося відокремлювати від акваторії двостулковими воротами двосторонньої дії, а верхню, від території, - відкотними воротами. Внутрішній напор в такому закритому басейні створюється водою, що заливається в НДК до верхнього горизонту, але величини напорів, які закладаються в розрахунки різних воріт на міцність, вираховуються по-різному. При порівнянні ширині обох воріт висота зовнішніх, що спираються на поріг нижньої ступені, набагато більше, ніж у відкотних, що доходять тільки до площини верхньої ступені. Але двостулкові ворота, крім того, повинні витримувати, як і в звичайному сухому доці, натиск з боку акваторії. Правда, абсолютне значення цього напору значно менше розрахункового по НДК, але необхідність враховувати і його змусила застосувати на нижніх воротах спеціальні опорні пристрої. Тоді було прийнято рішення, щоб нижній щабель в НДК проекту “Севморпуть-1” призначався, як і в сухих доках, для ремонту великих, за тодішньою термінологією “лінійних” криголамів, а верхня - для докування криголамів менших розмірів, але головним її призначенням було забезпечення посадки розрахункових суден масою до 4 тис. т на візки і перекочування їх на трансбордер з метою подальшого переміщення для ремонту на відкриті горизонтальні стапельні місця або -

після демонтажу щогл, труб та інших висотних елементів, які повинні були проектуватися знімними - в утеплені елінги.

Такий проект як “Севморпуть-1”, крім того, дозволяв переміщати судна (відремонтовані або новозбудовані на спеціально зарезервованих під суднобудування в цих елінгах майданчиках) по взаємно перпендикулярним напрямкам в НДК, а звідти, з використанням сил гідростатичної підтримки, в акваторію.



Рисунок 5 – Головний суховантаж типу “Ленінський Комсомол” на другій позиції тієї ж лінії



Рисунок 6 – Підготовлені до добудови судна перед відкотними воротами

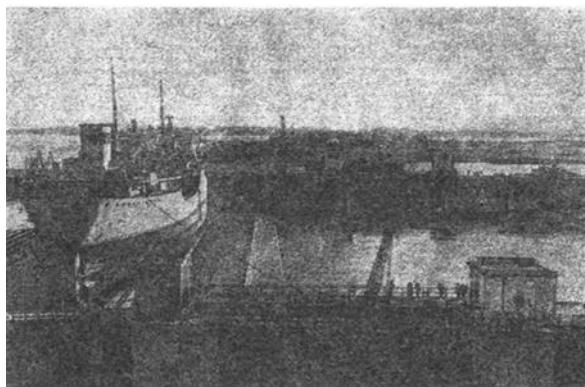


Рисунок 7 – Танкер “Херсон” на верхній вид з НДК щаблі док-камери

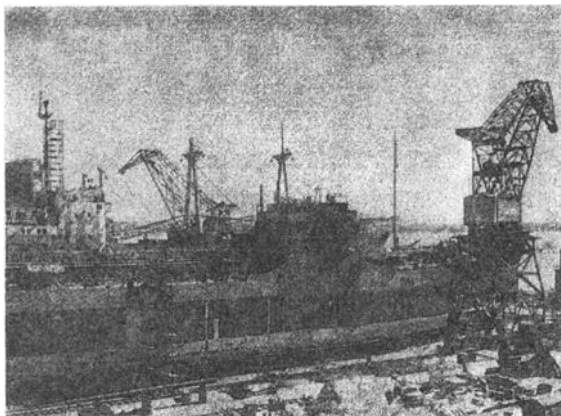


Рисунок 8 – Другі технологічні позиції обох “ниток” зайняті суднами, які будуються

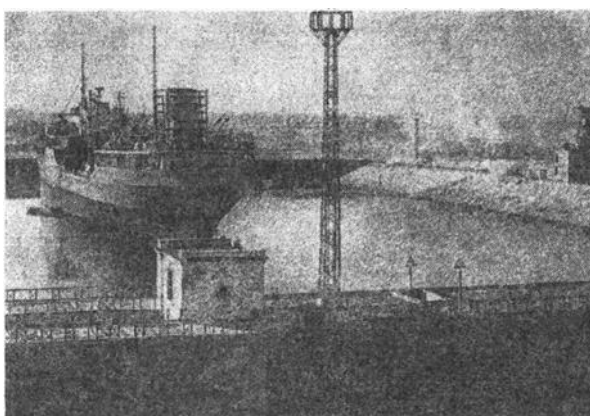


Рисунок 9 – Пересування лагом спущеного з верхньої щаблі судна проти створу вивідних воріт

Таким чином, затверджений перед самою війною проект, який не мав аналогів у світовій практиці суднобудування і судноремонту, відповідав комплексу вимог, що впливали з складного профілю підприємства та його географічного положення. Проект розроблявся колективом; відзначимо лише деяких - технолога Аглаю Павлівну Калуст'ян, гідротехніка Миколу Миколайовича Курносова і головного інженера проекту “Севморпуть-1” Гліба Анатолійовича Вахарловського, який в тій же посаді керував проектуванням Херсонського суднобудівельного заводу в 1946-1947 рр.

Цікаво, що новим завданням, вирішеним в проекті ХСЗ, стало створення перших в світі поточно-позиційних ліній побудови середньотонажних морських транспортних суден.

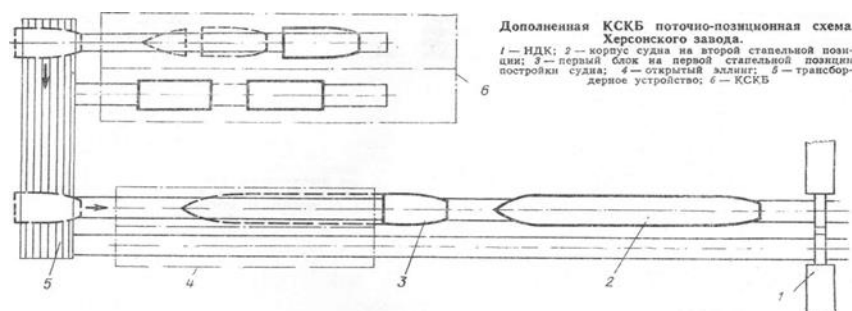


Рисунок 10 – Доповнена КЗКБ поточно-позиційна схема Херсонського суднобудівельного заводу: 1 – НДК; 2 – корпус судна на другій сталевій позиції; 3 – перший блок на першій сталевій позиції побудови судна; 4 – відкритий елінг; трансбордерний пристрій; 5 – КЗКБ.

Устаткування першої позиції кожної з двох ліній в закритому утепленому двопрогінному елінгу забезпечувало цілорічну збірку корпусів з площинних та об'ємних секцій вагою до 50 т, а також установку головних судових механізмів.

Другі відкриті горизонтальні стапельні позиції, призначені для монтажних і фарбувальних робіт, обладнувалися порталними кранами вантажопідйомністю 10 т. Третю позицію (на верхньому щаблі док-камери) створювали спочатку тільки для спуску. Для четвертої (заключної) позиції намічали всього одне місце вже за воротами НДК, у добувочій стінки. Тривалість перебування на кожній позиції визначалася сумарною трудомісткістю операцій.

Таким чином, верф отримувала можливість працювати ритмічно протягом цілого року; обсяг робіт на плаву обмежувався випробуваннями суден перед здачею їх замовнику.

Відмова від судноремонту, а також прагнення проектувальників прискорити і здешевити будівництво верфі привели до деяких відступів від прототипу. Так, залізобетонні (в проєкті “Севморпуть-1”) стінки НДК замінили на розпластані земляні дамби з природними кутами відкосів, оскільки збільшення обсягу наливної призми і часу наливу не перетворювала док-камеру суднобудівного підприємства в “вузьке місце”. Від використання нижньої сходинки для докування суден (як в сухому доці) відмовилися, тому верхні і нижні ворота стало можливим розраховувати на одностороннє навантаження. Значну економію часу і коштів отримали за рахунок того, що для переміщення секцій і корпусів на візках - від позиції до позиції залишили один, повздовжній напрям.

Треба зауважити, що В.А. Коротков, з 1947 р до своєї кончини (1963 р) керував на посаді головного інженера розробкою технічних і робочих проєктів, а також Т.В. Сафронову, з 1947 по 1951 рр. директору підприємства, вдалося в процесі розробки технічних проєктів і їх захисту не тільки відстояти, але і поліпшити технічні параметри споруд верфі. Так, майже повна незалежність гідростатичного підйомника (виключаючи судновозні шляхи верхнього ступеня) від маси судна, що спускається дозволила в практиці експлуатації без значної перебудови НДК в кілька разів перевищити 6-тисячний рівень, спочатку заданий для граничного дедвейту судна, що спускається на воду. З міркувань зрозумілої економії, помилково вирішили залишити від закритого утеплення елінгу над першою технологічною позицією тільки опори мостових кранів для проникнення вітру і опадів. Через два десятиліття, новому поколінню проектувальників, в тому числі третього за рахунком головному інженеру проєкту І.І. Рабиновичу, довелося виправляти цей недолік і крім того, вдалося довести, що при використанні схеми поточно-позиційної побудови суден першого післявоєнного підприємства можна випускати продукцію, що значно перевищує розрахункову по вазі і до того ж набагато швидше і дешевше, без спорудження нового підприємства, а лише доповнивши діючий комплекс утепленим корпусом збірки великих блоків (КЗКБ). Таким чином, визнання доцільності цієї ідеї призвело до висновку, що для передачі великих блоків на основі складально-монтажної “нитки” необхідно спорудити трансбордер. Таким чином, народжені ще до війни рішення, закладені в проєкт “Севморпуть-1”, в тому числі утеплений елінг і переміщення відсіків корпусу по взаємно перпендикулярним напрямкам, в кінці кінців виявилися реалізованими, але на якісно новому рівні.

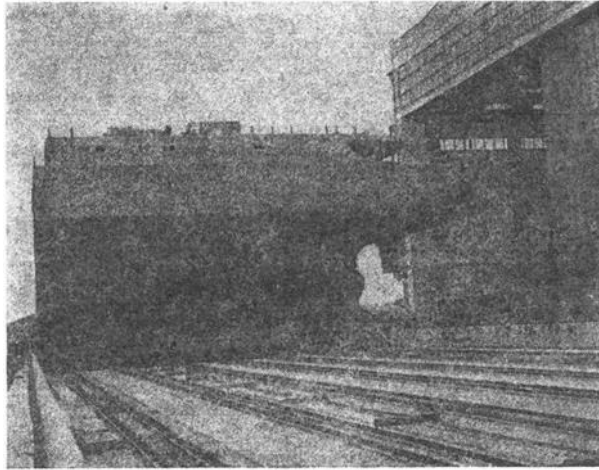


Рисунок 11 – Пересування кормового (першого) блоку на трансбордерному пристрої

Суднобудівники наново “вчилися” проектувати і будувати, так як за період Другої Світової війни були втрачені суднобудівні кадри. Зрештою, за десять років конструкторське бюро і завод досягли інтелектуального і технологічного рівня, який дозволяв здійснювати найскладніші проекти.

15 липня 1951 р новонароджений колектив херсонських корабелів на тимчасовому стапелі заклав першу морську несамохідну баржу вантажопідйомністю 250 т, а менше ніж через рік стапельний цех приступив до збірки на завершальній стадії будівництва поточно-позиційної лінії свого головного танкера типу “Казбек”. 2 грудня 1953 р херсонців вітали з першою здачею замовникові продукції, заради якої створювалося підприємство, - танкера водотоннажністю 16 тис. т, на борту якого красувалася назва їх рідного міста.

У той час на першому післявоєнному підприємстві, яке переживало другу молодість, випускали продукцію не тільки більшу за тоннажем, а й таку що відповідає більш високим сучасним вимогам.

З огляду на тимчасові труднощі, проектувальники свідомо вибрали “грунтовий” варіант спускової споруди, який, вимагаючи для свого здійснення мінімум металу і обладнання (600 т сталі на ворота, 4 насоса і кілька шпилів), дозволив в той же час обійтися без звернення до такої, наприклад, трудомісткої споруди як передавальний док, система якого, в той час ще не мала детальної розробки, а її параметри, на відміну від НДК, визначаються масою судна яке спускається.

Закордонним “однолітком” ХСЗ в ті роки можна вважати верфь фірми “Ансальдо” в Генуї, що почала в 1950 р побудову середньотонажних суден на стапелях, які обслуговують повздовжньою подачею конструкцій кабель-кранами вантажопідйомністю до 5 т. Однак проектні рішення генуезької верфі виявилися неконкурентоспроможними. У 1960 р на місці повздовжніх стапельів побудували 3 сухих дока, оснащених кранами вантажопідйомністю до 40 т. Ідеї, закладені в проект херсонської верфі, витримали успішно випробування часом. На твердження одного з французьких журналів про те, ніби судноспускова споруда (НДК) повторює французький сухий док “Жан Бар”, який вступив в дію в Сен-Назер перед Другою Світовою війною, позбавлене будь-яких підстав. Верхні ворота в стінці цього сен-назерського дока були прорубані лише через кілька років після вступу в дію херсонської док-камери.

Висновок. Таким чином, в найкоротший термін в Херсоні була створена, на той час, одна з передових, на технічному рівні, верфей в світі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Л. Бакаев В. Г. СССР великая морская держава. – Морской флот, 1967, № 10.
2. Закон о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946—1950 гг.
3. Вахарловский Г. А., Кучерявенко П. Ф., Бузик В. Ф. Современные доковые сооружения для крупных и средних морских судов.
4. Le chantier naval sovietique de Kherson. –Navires ports et chantiers. 1973, mai, № 276.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ЯК КЛЮЧОВА ТЕХНОЛОГІЯ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ СУДНОВИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Калініченко Є.В., Мущенко П.В.

*Одеський національний морський університет
(Україна)*

Вступ. В даний час інженери-проектувальники суднових енергетичних систем стикаються з кількома питаннями: Яку топологію системи вибрати? Модернізувати або перепроєктувати енергетичну систему на оригінальній системі? Як вибрати правильну потужність і розмір головного двигуна, акумуляторів і електродвигунів? Все це потрібно вибрати за допомогою ефективних методів, щоб досягти поліпшення продуктивності системи, зниження витрат і енергозбереження. Для вибору енергетичної системи необхідно попередньо визначити тип судна (довжина, ширина, профіль корпусу тощо), передбачувану місію (пасажирське судно, вантажне судно тощо), судноплавне середовище (річка, озеро, море) і еталонні навантаження (частота прискорень і гальмувань, тоннаж, час плавання тощо). Ці дані мають значний вплив на оптимізацію потужності, а також на стратегію управління використанням енергії.

Актуальність дослідження. Енергетичний менеджмент як ключова технологія для координації ефективної роботи всіх джерел енергії на борту суден став об'єктом досліджень. По-перше, ця стаття візуалізує та аналізує літературу в цій галузі за допомогою програмного забезпечення, щоб прояснити тенденцію розвитку систем управління використанням енергії судном. Основні напрямки досліджень в галузі управління використанням енергії узагальнено за ключовими словами та кластеризацією: оптимальний дизайн суднових енергетичних систем, управління судновими електромережами, ефективні стратегії управління використанням енергії та їхня тестова перевірка. Далі детально проаналізовано структуру або класифікацію, фокус досліджень і ключові технології цих чотирьох розділів. Нарешті, узагальнено існуючі проблеми і запропоновано відповідні рішення. Результати показують, що управління енергією на суднах є системною проблемою, яку необхідно всебічно розглядати з різних точок зору, таких як вибір конструкції, передача енергії, управління експлуатацією та оцінка ефективності. Таким чином, контроль якості електроенергії, багатоцільова спільна оптимізація, злиття алгоритмів і перевірка тестів є ключовими для дослідження.

Постановка задачі. Для досягнення цілей зі скорочення споживання енергії та викидів вуглецю на суднах було розроблено і впроваджено велику кількість чистих, екологічно чистих джерел енергії. Через невеликі масштаби застосування вітрової, сонячної енергії та біопалива, а також через те, що більшість з них є непостійними виробниками енергії, виникають певні технічні бар'єри при інтеграції в традиційні енергосистеми [1]. Суднові електромережі можуть працювати в острівному режимі в разі збою в електромережі, забезпечуючи безперебійне електропостачання, не тільки сприяючи застосуванню чистої енергії на суднах, а й підвищуючи надійність і стабільність суднової енергосистеми [2]. Застосування мікромереж та ефективного управління контролем може допомогти підвищити ефективність системи, знизити витрати на інфраструктуру системи та покращити якість електроенергії, що робить його важливим напрямком досліджень в галузі суднового енергоменеджменту [3].

За формою струму в шинах суднової електромережі можна розділити на дві категорії: змінного струму та постійного струму [4]. Мережа змінного струму - це система розподілу електроенергії, в якій розподілені джерела живлення та накопичувачі енергії підключені до шини змінного струму через силові електронні пристрої. Переважна більшість існуючих повністю електричних суден використовують цей тип структури [5], яка має перевагу в тому, що не вимагає від керуючої електроніки використання двигунів

змінного струму без щіток для навантаження, а також легко захищається самостійно під час збоїв через дугу нульової напруги.

Однак системи розподілу електроенергії змінного струму страждають від таких проблем, як реактивна потужність, синхронізація та гармоніки [6]. Щоб забезпечити стабільність енергосистеми, суднові енергосистеми переживають перехід від мереж змінного струму до мереж постійного струму середньої та високої напруги [7].

Результати дослідження. У порівнянні з мікромережами змінного струму, мікромережі постійного струму можуть краще задовольнити попит на високу потужність і гнучкість, що важливо для доступу до відновлюваної розподіленої енергії. Основні переваги мікромереж постійного струму полягають у наступному:

- Синхронізація частоти та управління реактивною потужністю не потрібні, що допомагає підвищити ефективність перетворення енергії та якість електроенергії.
- Пристрої накопичувачів енергії можуть бути легко підключені до шини постійного струму, що знижує витрати і підвищує ефективність. Тому застосування мікромереж постійного струму на суднах знаходиться в центрі уваги сучасних досліджень.

Для забезпечення балансу потужності, надійної роботи та швидкої реакції системи важливо керувати та контролювати мікромережу. Найважливішими методами координаційного контролю є ієрархічний контроль, де загальною схемою є три рівні. Її можна охарактеризувати як управління пристроєм (третинний рівень), управління потужністю (вторинний рівень) та управління енергією (первинний рівень). Управління пристроями фокусується на вихідній напрузі генераторів і накопичувачів енергії та потужності, необхідній для пристроїв навантаження, об'єктом дії зазвичай є силові електронні пристрої перетворення. Метою рівня керування живленням є регулювання команди потужності та підтримання стабільної напруги на шині. Рівень управління енергією спрямований на оптимізацію координації накопичувачів енергії з генераторами для задоволення попиту на навантаження. Для оптимізації зазвичай використовуються обмеження та цільові функції, а оптимізовані результати, такі як напруга, потужність тощо, слугують орієнтиром для нижчих рівнів управління. Цей рівень управління є ключовим для синхронізації управління мікромережею з судновим системою управління використанням енергії.

Висновки. Процес управління мікромережею можна описати так: команди прискорення або уповільнення надсилаються через людино-машинний інтерфейс до рівня управління енергією, який розраховує потребу в потужності навантаження і генерує команди оптимізації з конкретними цілями і обмеженнями, включаючи стани увімкнення/вимкнення генератора і ESS, опорні значення потужності і напруги.

Рівень керування живленням підтримує стабільність напруги на шині на основі опорної напруги та використовує зв'язок для забезпечення розподілу потужності між різними перетворювачами. Контролер на рівні керування пристроями надсилає команди широтно-імпульсної модуляції на перемикачі перетворювачів, які, в свою чергу, реалізують ці команди.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mishra, M., Patnaik, B., Biswal, M., Hasan, S., Bansal, R.C., 2022. A systematic review on DC-microgrid protection and grounding techniques: issues, challenges and future perspective. Appl. Energy 313, 118810. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118810>.
2. Chopra, S., Vanaprasad, G.M., Tinajero, G.D.A., Bazmohammadi, N., Vasquez, J.C., Guerrero, J.M., 2022. Power-flow-based energy management of hierarchically controlled islanded AC microgrids. Int. J. Electr. Power Energy Syst. 141, 108140 <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2022.108140>.
3. Adefarati, T., Bansal, R.C., 2019. Reliability, economic and environmental analysis of a microgrid system in the presence of renewable energy resources. Appl. Energy 236, 1089–1114. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.050>.

4. Sun, Q., Qiu, C., 2020. Hierarchical control of direct current microgrid on ship. *Sci. Technol. Eng.* 20, 10979–10988. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-1815.2020.27.001>.
5. Jin, Zheming, Savaghebi, M., Vasquez, J.C., Meng, Lexuan, Guerrero, J.M., 2016. Maritime DC microgrids - a combination of microgrid technologies and maritime onboard power system for future ships. In: 2016 IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC-ECCE Asia). Presented at the 2016 IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC 2016 - ECCE Asia). IEEE, Hefei, China, pp. 179–184. <https://doi.org/10.1109/IPEMC.2016.7512282>.
6. Nabatirad, M., Razzaghi, R., Bahrani, B., 2023. Autonomous power balance in hybrid AC/DC microgrids. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 146, 108752 <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2022.108752>.
7. Jin, X., Shen, Y., Zhou, Q., 2022. A systematic review of robust control strategies in DC microgrids. *Electr. J., Behind the meter strategies for enhancing the electricity grid resilience, reliability, economics, sustainability, and security* 35, 107125. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2022.107125>.

НАВІГАЦІЙНІ РИЗИКИ У ПОРТАХ ТА МОДЕЛІ ЇХ КОНТРОЛЮ І ЗМЕНШЕННЯ

Калініченко Є.В., Сагайдак О.І.

*Одеський національний морський університет
(Україна)*

Вступ. Сучасний світовий морський транспорт зіткнувся з численними проблемами та викликами, зокрема навігаційними ризиками у портах. За даними Міжнародної морської організації (International Maritime Organization, IMO) (1), більше 80% світової торгівлі здійснюється за допомогою морського транспорту, що робить порти та морські термінали ключовими ланками в логістичних ланцюжках. Навігаційні ризики стають все більш важливими через зростання розмірів та швидкостей суден, навантаження на порти та розвиток технологій (2). В результаті, контроль навігаційних ризиків у портах та розробка моделей їх зменшення є актуальним напрямком досліджень.

Актуальність досліджень. Навігаційні ризики у портах можуть бути класифіковані на природні, технічні, експлуатаційні та організаційні ризики (3). Природні ризики пов'язані зі змінами погодних умов, штормів, мілин, течій та інших природних явищ, що можуть впливати на безпеку навігації (4). Технічні ризики включають збої, несправності чи старіння обладнання, суден та інфраструктури портів (5). Експлуатаційні ризики виникають через неправильне керування суднами, недотримання морських правил, а також неправильне планування та виконання операцій у порту (6). Організаційні ризики пов'язані зі слабкою координацією, недостатньою обізнаністю персоналу з безпекою, а також недоліками в системах управління портами та транспортними компаніями (7). У всіх перерахованих ризиках суттєву роль відіграє людський чинник, що робить дослідження навігаційних ризиків своєчасними та актуальними.

Постановка задачі. Різні моделі контролю навігаційних ризиків у портах пропонуються дослідниками та практиками. Серед них можна виділити такі підходи:

- Підхід заснований на ризику (Risk-based approach) (8) Цей підхід передбачає ідентифікацію, аналіз, оцінку та контроль ризиків на різних етапах навігації. Він сприяє прийняттю рішень на основі ризиків та врахуванню інтересів усіх сторін, включаючи перевізників, порти, власників вантажу та страхові компанії.

- Проактивний підхід (Proactive approach) (9) Проактивний підхід зосереджений на передбаченні та попередженні навігаційних ризиків, замість реагування на вже виниклі проблеми. Він може включати планування операцій, розробку сценаріїв надзвичайних ситуацій, створення імітаційних моделей та впровадження заходів безпеки.

- Підхід заснований на людському елементі (Human element approach) (10) Цей підхід враховує вплив людського елемента на навігаційні ризики та розглядає можливості зменшення цих ризиків через підбір кваліфікованого персоналу, його навчання, підвищення кваліфікації та підвищення культури безпеки.

- Інтегрований підхід (Integrated approach) (11) Інтегрований підхід передбачає комбінацію різних методів контролю навігаційних ризиків, включаючи технічні, організаційні, експлуатаційні та природні аспекти. Він передбачає комплексний підхід до планування, координації та виконання дій з метою зменшення ризиків та підвищення ефективності операцій у портах.

Задача досліджень навігаційних ризиків полягає у вивченні найбільш раціонального підходу до їх аналізу та контролю.

Результати досліджень. Щоб зменшити навігаційні ризики в портах, ми пропонуємо запровадити такі стратегії:

Інформаційна підтримка (12) Забезпечення актуальної та точної інформації про погодні умови, гідрографічні дані, трафік суден та стан інфраструктури портів може допомогти зменшити навігаційні ризики.

Розвиток інфраструктури портів (13) Оновлення та модернізація інфраструктури портів, такої як системи освітлення, навігаційні знаки, радіолокаційні станції та інші пристрої безпеки, можуть поліпшити безпеку навігації.

Стандартизація процедур та правил (14) Уніфікація процедур та правил навігації, розробка міжнародних стандартів та контроль за їх виконанням можуть сприяти зменшенню ризиків та підвищенню якості перевезень.

Навчання та сертифікація персоналу (15) Проведення регулярного навчання та сертифікації персоналу з метою підвищення його професійних навичок та кваліфікації може сприяти зниженню людських помилок та зменшенню навігаційних ризиків.

Висновки. Навігаційні ризики в портах є значним викликом для сучасного морського транспорту. Їх контроль та управління ними вимагає комплексного підходу, який включає в себе різні моделі та стратегії. Успішне впровадження таких підходів може підвищити безпеку навігації, забезпечити стабільність та ефективність операцій у портах, а також зменшити економічні та екологічні наслідки навігаційних ризиків.

Таким чином, контроль навігаційних ризиків у портах вимагає розуміння та аналізу різних факторів, які впливають на безпеку навігації, а також розробки та впровадження моделей та стратегій, які допоможуть забезпечити ефективний контроль та зменшення ризиків. Це включає ідентифікацію природних, технічних, експлуатаційних та організаційних ризиків, аналіз інформації та даних, розробку процедур та правил, а також проведення навчання та сертифікації персоналу. Інтегрований підхід до контролю навігаційних ризиків, який поєднує різні методи та стратегії, може сприяти підвищенню ефективності операцій у портах та забезпеченню стабільності морського транспорту в умовах сучасних викликів.

ЛІТЕРАТУРА

1. International Maritime Organization (IMO). (2021). Review of Maritime Transport 2020. Retrieved from <https://unctad.org/webflyer/review-maritime-transport-2020>
2. Psaraftis, H. N., & Kontovas, C. A. (2014). Ship speed optimization: Concepts, models and combined speed-routing scenarios. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 44, 52-69.
3. Wang, J., & Foinikis, P. (2001). Formal safety assessment of containerships. *Marine Policy*, 25(2), 143-157.
4. PIANC. (2014). Harbour Approach Channels Design Guidelines. PIANC Report No. 121.
5. Ventikos, N. P., & Sarris, G. E. (2003). Infrastructure and equipment reliability models in ports. *Reliability Engineering & System Safety*, 80(3), 331-338.
6. Ha, M. (2017). Port safety management system based on the dynamic risk assessment. *Maritime Policy & Management*, 44(5), 616-633.
7. Hassani, A., & Zahedi, M. (2019). A review of maritime safety and security risk assessment tools. *Safety Science*, 117, 84-97.
8. Merrick, J. R., & Van Dorp, J. R. (2006). Speaking the truth in maritime safety policy. *Risk Analysis*, 26(1), 19-34.
9. Goerlandt, F., & Reniers, G. (2014). On the assessment of uncertainty in risk diagrams. *Safety Science*, 66, 75-89.
10. Lappalainen, J., & Salmiovirta, M. (2018). The role of human factors in maritime safety management systems. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 17(1), 89-104.
11. Deeb, H., & Psaraftis, H. N. (2018). An integrated approach to maritime traffic safety management in ports. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Maritime Engineering*, 171(1), 23-34.
12. Kujala, P., Hänninen, M., Arola, T., & Ylitalo, J. (2009). Analysis of the marine traffic safety in the Gulf of Finland. *Reliability Engineering & System Safety*, 94(8), 1349-1357
13. Zhang, D., Yan, X., Yang, Z., & Wall, A. (2016). A big data approach for improving the accuracy of vessel arrival time prediction. *Ocean Engineering*, 127, 31-40.
14. Bichou, K. (2008). An assessment of the impact of the ISPS code on the security and efficiency of container terminals. *Maritime Policy & Management*, 35(1), 3-21.
15. Praetorius, G., Graziano, A., Schröder-Hinrichs, J. U., & Baldauf, M. (2017). The role of training in complex maritime transport systems. *Safety Science*, 95, 102-114.

МОДЕЛЬ ОСНОВНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОТОКУ В СУДНОВОМУ РАДІОЛОКАЦІЙНОМУ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОМУ КОМПЛЕКСІ

Корбан Д.В.

*Національний університет «Одеська морська академія»
(Україна)*

Вступ. Розглядається модель взаємодії суднового радіолокаційного поляризаційного комплексу (СРПК) із зовнішнім середовищем під час однопозиційної радіолокації, коли навігаційний об'єкт перебуває в зоні атмосферного утворення (складний об'єкт). Електромагнітна хвиля на випромінювання і приймання представлена у вигляді двох матриць, які складаються з дійсних енергетичних параметрів Стокса, а відбивні властивості складного об'єкта характеризуються 16 елементами, які об'єднані в матрицю Мюллера та складаються з чотирьох стовпців і чотирьох рядків. Відбита хвиля представлена чотирма параметрами Стокса, як поле індуковане невідомим розподілом відбивачів складного об'єкта, під час їхнього опромінення електромагнітними хвилями чотирьох поляризацій у лінійному і круговому базисах. Визначення елементів матриці розсіювання Мюллера складного об'єкта здійснюється шляхом його опромінення електромагнітними хвилями чотирьох поляризацій і прийомом луна-сигналів всеполяризованою антеною СРПК з вимірюванням параметрів Стокса для кожної випромінюваної хвилі певної поляризації, за значеннями яких визначають усі елементи матриці Мюллера складного об'єкта.

Актуальність досліджень. СРПК функціонують у складних умовах атмосферного середовища, за яких погіршується радіолокаційне спостереження навігаційних об'єктів. Якщо визначити рівень безпеки виникнення катастрофічної, аварійної та складної ситуації за допомогою математичного моделювання, під час якого відмови тих чи інших видів вводяться у функціональні системи суден, то моделювання функціонування СРПК під час впливу перешкод від атмосферного утворення є складною задачею, розв'язання якої потребує відомостей як про структуру та властивості навігаційного об'єкта радіолокаційного моніторингу, так і атмосферного утворення. Незважаючи на доведення до розробників і виробників суднового радіолокаційного обладнання вимог і рекомендацій технічного персоналу суден до нових розробок СРПК, до теперішнього часу в суднових радіолокаційних станціях (РЛС), які експлуатуються, повною мірою ще не враховано чинників впливу атмосферних утворень на радіолокаційне спостереження навігаційних об'єктів, не використовують поляризаційну структуру радіолокаційних сигналів, а поляризацію електромагнітної хвилі не розглядають як важливе потенційне джерело перешкод від атмосферного утворення [1,2].

Постановка задачі. З метою підвищення безпеки судноводіння, СРПК повинен володіти певним об'ємом радіолокаційної інформації про об'єкти спостереження, яку можна отримати при використанні поляризаційних параметрів електромагнітної хвилі як найперспективнішого джерела радіолокаційної інформації про об'єкти радіолокаційного спостереження, а судновий радіолокаційний комплекс повинен бути судновим радіолокаційним поляризаційним комплексом. Оскільки проблема перешкодозахищеності суднових РЛС далека до завершення, то одним із перспективних напрямів розв'язання зазначеної проблеми є використання поляризаційної селекції луна-сигналів, що дає змогу за поляризаційною структурою луна-сигналу складного об'єкта розрізнити індивідуальні характеристики навігаційного об'єкта, який спостерігає суднова РЛС, на тлі атмосферного утворення.

Результати досліджень. Практична реалізація моделі взаємодії СРПК з атмосферним середовищем ґрунтується на вимірюванні елементів матриці розсіювання Мюллера під час послідовного опромінення складного об'єкта неполяризованою хвилею, хвилею лінійної вертикальної (горизонтальної) поляризації, лінійною з нахилом електричного вектору 45° у декартовій системі координат та круговою поляризацією правого або лівого напрямку обертання вектору [3,4].

Під час функціонування СРПК на вхід пристрою ухвалення рішення надходить сигнал, джерелом якого є навігаційний об'єкт радіолокаційного спостереження за відсутності сигналу атмосферного середовища. 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.

Результат взаємодії хвилі, випромінюваної всеполяризованою антеною СРПК, з атмосферним утворенням, у якому перебуває навігаційний об'єкт, отримують шляхом множення вектору Стокса, випромінюваної хвилі, на матрицю Мюллера атмосферного утворення, унаслідок чого обчислюють вектор Стокса відбитої хвилі, тобто утворюється інформаційний канал.

Для аналізу принципу переходу під час опису функціонування СРПК від безперервного часу до дискретного використовується математична структура, яка називається динамічною системою, що є абстрактною моделлю і задовольняє принципу причинності. При цьому найважливішим класом динамічних систем за безперервного часу їхнього завдання є гладкі динамічні системи, описувані перехідною функцією стану.

Параметричне представлення поляризації радіохвиль, які використовуються в СРПК, ґрунтується на чотирьох речових 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.

Система сигналів, що надходять на вхід СРПК $S_{\text{вх}}(t)$ і вихідних сигналів $S_{\text{вих}}(t)$, пов'язані матричними рівняннями, що подані енергетичними параметрами Стокса:

$$S_{\text{вх}}(t) = \begin{bmatrix} S_{1\text{вх}}(t) \\ S_{2\text{вх}}(t) \\ S_{3\text{вх}}(t) \\ S_{4\text{вх}}(t) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$S_{\text{вих}}(t) = \begin{bmatrix} S_{1\text{вих}}(t) \\ S_{2\text{вих}}(t) \\ S_{3\text{вих}}(t) \\ S_{4\text{вих}}(t) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

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):

$$S_1(t_1) = \begin{bmatrix} \alpha_{11}(t_1) & \alpha_{12}(t_1) & \alpha_{13}(t_1) & \alpha_{14}(t_1) \\ \alpha_{21}(t_1) & \alpha_{22}(t_1) & \alpha_{23}(t_1) & \alpha_{24}(t_1) \\ \alpha_{31}(t_1) & \alpha_{32}(t_1) & \alpha_{33}(t_1) & \alpha_{34}(t_1) \\ \alpha_{41}(t_1) & \alpha_{42}(t_1) & \alpha_{43}(t_1) & \alpha_{44}(t_1) \end{bmatrix}; \quad (3)$$

$$S_2(t_2) = \begin{bmatrix} \alpha_{11}(t_2) & \alpha_{12}(t_2) & \alpha_{13}(t_2) & \alpha_{14}(t_2) \\ \alpha_{21}(t_2) & \alpha_{22}(t_2) & \alpha_{23}(t_2) & \alpha_{24}(t_2) \\ \alpha_{31}(t_2) & \alpha_{32}(t_2) & \alpha_{33}(t_2) & \alpha_{34}(t_2) \\ \alpha_{41}(t_2) & \alpha_{42}(t_2) & \alpha_{43}(t_2) & \alpha_{44}(t_2) \end{bmatrix}; \quad (4)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$S_n(t_n) = \begin{bmatrix} \alpha_{11}(t_n) & \alpha_{12}(t_n) & \alpha_{13}(t_n) & \alpha_{14}(t_n) \\ \alpha_{21}(t_n) & \alpha_{22}(t_n) & \alpha_{23}(t_n) & \alpha_{24}(t_n) \\ \alpha_{31}(t_n) & \alpha_{32}(t_n) & \alpha_{33}(t_n) & \alpha_{34}(t_n) \\ \alpha_{41}(t_n) & \alpha_{42}(t_n) & \alpha_{43}(t_n) & \alpha_{44}(t_n) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

де $\alpha_{mn}(t_n)$ - елементи матриць $S_1(t_1)$, $S_2(t_2)$... $S_n(t_n)$, що характеризують відбивні властивості атмосферного середовища, у якому перебуває навігаційний об'єкт.

З урахуванням співвідношень (1) - (5) 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:

$$\begin{bmatrix} S_{1\text{вх}}(t_n) \\ S_{2\text{вх}}(t_n) \\ S_{3\text{вх}}(t_n) \\ S_{4\text{вх}}(t_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11}(t_n) & \alpha_{12}(t_n) & \alpha_{13}(t_n) & \alpha_{14}(t_n) \\ \alpha_{21}(t_n) & \alpha_{22}(t_n) & \alpha_{23}(t_n) & \alpha_{24}(t_n) \\ \alpha_{31}(t_n) & \alpha_{32}(t_n) & \alpha_{33}(t_n) & \alpha_{34}(t_n) \\ \alpha_{41}(t_n) & \alpha_{42}(t_n) & \alpha_{43}(t_n) & \alpha_{44}(t_n) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_{1\text{вих}}(t_n) \\ S_{2\text{вих}}(t_n) \\ S_{3\text{вих}}(t_n) \\ S_{4\text{вих}}(t_n) \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Висновки. Синтаксичний підхід до дослідження процесів або отримання інформації СРПК спрямований на структурний аналіз інформації, тобто зняття невизначеності під час надходження повідомлення про навігаційний об'єкт, що перебуває в умовах атмосферного середовища, з урахуванням просторово-часової та поляризаційної структур луна-сигналу. Семантичний підхід передбачає аналіз смислового змісту інформації, що надходить на вхід СРПК, а прагматичний - оцінювання корисності та цінності одержуваної інформації. Систему сигналів розглядають як деяку математичну конструкцію, що відображає здатність перетворення, передавання, одержання й оброблення радіолокаційної інформації про спостережувану ситуацію.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев Д.В. Многопозиционные радиолокационные системы. Методы и алгоритмы обработки информации в условиях помех / Д.В. Зайцев. – М.: Радиотехника, 2004. – 488 с.
2. Афанасьев В.В. Судовые радиолокационные системы. Под ред. Ю.М. Устинова / В.В. Афанасьев, А.Н. Маринич, А.В. Припотнюк, Ю.М. Устинов. – М.: Веленара, 2010. – 336с.

3. Пуятин В.Г. Матрица распространения радиолокационного информационного канала при радиолокационном наблюдении навигационных объектов на пути судна / В.Г. Пуятин, Д.В. Корбан, А.И. Князь // Математические машины и системы, 2018. - №2. – С.141-147.

4. Корбан Д.В. Селекція радіолокаційних сигналів навігаційних об'єктів, що знаходяться у зоні атмосферних утворень // Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 24.03.2022 – 25.03.2022.– Одеса: НУ "ОМА", 2022. – С.25-28.

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСУ ЦИЛІНДРОВИХ ВТУЛОК СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ

Лебедь Н. І., Врублевський Н. Р.

*Відокремлений структурний підрозділ «Морський фаховий коледж
Херсонської державної морської академії» (Україна)*

Вступ. В останні роки в світі спостерігається зростання пошкоджень суднових двигунів через алюмосилікати, навіть незважаючи на те, що бункерне паливо відповідає специфікації суднового палива ISO 8217, а обробка палива є стандартною процедурою і застосовується для всіх суден. Міжнародна організація по стандартизації (ISO) опублікувала переглянуте видання своїх специфікацій ISO 8217 для суднового палива, у яких як і раніше зберігається обмеження в 60 мг/кг для каталітичних часток. Не рідко можна почути коментарі про те, що цей поріг завищений. Тест, проведений у 2020 році Службою аналізу і консультування з бункерування мазуту (FOBAS), виводить дебати на новий рівень. Він показує, що ряд бункерних проб, доставлених у Fujairah, стратегічний порт для бункерування, містив алюміній і кремній (алюмосилікати Al + Si) у кількостях від «вище 75 мг/кг до майже подвійного, при 139 мг/кг». З огляду на те, що алюмосилікати можуть зробити з двигунами, це велика небезпека. Тому актуальною задачею сьогодення є прогнозування зносу циліндрових втулок суднового дизеля, від впливу алюмосилікатів. Можливість врахування впливу кількості алюмосилікатів у паливі на швидкість домінуючого абразивного зношування втулки циліндра і поршневих кілець на стадії їх проектування є одним із найважливіших факторів у вирішенні складної проблеми щодо забезпечення надійності двигуна протягом заданого терміну служби [1].

Основна частина. Для рішення завдання зменшення впливу алюмосилікатів на знос циліндрових втулок суднового дизеля, авторами була знайдена залежність вмісту алюмосилікатів від потужності двигуна та терміном його служби. Розраховуючи інтенсивність зносу втулки циліндра, отримуємо можливість спрогнозувати термін служби втулки циліндра суднового дизеля.

Розрахунок інтенсивності зносу втулки циліндра:

$$I = 0,0116 \cdot \frac{A \cdot P}{M}, \text{ мм/год} \quad (1)$$

де A – чинник, який враховує розміри і концентрацію абразивних частинок, що містяться в одиниці об'єму повітря;

P – чинник, який враховує параметри надійності роботи двигуна;

M – чинник, який враховує якість робочих поверхонь втулки циліндра.

$$A = q_R \cdot \left[1 - e^{-0,0868 \cdot \frac{S}{D} \cdot (R)^2} \right] \cdot \sigma_{умов}^{1,6} \cdot K_k \cdot Q, \quad (2)$$

де q_R – масова концентрація пилу із повітря у циліндру, мг/м³; [1]

S – хід поршня, мм;

D – діаметр циліндра, мм;

R – середній радіус абразивної частинки, мкм (10 мкм); [1]

K_k – коефіцієнт зношувальної здатності мінералогічного складу абразивних частинок, (0,79); [2]

$\sigma_{умов}$ – умовне руйнівне напруження стиснення абразивної частинки, МПа (28 МПа). [1]

Q – концентрація шкідливих твердих часток у паливі, мг/кг.

Чинник A при концентрації алюмосилікатів у паливі 25 мг/кг:

$$A = 0,02 \cdot \left[1 - e^{-0,0868 \cdot \frac{2000}{500} \cdot (10)^2} \right] \cdot 28^{1,6} \cdot 0,79 \cdot 25 = 81,66.$$

Розраховуємо чинник, який враховує параметри надійності роботи двигуна:

$$P = \frac{g_e \cdot N_e \cdot \alpha_H \cdot L_O \cdot \xi}{D \cdot \gamma_B \cdot \text{tg}\theta}, \quad (3)$$

де g_e – питома витрата палива, кг/кВт час;

N_e – навантаження двигуна, кВт;

α_H – повітряно-паливне співвідношення; [3]

L_O – теоретично необхідна маса повітря для згоряння 1 кг палива; [3]

γ_B – щільність повітря, кг/м³ (1,2 кг/м³); [3]

ξ – коефіцієнт пропуску пилу повітроочищувачем (0,3); [3]

$\text{tg}\theta$ – кут між поверхньою втулки і кільця (0,005). [3]

Розраховуємо чинник, який враховує параметри надійності роботи двигуна для різних навантажень:

Навантаження 100 % (9467 кВт):

$$P_1 = \frac{0,171 \cdot 9467 \cdot 2,1 \cdot 14,5 \cdot 0,3}{500 \cdot 1,2 \cdot 0,005} = 4929,42.$$

Навантаження 35 % (3314 кВт):

$$P_2 = \frac{0,171 \cdot 3314 \cdot 2,1 \cdot 14,5 \cdot 0,3}{500 \cdot 1,2 \cdot 0,005} = 1725,58.$$

Навантаження 25 % (2367 кВт):

$$P_3 = \frac{0,171 \cdot 2367 \cdot 2,1 \cdot 14,5 \cdot 0,3}{500 \cdot 1,2 \cdot 0,005} = 1232,5.$$

Навантаження 10 % (950 кВт):

$$P_4 = \frac{0,171 \cdot 950 \cdot 2,1 \cdot 14,5 \cdot 0,3}{500 \cdot 1,2 \cdot 0,005} = 494,66.$$

Розраховуємо чинник, який враховує якість робочих поверхонь втулки циліндра:

$$M = \frac{(HB_1 e^{\alpha_1 t_1}) \cdot (HB_2 e^{\alpha_2 t_2})^{2,5}}{HB_1 e^{\alpha_1 t_1} + HB_2 e^{\alpha_2 t_2}}, \quad (4)$$

де HB_1, HB_2 – твердість по Бринеллю поверхонь, що сполучаються відповідно до кільця та втулки, МПа;

α_1, α_2 – коефіцієнти залежності твердості по Бринеллю відповідно до температури кільця та циліндру ($\alpha_1 = -9,5 \cdot 10^{-4}$, $\alpha_2 = -5,1 \cdot 10^{-4}$); [1]

t_1, t_2 – температура кільця та циліндра, °C ($t_1 = 190$ °C, $t_2 = 170$ °C). [1]

Підставимо значення у формулу (4) для твердості дзеркала циліндра $HB_2 = 2000 \dots 1500$ МПа, при постійній твердості поверхні кільця:

$$M = \frac{(1250 \cdot e^{-9,5 \cdot 10^{-4} \cdot 190}) (2000 \cdot e^{-5,1 \cdot 10^{-4} \cdot 170})^{2,5}}{(1250 \cdot e^{-9,5 \cdot 10^{-4} \cdot 190}) + (2000 \cdot e^{-5,1 \cdot 10^{-4} \cdot 170})} = 52,23 \times 10^6.$$

Підставимо отримані значення у формулу (1) та отримаємо інтенсивність зносу втулки циліндра:

Інтенсивність зносу втулки циліндра при концентрації алюмосилікатів у паливі 25

мг/кг:

– навантаження 100 %:

$$I_1 = 0,0116 \cdot \frac{A \cdot P_1}{M} = 0,0116 \cdot \frac{81,66 \cdot 4929,42}{52,23 \cdot 10^6} = 8,941 \cdot 10^{-5} \text{ мм/год,}$$

– навантаження 35 %:

$$I_2 = 0,0116 \cdot \frac{A \cdot P_2}{M} = 0,0116 \cdot \frac{81,66 \cdot 1725,58}{52,23 \cdot 10^6} = 3,129 \cdot 10^{-5} \text{ мм/год,}$$

– навантаження 25 %:

$$I_3 = 0,0116 \cdot \frac{A \cdot P_3}{M} = 0,0116 \cdot \frac{81,66 \cdot 1232,5}{52,23 \cdot 10^6} = 2,235 \cdot 10^{-5} \text{ мм/год,}$$

– навантаження 10 %:

$$I_4 = 0,0116 \cdot \frac{A \cdot P_4}{M} = 0,0116 \cdot \frac{81,66 \cdot 494,66}{52,23 \cdot 10^6} = 0,897 \cdot 10^{-5} \text{ мм/год.}$$

Прогнозований ресурс двигуна по зносу втулки циліндра в залежності від конструкції і технології виготовлення для заданих умов експлуатації дорівнюватиме:

$$T = \frac{N_{пред}}{I}, \text{ год} \quad (5)$$

де $N_{пред}$ – гранично допустимий знос за умовами нормальної роботи двигуна, мм [1];
 I – інтенсивність зносу втулки циліндра, мм/год.

Прогнозований ресурс двигуна по зносу втулки циліндра при концентрації алюмосилікатів в паливі 25 мг/кг:

– навантаження 100 %:

$$T_1 = \frac{N_{пред}}{I_1} = \frac{4,5}{8,941 \cdot 10^{-5}} = 50329,9 \text{ год,}$$

– навантаження 35 %:

$$T_2 = \frac{N_{пред}}{I_2} = \frac{4,5}{3,129 \cdot 10^{-5}} = 143815,9 \text{ год,}$$

– навантаження 25 %:

$$T_3 = \frac{N_{пред}}{I_3} = \frac{4,5}{2,235 \cdot 10^{-5}} = 201342,28 \text{ год,}$$

– навантаження 10 %:

$$T_4 = \frac{N_{пред}}{I_4} = \frac{4,5}{0,897 \cdot 10^{-5}} = 501672,2 \text{ год.}$$

Проаналізувавши розрахунки, які були зроблені вище, побудуємо графік залежності концентрації алюмосилікатів у паливі від прогнозованого ресурсу двигуна по зносу втулки циліндра.

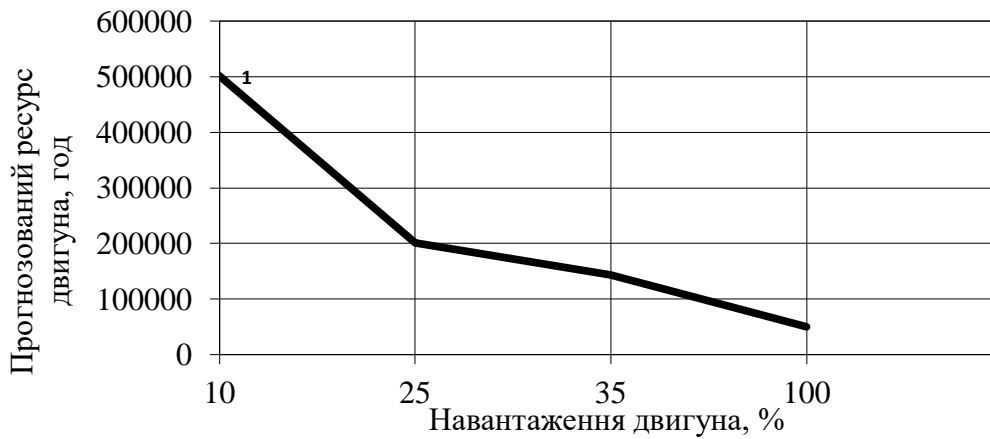


Рисунок 1 – Графік залежності навантаження двигуна та прогнозованого ресурсу зносу втулки циліндра при концентрації алюмосилікатів у паливі 25 мг/кг.

Висновок: авторами вирішена актуальна задача по прогнозуванню зносу циліндрових втулок суднового дизеля, від впливу алюмосилікатів. Побудовано графік залежності вмісту алюмосилікатів від потужності двигуна та терміном його служби, який дозволить прогнозувати термін служби суднового дизеля. За графіком (рис. 1) видно, що при збільшенні навантаження двигуна та при концентрації алюмосилікатів у паливі 25 мг/кг, суттєво зменшується ресурс двигуна. Тому для підвищення ресурсу двигуна потрібно зменшити концентрацію алюмосилікатів. За допомогою прогнозування можливо зменшити вплив алюмосилікатів на судновий дизель завдяки дотриманню певних навантажень на двигун, які не призведуть до значного зносу суднового дизеля. У поєднанні з обізнаністю і навчанням екіпажу, а також із моніторингом та прогнозуванням ресурсу зносу втулки циліндра можна значно знизити ризик зносу двигуна, пов'язаного з алюмосилікатами. Що призведе до значної економії коштів на ремонт та обслуговування суднового дизеля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пахомова Н.В. Оцінка ресурсу сполучення «циліндрова втулка – поршневе кільце» судових малорозмірних дизелів. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-resursa-sopryazheniya-tsilindrovaya-vtulka-porshnevoe-koltso-sudovyh-malorazmernih-dizeley> (Дата звернення 25.04.2023)
2. Аналіз заходів для поліпшення експлуатаційних показників судових малорозмірних дизелів. <https://vestnik.astu.org/ru/nauka/article/31525/view> (Дата звернення 25.04.2023)
3. Прогнозування працездатності судових двигунів внутрішнього згорання щодо зносу деталей у вузлах тертя. <https://tekhnosfera.com/prognozirovanie-rabotosposobnosti-sudovyh-dvigately-vnutrennego-sgoraniya-po-iznosu-detaley-v-uzlah-treniya> (Дата звернення 25.04.2023)

ОПТИМАЛЬНИЙ ДИФЕРЕНТ СУДНА: РОЗКІШ ЧИ НЕОБХІДНІСТЬ В УМОВАХ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДЕН

Лошкар'єв О.Г.¹, Король Ю.М.², Корнелюк О.М.¹, Зінченко С.М.¹

¹Херсонська державна морська академія (Україна)

²Національний університет кораблебудування (Україна)

Вступ. Глобальне потепління є однією з найбільших екологічних проблем на сьогоднішній день, до того ж забруднення атмосфери, особливо викиди парникових газів, вважається найбільшою причиною. Згідно з дослідженнями ІМО, «морський транспорт щорічно викидає близько 940 мільйонів тон CO₂ та відповідає за близько 2,5% глобальних викидів парникових газів». Міжнародна морська організація (ІМО) працює над зниженням впливу судноплавної галузі на забруднення довкілля з 1960-х років. З початку 2020 року вона запровадила більш жорсткі обмеження викидів оксиду сірки (SO_x) для суден. Дороговартісні методи вирішення даної проблеми включають використання палива з низьким вмістом сірки або установку дозволених систем очищення вихлопних газів. Однак вони можуть бути не вигідними для старих суден, які інколи важко або неможливо модернізувати [1]. Оптимізація диференту є ефективним рішенням даної проблеми. Задача ця не з легких і не з дешевих. Але переваги від проведення досліджень у цьому напрямку набагато більші (рисунок 1), аніж здається на перший погляд.

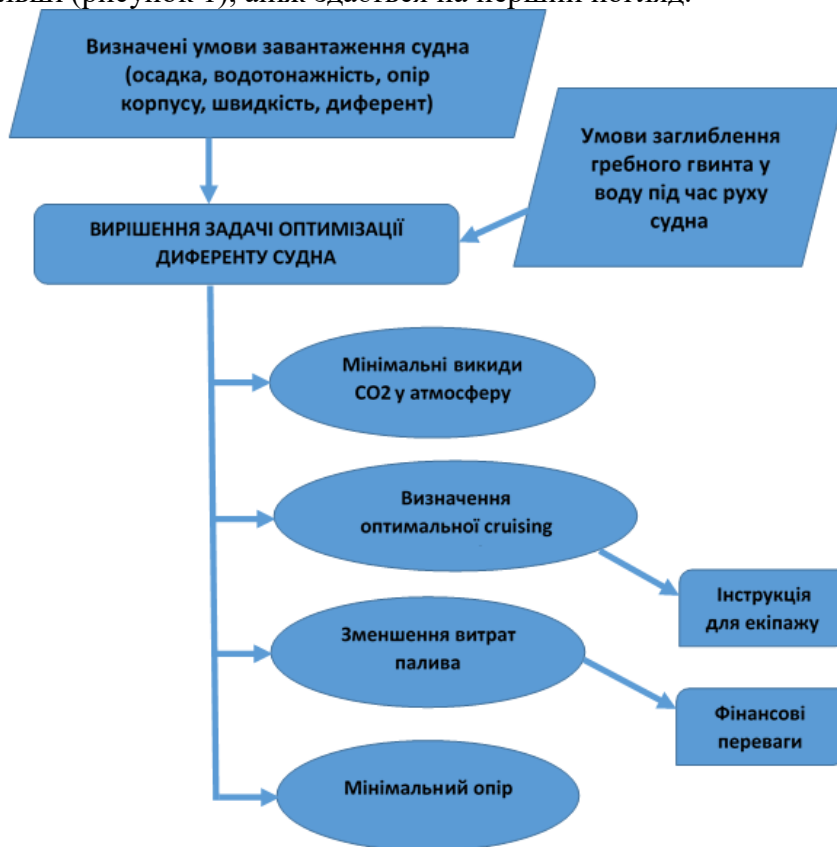


Рисунок 1 – Переваги від витрат на дослідження динамічного диференту судна

Отже, дослідження оптимізації диференту зводиться до розробки інструкції для екіпажу судна: як вибрати оптимальну крейсерську швидкість для заданого навантаження, тобто який забезпечити диферент, щоб мінімізувати витрати палива.

Актуальність досліджень. Сьогодні важливим та фінансово цікавим є створення бази даних оптимальних кутів диференту на основі повного дослідження його оптимізації для різних круїзних умов. Серед методів дослідження виділяють самохідні випробування з використанням масштабної моделі. Під час таких випробувань

досліджуються зміна опору корпусу, вибір гребного гвинта, вимірюються ходові коефіцієнти [4]. Ці випробування слід виконувати в достатньому діапазоні швидкостей та осадок. Революційним інструментом для швидкого і точного дослідження є сьогодні обчислювальна гідродинаміка (CFD). У таблиці 1 представлені результати досліджень, опублікованих у [2] (танкер типу Aframax, CFD-пакет Naval Hydro Pack). Як видно, результати достатньо позитивні.

Таблиця 1 – Досягнута економія палива протягом року з урахуванням відносної частоти індивідуального завантаження за умови спокійного моря [2]

Стан завантаження (осадка)	Баласт, спокійне море/хвили	13м	14м	15м	15,5м
Економія палива (т/добу)	0,12/0,45	0,22	0,16	0,34	0
Відносна частота умов плавання за рік	21%	13%	19%	11%	1%
Економія палива за рік (т)	9,2/34,5	10,1	11,0	13,9	0,0

На рисунку 2 показаний оптимальний диферент для судна з різними значеннями водотоннажності при швидкості 15 вузлів [5]. Представлені результати досліджень підкреслюють актуальність визначення оптимальних диферентів судна.

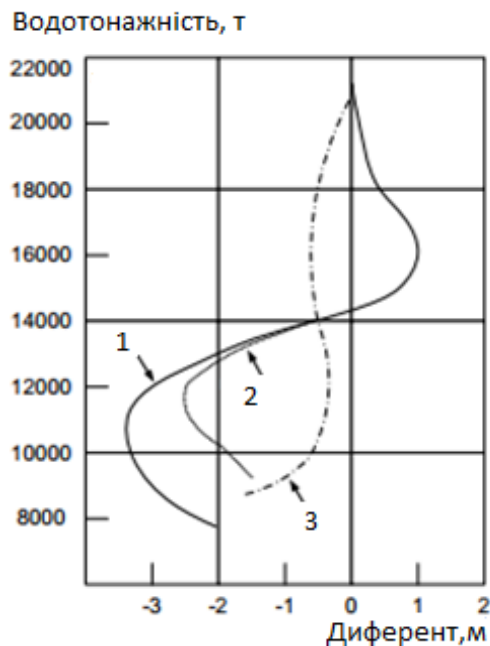


Рисунок 2 – Оптимальний диферент судна в залежності від водотоннажності: 1 – оптимальний; 2 - прийнятний; 3 – загальний [5]

Ходові випробування використовуються для збору даних про потужність судна, диферент і витрату палива при 73 режимах роботи (7 швидкостей, 7 осад і 7 диферентів) як мінімум через бортову автоматичну систему збору даних на спеціальних морських пробних акваторіях [5]. Ще одним методом дослідження диференту є математичне моделювання. Цей метод не вимагає великих ресурсів. На рисунку 4 представлені результати дослідження, в результаті якого розроблено математичний алгоритм, що дозволяє завантажити судно трампового судноплавства одночасно декількома видами генерального вантажу, виходячи з умови забезпечення його оптимальним диферентом.

Постановка задачі. Як відомо, генеральні вантажі під час перевезення морем необхідно розміщувати, враховуючи їх транспортні характеристики і таблицю сумісності вантажів [6,7]. Тоді можна забезпечити збереження якостей вантажу. Але варіантів

розміщення партій генеральних вантажів із різними характеристиками (Cargo1, Cargo2, ... CargoN) можна отримати чимало. З іншої сторони необхідно забезпечити судну оптимальний диферент.

Метою роботи є оптимізація розрахунків, пов'язаних з завданням розподілу партій вантажу за умови забезпечення судна оптимальним диферентом. Для досягнення поставленої мети необхідне вирішення наступних завдань:

- проаналізувати загальноприйнятну схему розробки вантажного плану судна трампового судноплавства, що перевозить різнорідні генеральні вантажі;
- розробити алгоритм методики оптимізації розробки вантажного плану;
- запропонувати вдосконалену схему розробки вантажного плану;
- виконати верифікацію результатів використання удосконаленої схеми на практиці.

На початковому етапі розробки попереднього Cargoplan методом оптимального диферента розраховується вагове навантаження кожного вантажного відсіку. Часто через різні об'ємно-вагові характеристики окремих вантажів фактичне навантаження може досить відрізнятись від запланованого і диферент доводиться виправляти. На практиці це можливо шляхом переміщення партій вантажу з різними питомими навантажувальними об'ємами (Stowage Factor) [8] з одного відсіку до іншого з подальшим перерахуванням диференту, що є трудомістким процесом. Очевидно, що варіантів перерозподілу генеральних вантажів «на око» може бути дуже багато.

Результати досліджень. Суть розробленої методики полягає в тому, що розподіл партій вантажу проводиться у два етапи та супроводжується виконанням певних розрахунків. Деталізація розробленої методики представлена на рисунку 3.

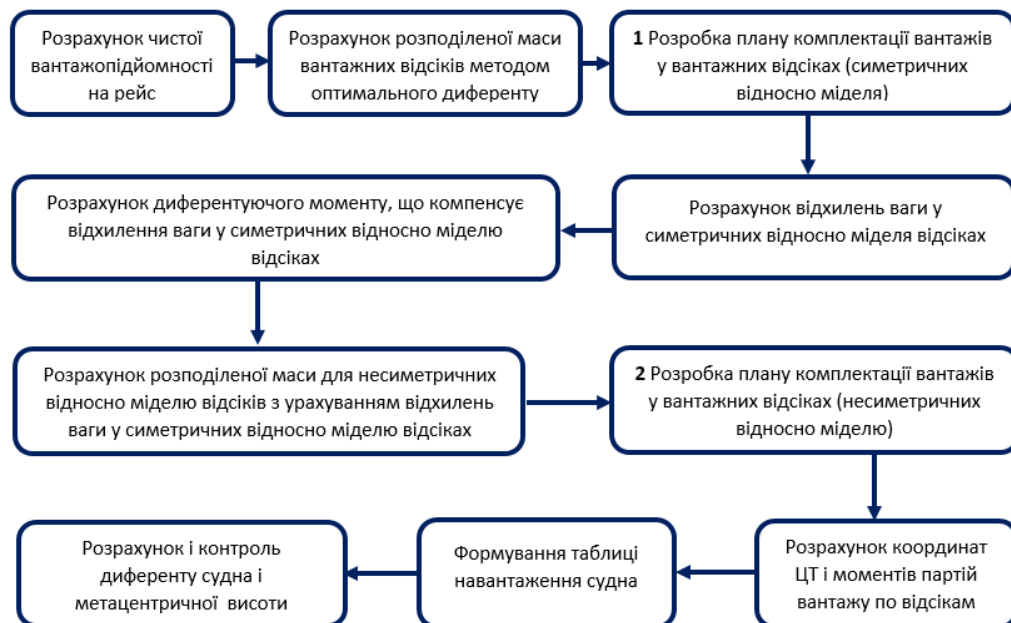


Рисунок 3 – Методика забезпечення судну оптимального диференту за рахунок урахування компенсуючого диферентуючого моменту [9]

На першому етапі розподіляється вантаж у відсіки, симетричні відносно міделю за стандартною технологією завантаження трюмів трампового судна. На другому етапі вантаж розподіляється у відсіках, несиметричних відносно міделю, з урахуванням компенсуючого диферентуючого моменту. Для цього складається рівняння [9]:

$$m_x * x_1 + (m - m_x) * x_2 = M_{дифкомп} \quad (1)$$

де m - загальне відхилення ваги у відсіках, т (табл.1);

$M_{дифкомп}$ - компенсуючий диферентуючий момент, тм;

m_x - відхилення від розподіленої ваги в одному з відсіків, розташованих несиметрично відносно міделю, т;

$(m-m_x)$ - відхилення від розподіленої ваги в іншому відсіку, розташованому несиметрично щодо міделю, т;

x_1, x_2 - відповідні плечі, м.

В результаті розв'язання рівняння можна точно визначити скільки ваги необхідно додати до розподіленої маси в кожен відсік, розміщений несиметрично щодо міделю. Такий підхід дозволить забезпечити судну заданий диферент, скоротивши загальний час розрахунку.

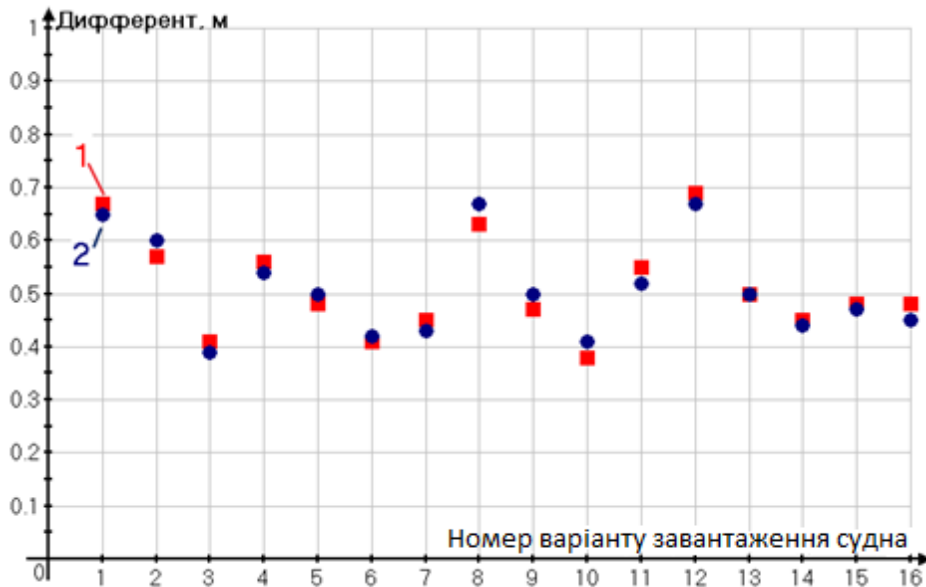


Рисунок 4 – Графік порівняння заданого та фактичного значень диферента: 1 – запланований (оптимальний) диферент; 2 – фактичний диферент [9]

За результатами застосування методики до різних умов завантаження судна (рисунок 4) було встановлено, що відхилення фактичного значення диферента від запланованого становить трохи більше 8%.

Висновки. 1) Побудова діаграм оптимального диференту задача достатньо трудомістка, але в результаті можна отримати безліч переваг. 2) Керуючи судном з оптимальним диферентом можна забезпечити мінімальні витрати палива. 3) Навіть незначні коригування диференту можуть значно вплинути на ходові якості судна. Мова йде про зниження використання палива на 2-4%. 4) На круїзних лайнерах кут диференту не може регулюватися гнучко, оскільки комфорт пасажирів є достатньо важливим. Вигода оптимізації диференту є найбільшою для суден, які часто плавають в умовах часткового завантаження, таких як ро-ро, танкери та невеликі контейнеровози [4].

ЛІТЕРАТУРА

1. Ship trim Optimization. Optiphore. Engineering services. <https://www.optiphore.com/projects/ship-trim-optimization/>
2. Gatin M. Servos, Jasak H. [Investigating Trim Optimisation in Waves for an AFRAMAX Tanker Using CFD](#). HullPIC 2020, October 2020. - pp 96-105.
3. *Maurits Van Den Boogaard*. Fuel Savings Up To 5% Thanks To Ship Trim Optimization With Omnis Marine, *CFD Product Engineer at Cadence*
4. <http://shipsbusiness.com/energy-efficiency-measures-trim-optimization.html/>
5. Guidelines on ship trim optimization — based on machine learning method. *Maritime Technology Cooperation Centre for Asia (MTCC-Asia)*
6. Aksyutin L.R. Cargo plan of the ship, 2005. <https://www.twirpx.com/file/325796/>

7. Snopkov V.I. Technology of transportation of goods by sea, 2006. <https://navlib.net/tehnologiya-perevozki-gruzov-morem/>
8. Drouet A., Sergent P., Causeur D., Corrignan P. Trim optimisation in waves. *7th International Conference on Computational Methods in Marine Engineering*, Nantes, France, 2017.
9. Loshkarov O., Kornelyuk O. Optimization of the stages of a ship's cargo plan development for shipping of general cargoes, *Easten-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(3(113), October 2021. – pp. 30-36.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Мадей В.В.

Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)

Вступ. Енергетичні комплекси морських засобів транспорту забезпечують виконання комерційних завдань з перевезення вантажів та пасажирів, а також технологічні процеси, що відбуваються на морських судах, або виконуються суднами. Джерелом їх функціонування є рідке паливо, яке використовується у всіх без винятку теплових двигунах, що входять до складу суднової енергетичної установки. Сонячні та електричні батареї, повітряні генератори (в тому числі «жорсткі» та «м'які» вітрила) здатні лише компенсувати частину енергії, що витрачається на рух судна або роботу допоміжного обладнання. Найбільш розповсюдженим типом рідкого палива є паливо нафтового походження, під час згоряння якого разом з випускними газами до довкілля потрапляє велика кількість шкідливих речовин, частина яких (насамперед оксиди азоту NO_x , оксиди сірки SO_x , монооксид вуглецю CO), є токсичними.

На відміну від палива нафтового походження, біодизельне паливо виробляється з відновлюваних органічних джерел, його основні експлуатаційні характеристики (густина, в'язкість, температура спалаху, нижча теплотворна здатність) суттєво не відрізняються від аналогічних показників нафтового палива – це дозволяє використовувати його в сумішах з нафтовим паливом в більшості сучасних дизельних двигунів [1, 2].

Актуальність дослідження. Використання альтернативного палива (зокрема біопалива) в енергетичних установках морських суден регламентується рекомендаціями виробників палива. При цьому вказуються лише мінімальні та максимальні концентрації біопалива у паливній суміші, при яких забезпечується згоряння. Визначення оптимальної концентрації біопалива в його суміші з дизельним, а також оптимальні фази паливоподачі виконуються експериментальним шляхом та залежить від багатьох характеристик, насамперед властивостей дизельного палива та режимів роботи дизеля [3, 4]. Ефективність використання паливних сумішей, до складу яких входять дизельне паливо та паливо біологічного походження, безпосередньо залежить від компетентностей суднових інженерів та наявності рекомендацій щодо технології застосування цих сумішей на різних експлуатаційних режимах роботи дизеля.

Постановка задачі. Задачею дослідження було визначення впливу палива біологічного походження на економічні та екологічні показники суднового дизеля та визначення за цими показниками оптимальної концентрації біодизельного палива на різних експлуатаційних режимах роботи суднового дизеля.

Результати досліджень. Дослідження виконувались на суднових середньообертових дизелях 5DC-17A Tier II Daihatsu Diesel, які були встановлені на спеціалізованому судні дедвейтом 10820 тонн, що здійснювало короткочасні (протягом 4...6 днів) переходи між портами, в яких була передбачена можливість поповнення запасів біопалива. Як таке використовувалось біодизельне паливо B99.9 FAME (Fatty Acid Methyl Ester), що є складним метиловим ефіром з характеристиками дизельного палива, яке виготовляється з олії рослинного або тваринного походження. Біопаливо B99.9 FAME складається з 99,9 % біодизельного палива та 0,1 % дизельного палива класу Ultra-Low Sulfur Diesel fuel (з наднизьким вмістом сірки $S=0,03$ %). Для утворення паливної суміші з палива нафтового походження та біопалива як «базове» використовувалось паливо DMB, що рекомендовано для середньообертових дизелів, які виконують функції допоміжних двигунів. Вміст біопалива в паливній суміші змінювався в межах 5...20 % від загального об'єму [5].

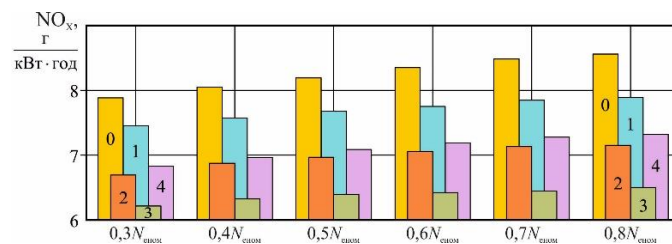
Як екологічні показники роботи суднових дизелів приймалися концентрація оксидів азоту C_{NO_x} та об'ємний вміст оксиду вуглецю C_{CO} в випускних газах [6].

Під час проведення експериментів концентрація оксидів азоту NO_x , а також об'ємний вміст CO в випускних газах контролювались за допомогою газоаналізатора Testo350XL (виробництва Німеччини), що дозволяє визначати концентрації наступних речовин: CO , CO_2 , O_2 , N_2 , NO_x , CH_4 , HC , SO_2 , H_2S , а також температуру, вологість, швидкість і диференціальний тиск вимірюваного середовища [7].

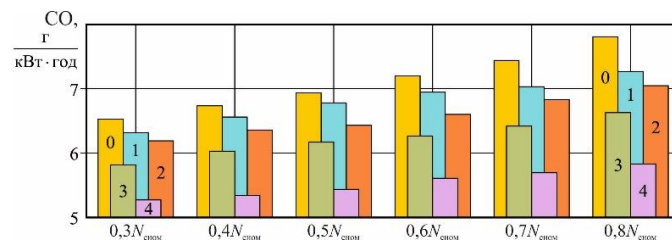
Результати дослідження наведені в табл. 1 та проілюстровані на рис. 1.

Таблиця 1 – для паливної суміші різного складу

Режим роботи дизеля	DMB	DMB+5 % біопалива	DMB+10 % біопалива	DMB+15 % біопалива	DMB+20 % біопалива
	концентрація оксидів азоту у випускних газах, г/(кВт·год)				
$0,3N_{еном}$	7,78	7,48	6,72	6,21	6,83
$0,4N_{еном}$	8,03	7,52	6,86	6,28	6,93
$0,5N_{еном}$	8,21	7,63	6,96	6,32	7,07
$0,6N_{еном}$	8,36	7,74	7,05	6,38	7,17
$0,7N_{еном}$	8,48	7,82	7,11	6,42	7,25
$0,8N_{еном}$	8,58	7,88	7,17	6,47	7,31
об'ємний вміст оксиду вуглецю в випускних газах, %					
Режим роботи дизеля	DMB	DMB+5 % біопалива	DMB+10 % біопалива	DMB+15 % біопалива	DMB+20 % біопалива
$0,3N_{еном}$	6,05	5,86	5,72	5,36	4,78
$0,4N_{еном}$	6,25	6,05	5,86	5,52	4,83
$0,5N_{еном}$	6,48	6,27	5,93	5,69	4,97
$0,6N_{еном}$	6,69	6,45	6,12	5,79	5,12
$0,7N_{еном}$	6,92	6,51	6,31	5,93	5,22
$0,8N_{еном}$	7,29	6,75	6,52	6,12	5,36



б)



б)

Рисунок 1 – Залежності показників роботи дизеля 5DC-17A від навантаження під час використання палива різного складу: 0 – DMB; 1 – DMB+5 % біопалива; 2 – DMB+10 % біопалива; 3 – DMB+15 % біопалива; 4 – DMB+20 % біопалива; а – питома витрата палива; б – емісія оксидів азоту; в – об'ємний вміст оксиду вуглецю в випускних газах

Висновки. Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. В судових дизелях середньої потужності, що використовуються як допоміжні, можливо використовувати паливні суміші, до складу яких входять паливо нафтового походження (як основна частина, масова доля якої складає 80...95 %) та паливо біологічного походження (з масовою долею 5...20 %). Підготовку подібних паливних сумішей доцільно виконувати в судовій паливній системі безпосередньо перед їх подачею до циліндрів дизеля.

2. Використання в судових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження сприяє поліпшенню екологічних показників їх роботи. Дослідженнями встановлено, що для 5...20 % концентрації палива біологічного походження в складі паливної суміші і діапазоні експлуатаційних навантажень на судовий дизель 5DC-17A 30...80 % номінальної потужності спостерігається зменшення концентрації оксидів азоту у випускних газах на 3,86...24,59 % та зменшення об'ємного вмісту оксиду вуглецю в випускних газах на 3,14...26,47 %. Зменшення об'ємного вмісту оксиду вуглецю в випускних газах здійснюється пропорційно підвищенню вмісту біопалива в складі паливної суміші на всіх експлуатаційних режимах дизеля. Зменшення емісії оксидів азоту найбільш ефективно здійснюється під час 10...15 % концентрації біопалива в складі паливної суміші з паливом нафтового походження. Саме цю концентрацію (для будь яких навантажень дизеля 5DC-17A) пропонується вважати найбільш оптимальною з точки зору забезпечення екологічних показників роботи дизеля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сагін С.В., Мадей В.В., Сагін А.С. Робота судового дизеля на біодизельному паливі // Автоматизація судових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 93 - 107.

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

3. Madey V.V. Usage of biodiesel in marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7–8 (July – August). – P. 18-21. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-18-21>.

4. Madey V. Assessment of the efficiency of biofuel use in the operation of marine diesel engines // Technology Audit and Production Reserves. – 2022. – № 2 (1(64)). – P. 34-41. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.255959>.

5. Мадей В.В. Використання альтернативного палива в судових середньообертових дизелях // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 43. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 45 - 53. doi: 10.31653/smf343.2021.41-53.

6. Сагін С.В., Мадей В.В., Сагін А.С. Робота судового дизеля на біодизельному паливі // Автоматизація судових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 93 - 107. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-93-107.

7. Мадей В.В., Волков О.М. Оптимізація процесу паливоподачі дизелів суден морського транспорту під час використання паливних сумішей до складу яких входить біодизельне паливо // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 43-56. doi: 10.31653/smf45.2022.43-56.

ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОТИ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ГАЗІВ ТЕПЛОВИКОРИСТОВУЮЧИМИ МАШИНАМИ ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВОГО ДВИГУНА

Пирисунько М.А., Урсуленко І.М., Перегібенко В.І.

*Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)*

Постановка проблеми. Забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами з двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) з водного транспорту в даний час є гострою проблемою у всьому світі, яка визнана багатьма експертами з різних галузей: екології, енергетики, економіки, медицина тощо. Незважаючи на різні заходи по всьому світі екологічна ситуація продовжує погіршуватися. [1, 2]. Це негативно впливає на екологічну ситуацію в районах водних районів, портів, ремонтних баз, на флорі та фауні водних басейнів та на здоров'я людини. На даний час були розроблені методи для зменшення вмісту NO_x у відпрацьованих газах до стандартів, встановлених у ІМО Tier III. [3].

Міжнародні конвенції встановлюють суворі вимоги щодо технічного стану суден та процесу їх експлуатації. Недотримання цих стандартів під час роботи судна може привести до його обмеження або заборони адміністративною процедурою [4, 5]. З 2016 року були введені нові стандарти ІМО Tier III. Відповідно до них, у регульованих районах (ЕСА) кількість шкідливих викидів повинна зменшуватися більш ніж на 3 рази.

Окрім оксидів азоту, правила ІМО також обмежують викиди оксидів сірки SO_x . Вся сірка потрапляє в камеру згоряння разом із паливом, тому викиди SO_x можна зменшити лише за допомогою використання палива з низьким рівнем сірки.

Основна частина. У технічній літературі розглядаються наступні методи зменшення шкідливих викидів: використання традиційного важкого палива та використання додаткового обладнання (скрубера) для нейтралізації та очищення відпрацьованих газів (серед цих методів відзначена рециркуляція відпрацьованих газів); використання альтернативних видів палива, що відповідають стандарту ІМО; використання двоступеневих котлів, що дозволяє зменшити споживання палива у випадку використання мазуту. Менше палива спалюється - менше відпрацьованих газів і відповідно менше шкідливих викидів потрапляють у навколишнє середовище.

Одним із перспективних напрямків у екологічності суднових двигунів є нейтралізація шкідливих речовин у відпрацьованих газах за допомогою їх рециркуляції. У цьому випадку відпрацьовані гази очищаються в скруберах, а їх тепло видаляється морською водою. Після цього очищені відпрацьовані гази подаються разом із надувним повітрям після турбокомпресора назад у циліндри двигуна (технологія EGR).

Однак використання таких технологій пов'язане з додатковими витратами на енергію для рециркуляції газів та втрат тепла з морською водою, що призводить до збільшення споживання палива та зменшення потужності двигуна. У той же час, охолодження впускного повітря двигунів забезпечить зменшення споживання палива [6, 7].

У зв'язку з цим виправданим є використання технологій утилізації тепла відпрацьованих газів рециркуляції для охолодження повітря на вході в двигун для підвищення екологічності та паливної ефективності суднового дизеля з використанням систем EGR. Ці технології дозволяють підвищити економію дизельного палива за рахунок охолодження повітря для згоряння відпрацьованим теплом за допомогою холодильних машин.

Ефективність застосування запропонованого технічного рішення проаналізовано на основі системи EGR, типової для малообертових двотактних дизельних двигунів MAN

відповідно до норм Tier III. Рециркуляція забезпечується байпасом частини очищених від шкідливих газів відпрацьованих газів у скрубєрі після охолодження в теплообміннику-газоохолоджувачі.

Розглянуто рішення з використанням тепловикористовувального контуру абсорбційної холодильної машини (АБХМ) для двотактного двигуна 6G50ME-C9.6. Для аналізу системних параметрів і характеристик дизеля використовувався пакет програм SEAS [8]. Для розрахунку використано наступні вихідні дані: потужність – $N_e = 9288$ кВт; навантаження двигуна – $NMCR = 90\%$; питома витрата палива (SFC) – $g_e = 166,0$ г/(кВт·год); частота обертання – $n_e = 96,5$ об/хв; система EGR.

Розрахунок характеристик двигуна проводився на робочому режимі під час рейсу судна Одеса – Шанхай. На рис. 1 показано зміни кліматичних умов під час плавання (температура морської води t_w , температура навколишнього повітря t_a , відносна вологість ϕ_a та абсолютна вологість d_a).

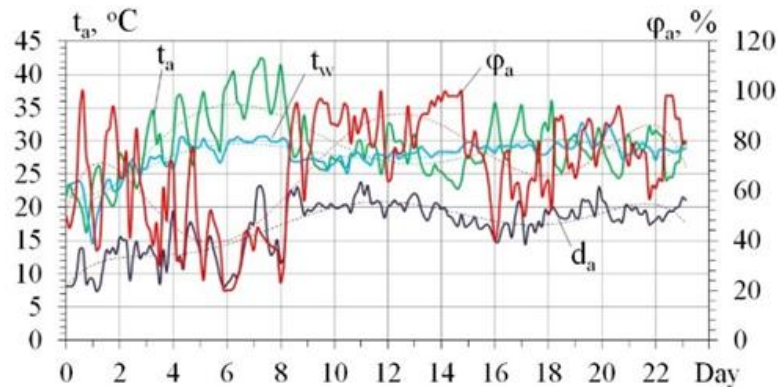


Рисунок 1 – Зміна кліматичних умов (температура морської води t_w , температура навколишнього повітря t_a , відносна вологість ϕ_a та абсолютна вологість d_a) під час рейсу судна Одеса-Шанхай

Під час використання системи рециркуляції відпрацьованих газів частина відпрацьованих газів (10-40%) надходить у скрубєр системи рециркуляції (SRS). У ньому вони очищаються шляхом розпилення води через форсунки. Потім відпрацьовані гази охолоджуються в теплообміннику - газоохолоджувачі (нагрівачі води для генератора холодоагенту АБХМ), конденсована пара з відпрацьованих газів відводиться через конденсатоуловлювач і охолоджені гази подаються вентилятором в ресивер продувного повітря, де гази змішуються з продувним повітрям, що надходить з турбокомпресора [4].

SFC з системою EGR на рейсі становить 168-170 г/(кВт·год). В цьому випадку коефіцієнт рециркуляції становить $K_r = 13-15\%$. Загальна масова витрата відпрацьованих газів $G_g = 18-20$ кг/с, а витрата рециркуляційних газів $G_{g,r} = 2,8-2,9$ кг/с. Масова витрата «свіжого» повітря до турбокомпресора двигуна становить $G_a = 16-17$ кг/с без системи EGR, а із системою EGR $G_{a,egr} = 13-14$ кг/с. Для двигуна 6G50ME-C9.6 за розрахунками з використанням програмного комплексу SEAS при охолодженні всмоктуваного повітря на кожні 10 °С зниження питомої витрати палива становить 0,109 г/(кВт·год·К) на кожні 1 °С зниження температури повітря.

Результати аналізу ефективності роботи рециркуляційних газових теплоутилізаторів АБХМ з ККД $\zeta = 0,7$ свідчать про отриману холодопродуктивність: $Q_{0,rg(0,7)} = 690-750$ кВт ($\zeta = 0,7$). Цей спосіб дозволяє знизити температуру повітря, що надходить у турбокомпресор двигуна: $\Delta t_{a(0,7)} = 9,3-21,5$ °С ($\zeta = 0,7$). У свою чергу, це призводить до зниження питомої витрати палива. Питома витрата палива становить (рис. 2): $\Delta g_{e,pr(0,7)} = 163,0-167,3$ г/(кВт·год) ($\zeta = 0,7$).

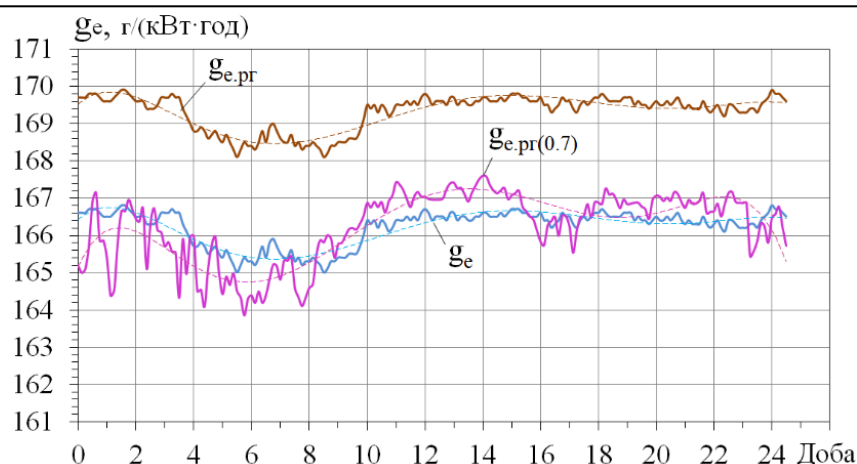


Рисунок 2 – Поточні значення питомої витрати палива базового двигуна з рециркуляцією газів $g_{e,pr}$ та без неї g_e , питомої витрати палива двигуна $g_{e,rg(0,7)}$ з охолодженням повітря на вході в АБХМ ($\zeta = 0,7$) протягом рейсу судна

Зниження викидів за рахунок зниження температури повітря на вході при використанні теплоти рециркуляційних (екологічних) газів складає: $\Delta g_{SO_x} = 2,2-2,4$ г/(кВт год) і $\Delta g_{NO_x} = 10,2-10,6$ г/(кВт год). Коефіцієнт рециркуляції відпрацьованих газів при цьому становить $K_r = 30$ %.

Висновки. Був виконаний аналіз підвищення екологічної безпеки СЕУ за рахунок охолодження повітря на вході у двигун шляхом утилізації скидної теплоти випускних і рециркуляційних (екологічних) газів. Це забезпечує компенсацію тих витрат палива, що зумовлені як очищенням відхідних газів зі скиданням їх теплоти забортною водою, так і рециркуляцією. Також має місце додаткове скорочення витрати палива на 2-3 % та викидів шкідливих NO_x і SO_x .

ЛІТЕРАТУРА

1. Kumar J. Thirumala Sai, et al.: Effect of reformed EGR on the performance and emissions of a diesel engine: A numerical study. Alexandria Engineering Journal 57, 517-525 (2018) <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.01.008>
2. Roh H. G., Park S., Lee C. S.: Effect of exhaust gas recirculation on the combustion and emissions of dimethyl ether in a passenger vehicle diesel engine. Journal of Energy Engineering 144(5) (2018) [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000575](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000575)
3. Azzara A., Rutherford D., Wang H.: Feasibility of IMO annex VI Tier III implementation using selective catalytic reduction. Int. Counc. Clean Transp. T. 4. pp. 1-9. (2014), available at: https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_MarineSCR_Mar2014.pdf
4. MAN Energy Solutions (December 2022), MAN B&W Two-stroke Marine Engines. Emission Project Guide for MARPOL Annex VI Regulations [Online], available at: https://man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/special_pg/Pg_7020-0145.pdf
5. Influence of Ambient Temperature Conditions. Main engine operation of MAN B&W two-stroke engines. MAN Diesel & Turbo. Copenhagen, Denmark: MAN Diesel. 17 p. (2010). available at: [http://www.mandieselturbo.com.Solstice®_ze_Refrigerant_\(HFO-1234ze\).The_Environmental_Alternative_to_Traditional_Refrigerants_/Solstice.8p.\(2015\).](http://www.mandieselturbo.com.Solstice®_ze_Refrigerant_(HFO-1234ze).The_Environmental_Alternative_to_Traditional_Refrigerants_/Solstice.8p.(2015).)
6. Kornienko V., Radchenko M., Radchenko R., Konovalov D., Andreev A., Pyrynsunko M.: Improving the efficiency of heat recovery circuits of cogeneration plants with combustion of water-fuel emulsions. Thermal Science 25(1, Part B), 791-800 (2021), doi: 10.2298/TSCI200116154K.
7. Radchenko R., Pyrynsunko M., Radchenko A., Andreev A., Kornienko V.: Ship engine intake air cooling by ejector chiller using recirculation gas. In: Tonkonogyi V. et al. (eds.) Advanced Manufacturing Processes II. InterPartner-2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 734-743. Springer, Cham (2021) https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_71
8. MAN Diesel Turbo.: CEAS Engine Calculations, <https://marine.man-es.com/two-stroke/ceas>, last accessed 2019/06/22

ANALYSIS OF THE STABILITY OF MARINE NAVIGATION COMPLEX SYSTEMS FROM THE POINT OF VIEW OF THE QS

Plotnikov V.I., Abramov G.S., Makarchuk D.V.
Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)

Relevance of research. At the current level of technology development and methods of automating the use of simple autonomous means of navigation, such as a classic magnetic compass (replaced by an electronic magnetic compass), a classic gyrocompass (replaced by fiber-optic, satellite, laser ones), a classic sounder (replaced by a sectoral or circular survey sonar) takes second place plan.

But what happens if the ship gets into an unusual situation, be it waves and lightning during a storm, short circuits due to flooding or fire, loss of satellite signal for any reason, pirate attack? What is the stability of the modern navigation system? We suggest taking several steps in the direction of solving the last question.

In modern conditions, there is more often an overabundance of equipment than a lack of it, and this is often justified. The cargo and the ship cost a lot and it is not in the interests of the shipowner and the shipper to lose this money due to the malfunction of the navigation equipment, the costs of which are not so great against the background of the cost of the ship and cargo [1-4].

To analyse the effectiveness of technical systems, there exists a well-developed apparatus of the queueing system theory, which allows one to find the probabilities of various conditions in queueing systems (QS), as well as determine the correlations between certain parameters of QS and their efficiency metrics [5-7].

The random nature of the flow of applications and their service time leads to irregular loading of the QS: in another period, unserved orders may collect in the input, which leads to overloading of the QS, and in some cases, when there are free channels at the QS entrance, there will be no applications, which leads to underloading of the QS, i.e. to idling of its channels. Orders accumulated in the entrance of the QS will either become in the queue, or due to the impossibility of further stay in the queue, they will leave the QS unserved.

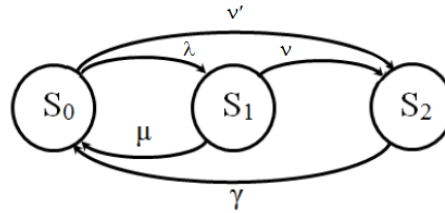
The structure of the service system is determined by the number and mutual location of service channels (mechanisms, devices, etc.). First of all, it should be emphasized that a service system can have not one service channel, but several: a system of this kind is able to serve several requirements at the same time. Here again, all the service channels offer the same services, and hence it can be argued that parallel service is taking place.

The goal of the work. Investigate the issue of stability of elements of the ship's navigation system from the point of view of mass service theory.

Main part. Let us consider one of the elements of the ship's navigation system as a single-channel QS with failures.

Let the simplest flow of requests arrive at its input with intensity λ . Service time – exponential with parameter $\mu = \frac{1}{\bar{t}_{\text{обсл}}}$, where $\bar{t}_{\text{обсл}}$ – average request service time. This means that the service flow is the simplest, i.e. stationary Poisson with intensity μ . A working channel may fail with some probability – refuse. We will assume that the flow of failures – also the simplest with intensity ν . Restoration of the channel's operability begins immediately after its failure, and the repair time has an exponential distribution with the parameter (intensity) $\gamma = \frac{1}{t_p}$, where t_p – average recovery time (repair). A similar statement of the problem is given in [8], where the navigator was considered as a service channel. In this work, the problem statement is complicated by the assumption of the possibility of a channel failure and in an idle state, with an intensity ν' . It is natural to assume that $\nu' < \nu$.

The QS state graph will look like:



where S_0 – channel is free;
 S_1 – channel is busy (working), good;
 S_2 – channel failed, restored.

Let us find the final probabilities of the states of this system and the characteristics of its efficiency: A – absolute throughput and Q – relative throughput (probability of servicing an incoming request).

The algebraic system of equations for the final probabilities of states, which is obtained from the system of Kolmogorov differential equations when their left-hand sides (derivatives of state probabilities with respect to time) are zeroed, has the following form:

$$\begin{cases} (\lambda + \nu')p_0 = \mu p_1 + \gamma p_2 \\ (\mu + \nu)p_1 = \lambda p_0 \\ \gamma p_2 = \nu p_1 + \nu' p_0 \end{cases} \quad (1)$$

Adding to this system the condition of normalization to unity:

$$p_0 + p_1 + p_2 = 1 \quad (2)$$

Find the desired final probabilities:

$$p_0 = \left[1 + \frac{\lambda}{\mu + \nu} + \frac{\lambda\nu + \mu\nu' + \nu\nu'}{\gamma(\mu + \nu)} \right]^{-1} \quad (3)$$

$$p_1 = \frac{\lambda}{\mu + \nu} p_0 \quad (4)$$

$$p_2 = \frac{\lambda\nu + \mu\nu' + \nu\nu'}{\gamma(\mu + \nu)} p_0 \quad (5)$$

To find the relative throughput, we use the considerations given in [8], we get:

$$Q = p_0 \frac{\mu}{\mu + \nu} \quad (6)$$

Absolute throughput:

$$A = \lambda Q = p_0 \frac{\lambda\mu}{\mu + \nu} \quad (7)$$

Simplifying for numerical calculation the expression for Q , we get:

$$Q = \frac{\mu\gamma}{(\mu + \nu)(\gamma + \nu') + \lambda(\gamma + \nu)} \quad (8)$$

So, the probability of servicing the incoming request Q depends on five parameters-intensities of the corresponding flows: λ , μ , γ , ν и ν' .

Let's calculate the value of Q for various combinations of the above parameters.

Figures 1-6 display the calculations for probabilities of incoming request fulfillment for various sailing conditions and under varying intensities of incoming request streams, failure streams, and recovery streams [8].

Figures 1-2 display the correlations for easy sailing conditions (open sea, ocean). We can see here that as the stream of requests intensifies from 2 to 6 per hour, the probability of

fulfilling the request decreases. A high value of the probability Q (approaching 1) can be reached by increasing the capacity of the servicing channel and recovery channel.

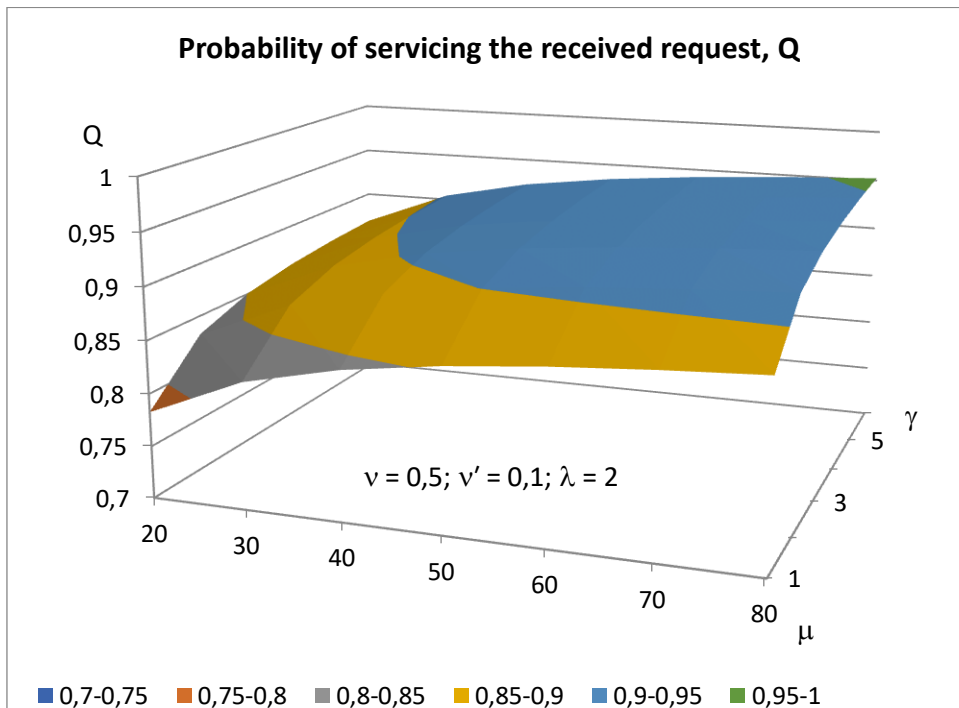


Figure 1 – Correlation between Q and λ , μ , γ , v , v' . Intensities of corresponding streams: $v = 0,5$ per hour; $v' = 0,1$ per hour; $\lambda = 2$; μ from 20 to 80 per hour; γ from 1 to 6 per hour.

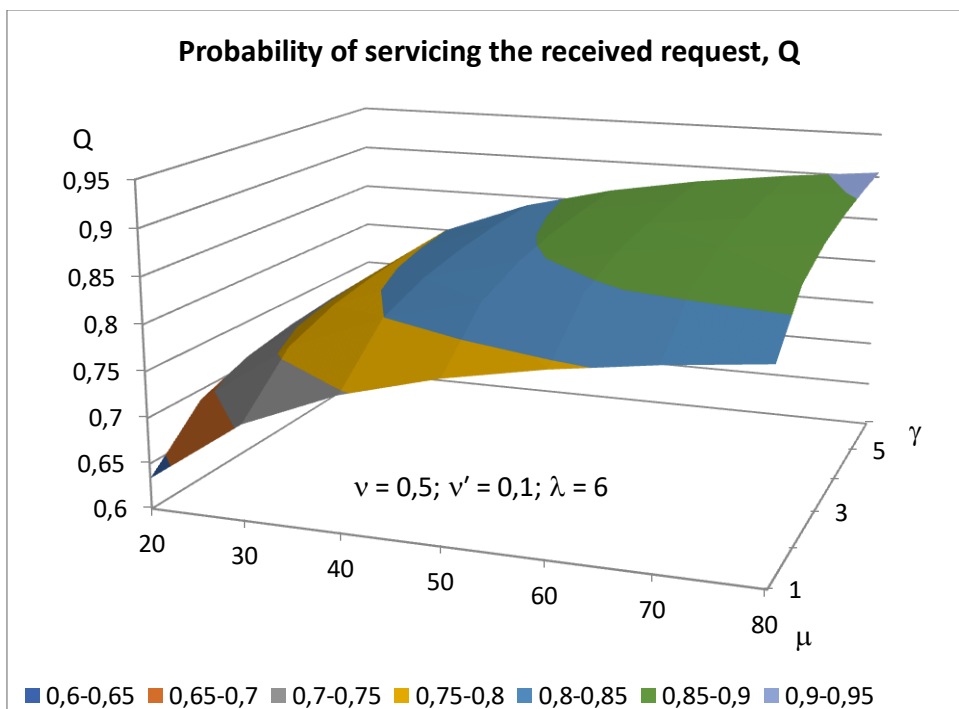


Figure 2 – Correlation between Q and λ , μ , γ , v , v' . Intensities of corresponding streams: $v = 0,5$ per hour; $v' = 0,1$ per hour; $\lambda = 6$; μ from 20 to 80 per hour; γ from 1 to 6 per hour.

Figures 3-4 display the correlations for sailing in coastal zones. Here the intensity of the failure stream increases to 1, and the intensity of the request stream to 10-20, which decreases the probability of requests being fulfilled compared to the above data.

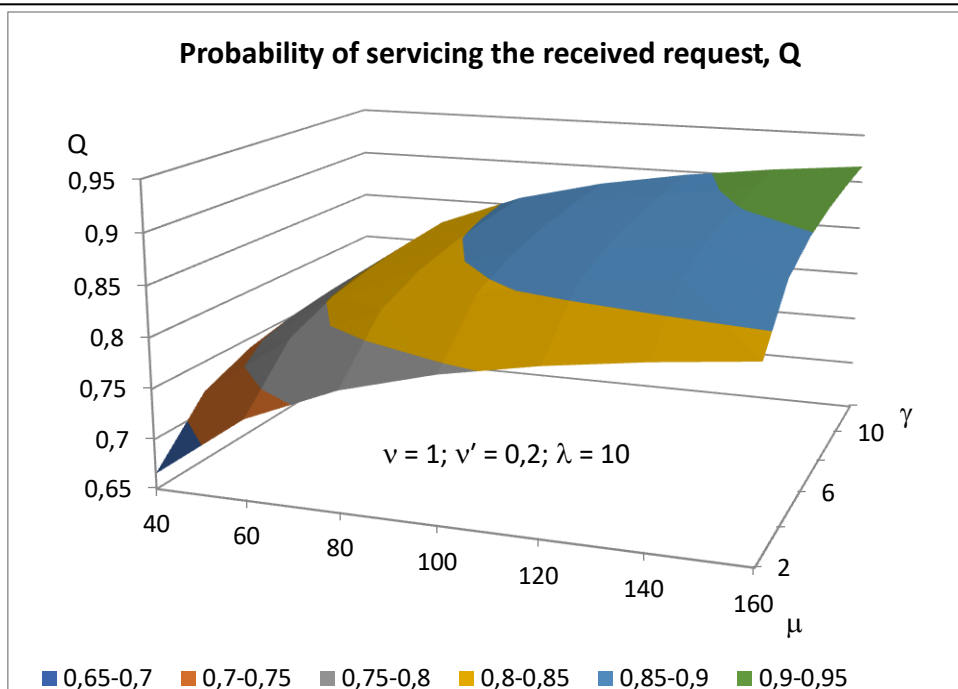


Figure 3 – Correlation between Q and λ , μ , γ , v , v' . Intensities of corresponding streams: $v=1$ per hour; $v'=0,2$ per hour; $\lambda=10$; μ from 40 to 160 per hour; γ from 2 to 12 per hour.

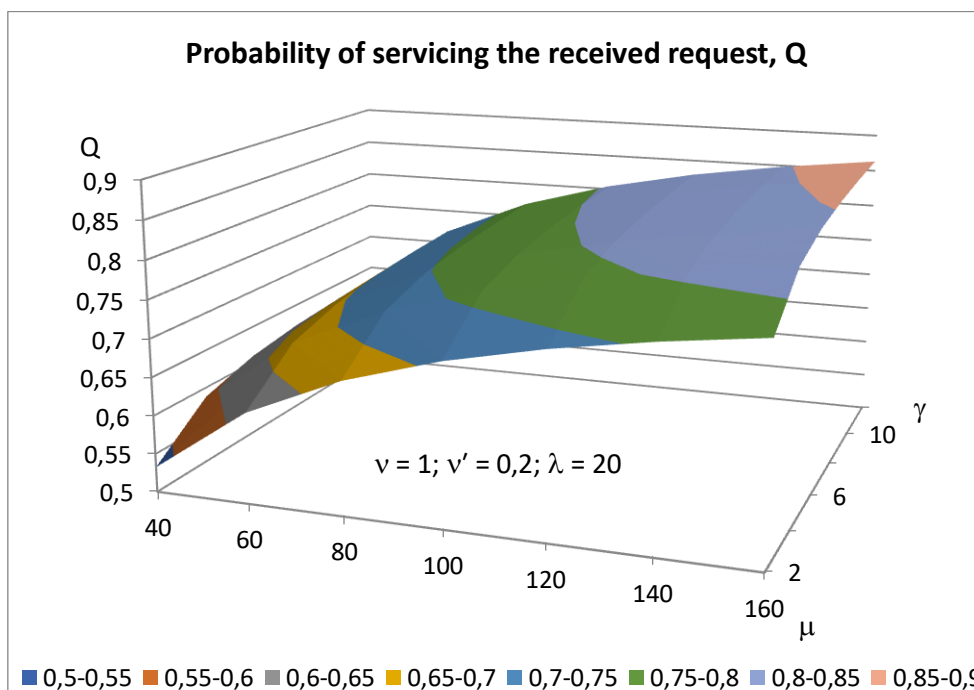


Figure 4 – Correlation between Q and λ , μ , γ , v , v' . Intensities of corresponding streams: $v=1$ per hour; $v'=0,2$ per hour; $\lambda=20$; μ from 40 to 160 per hour; γ from 2 to 12 per hour.

Figure 5-6 display the correlations for sailing in difficult navigation conditions (rivers, ports, dense traffic and poor visibility). Here the intensity of the failure stream is increased to 5, and the request stream is at 20-40, which further decreases the probability of a request being fulfilled compared to the above data.

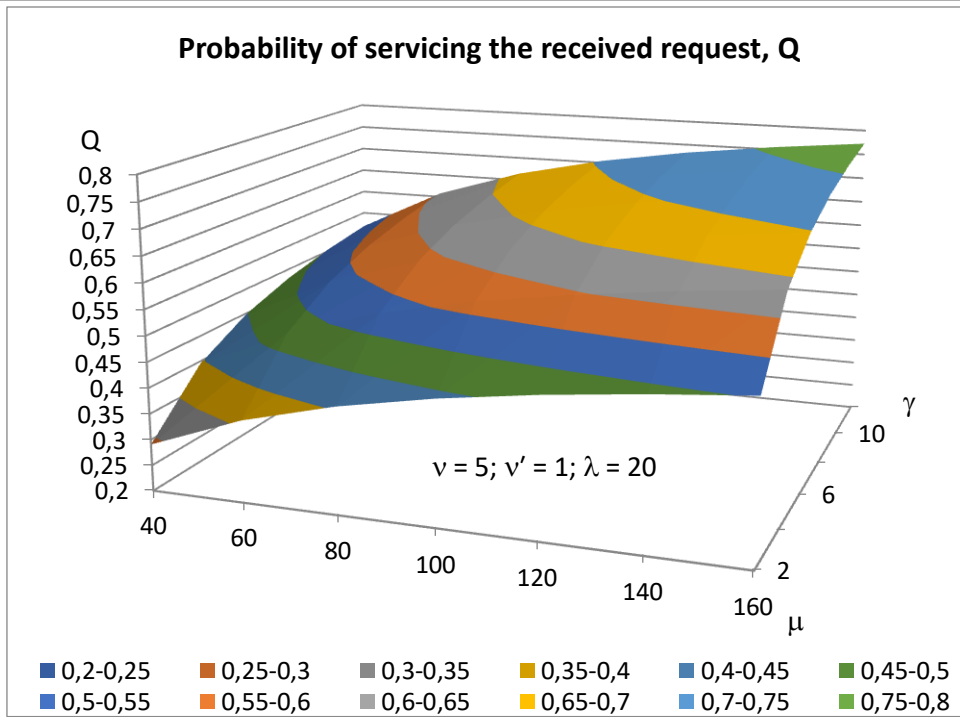


Figure 5 – Correlation between Q and λ , μ , γ , ν , ν' . Intensities of corresponding streams: $\nu=5$ per hour; $\nu' = 1$ per hour; $\lambda=20$; μ from 40 to 160 per hour; γ from 2 to 12 per hour.

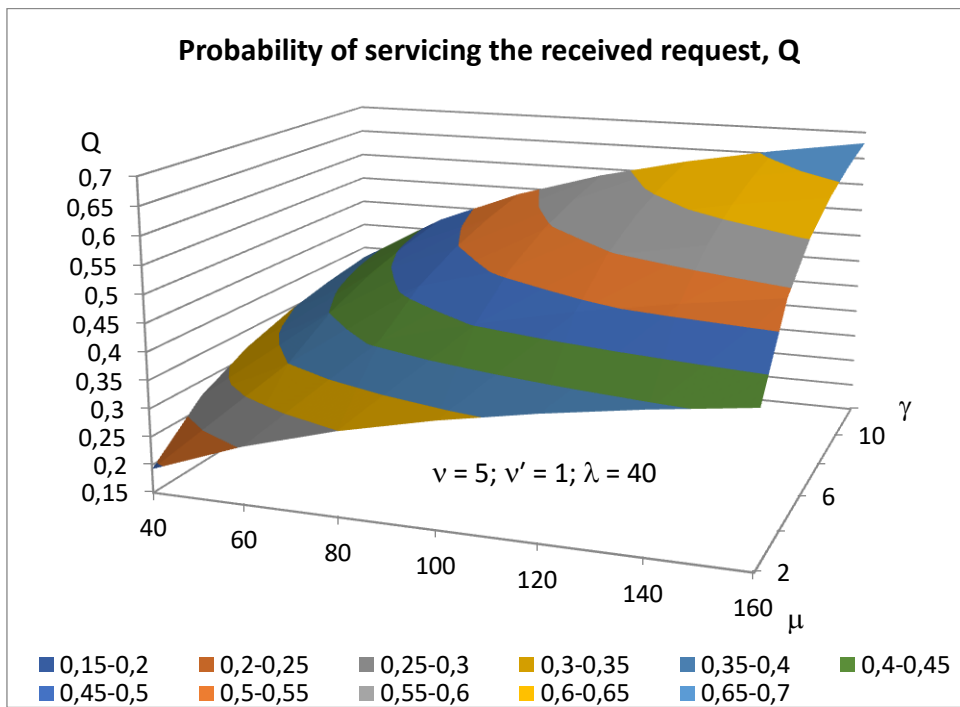


Figure 6 – Correlation between Q and λ , μ , γ , ν , ν' . Intensities of corresponding streams: $\nu=5$ per hour; $\nu' = 1$ per hour; $\lambda=40$; μ from 40 to 160 per hour; γ from 2 to 12 per hour.

Conclusions and recommendations. The simulation results make it possible to determine the influence of the initial parameters on the probability of servicing an incoming request, and thus make it possible to predict the stability of the elements of the navigation system. The results obtained make it possible to develop appropriate recommendations for improving the functional stability of the navigation complex. The simulation results show that with an increase in the intensity of the flow of failures against the background of an increase in

the intensity of the flow of requests, the probability of fulfilling the incoming request sharply decreases, that is, the performance of the navigation complex.

With a critical decrease in the probability of failure-free operation of equipment, it is necessary to provide for the possibility of quickly replacing failed modules and blocks of the navigation system (thereby significantly increasing the intensity of the restoration flow), and in the most vital cases, the need for a “hot standby” to ensure the uninterrupted operation of the navigation complex.

On the other hand, there is a danger of losing internal connections of the system. For example, the gyrocompass does not receive information about the speed of the vessel, as a result, there will be a speed deviation in its indicators. For an operator who does not have in-depth knowledge of the system structure and its elements, this fact will remain unnoticed and, as a result, will lead to errors during the control of the vessel.

Thus, the developed stability model of the navigation system allows simulating various emergency situations. As a result of the simulation, it was found out how the performance of the system depends on the parameters: λ , μ , γ , ν , ν' . On the other hand, the system has a large number of internal connections. Violation of one of them can lead to incorrect operation of the system.

One of the main results of the research can be considered the assessment of the necessary degree of duplication of navigation devices to maintain the appropriate level of system reliability, since the reduction of Q to 0.7 and below leads to the occurrence of a critical situation on the ship. As shown in Figures 1-6, depending on the navigational conditions of sailing, the probability of fulfilling the request changes, which determines the need to take measures to ensure the stability of the navigation system under more difficult conditions.

REFERENCES

1. A.A. Ivanov, N.U. Ivanovsky. Study of the stability of the navigation system of a sea vessel: Information and control systems. Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Autonomous Republic of Crimea, Ukraine, 2013.
2. Vagushchenko, L.L. Ship navigation and information systems [Text] / L.L. Vagushchenko. – Odessa: Latstar, 2004. – 302 p.
3. Vagushchenko, L.L. Integrated navigation bridge system [Text] / L.L. Vagushchenko. – Odessa: Latstar, 2003. – 170 p.
4. Intelligent systems in marine research and technology [Text] / Ed. Y.I. Nechaev; V.L. Alexandrov, A.P. Matlakh, Y.I. Nechaev and others – St. Petersburg: Publishing Center of SPbGTMU, 2001. – 391 p.
5. Selivyorstov P.Y., Aubakirov S.K. System of mass service. Post capacity: Bulletin of Science and Education No. 6(18). L. N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan, 2016.
6. Ventsel E.S. The probability theory. – M.: Nauka, 1964. – 564 p.
7. Ovcharov L.A. Applied cases in the queueing theory. – M.: Mashynostroyeniye, 1969. – 324p.
8. Abramov G.S., Makarchuk D.V., Nosov P.S., Zinchenko S.M. The ship officer as a failure-prone single-channel queueing system: Materials of the 13th international scientific and practical conference, Kherson, May 21-27, 2021. – 364 p.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Продащук С.М., Кім К.В., Гордідан Д.С., Біда І.М.
Український державний університет залізничного транспорту
(Україна)

Вступ. Розвиток перевезень вантажів в контейнерах сприяє збільшенню енергоефективності, екологічності та безпеки перевезень, порівняно з іншими формами організації доставки. Але на сьогодні Україна не має потрібного транспортного, технічного, програмного забезпечення для ефективної організації контейнерних перевезень. Потрібна технічна модернізація транспортних споруд та засобів, удосконалення систем інформаційного забезпечення [1].

Актуальність досліджень. Наша країна зараз знаходиться в дуже важких умовах, інфраструктура частково окупована та під постійними обстрілами ворога. Залізниця не може працювати в повній мірі. Постійні ракетні удари по нашій енергетичній інфраструктурі ускладнюють роботу всіх транспортних об'єктів, і зокрема контейнерних терміналів. Крім того, що контейнерним терміналам доводиться працювати за скороченим графіком, не 24 години, а 16 годин через режим світломаскування, так ще із-за за відсутності електроенергії зупиняється робота козлових кранів, що призводить до збільшення простоїв контейнерів на площадках та їх накопичення. Контейнерні состави, навіть за відсутності електроенергії прибувають вчасно, за рахунок використання електронезалежних тепловозів. Виникає проблема більш раціонального використання наявних контейнерів при забезпеченні зменшення простою порожніх та не розвантажених з урахуванням почасового відключення світла та скорочення робочого часу, що значно уповільнює процес їх переробки. Для вирішення цієї проблеми та удосконалення технологій роботи в сучасних умовах потрібно використовувати більш енергонезалежні та швидкі технології [2].

Постановка задачі. Таким чином, удосконалення технології переробки контейнерів в сучасних умовах є об'єктивно необхідним процесом, спрямованим на підвищення надійності та ефективності функціонування транспортної галузі.

Результати досліджень. Для удосконалення технології переробки контейнерів в сучасних умовах запропоновано використання контейнерних навантажувачів з висувною крановою стрілою (річстакерів), які є більш ефективними в порівнянні з козовими контейнерними кранами [3].

Річстакер – це навантажувач, призначений для роботи з контейнерами. Являє собою машину великого розміру, здатну працювати з вантажами до 45 тонн. Перевагами такої технології буде: відсутність підкранових колій; відсутність мережі силової електроенергії, тобто відсутні витрати на її спорудження та технічне утримання, також скорочення експлуатаційних витрат за рахунок відсутності споживання електроенергії; автонавантажувачі мають більш високу експлуатаційну надійність; можливість штабелювання контейнерів до 5 ярусів по висоті; автонавантажувачі швидше пересовуються по площадці (150-200 м/хв) порівняно з краном (60 м/хв) і тому мають вищу продуктивність; розширення та простота реконструкції контейнерної площадки в разі її пошкодження у зв'язку з відсутністю стаціонарних споруд (підкранових колій, мережі електропостачання); при необхідності можливість збільшення переробної спроможності шляхом додавання необхідної кількості навантажувачів; значне підвищення надійності безперервної роботи в сучасних умовах через відсутність залежності від зовнішніх електропостачальних мереж, що дозволяє автономно діяти упродовж всього робочого часу; необмежена зона дії, висока маневреність по всій площадці на контейнерному терміналі [4]

Визначено, що собівартість однієї контейнеро-операції річстакером дешевше ніж козловим краном, швидкість виконання контейнеро-операції вища, тобто за 16 годин він опрацює більшу кількість контейнерів. Річстакер електронезалежний. У разі пошкодження критичної інфраструктури та подачі електроенергії за графіком 2 год. вимкнене світло, 4 год. увімкнене (з 16 годин простій до 5год.) або 4 год.-2 год. (простій до 9 год.) електронезалежний кран буде у простої, тобто працювати з 16 годин дозволеного часу він буде 11, або 7 годин, а у випадку блекауту не зможе працювати зовсім. Річстакер енергонезалежний, тому він буде працювати не залежно від стану електромережі, не зупиняючи процес обробки контейнерів на терміналі. Річстакер дозволяє більш компактно складати контейнери (4-5 ярусів), що допомагає економити місце на площадці. Ще однією дуже великою перевагою є те, що під час повітряних тривог витрачається менше часу для того, щоб покинути машину та відправитись в укриття, що є більш безпечним.

Висновки. Таким чином, запропонований варіант технічного оснащення контейнерного пункту є ефективним та більш надійним для безперервної роботи. Крім того річстакер по економічним показникам перевершує козловий кран, тому його використання буде доцільним і в мирний час.

ЛІТЕРАТУРА

1. Наука і сталий розвиток транспорту. URL: http://ndch.diit.edu.ua/upload/Конференции/2021/81_All_UA_ST_Conference_of_YSMS_SSD_of_Transport/Innovative_Technologies_in_Logistics_2021.pdf (дата звернення: 20.04.2023).
2. Проект плану відновлення України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/restoration-and-development-of-infrastructure.pdf> (дата звернення: 20.04.2023).
3. Річстакери, навантажувачі контейнерів. URL: <https://jak.bono.odessa.ua/articles/richstakeram-navantazhuvachi-kontejneriv.php> (дата звернення: 20.04.2023).
4. Річстакери для обробки контейнерів. URL: <https://mhm.net.ua/news/richstakery-dlya-obrobky-kontejneriv/> (дата звернення: 20.04.2023).

УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ МУФТ З ПАКЕТАМИ ГІЛЬЗОВИХ ПРУЖИН

Проценко В.О.¹, Малащенко В.О.², Настасенко В.О.¹, Бабій М.В.¹

Херсонська державна морська академія (Україна)¹

Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)¹

Вступ. Муфти з пакетами гільзових пружин набули поширення, зокрема, для сполучення маховика дизелів з трансмісією через їх високу навантажувальну та демпфуючу здатність, реверсивність передачі навантаження [1-4]. Муфта (рис. 1, рис. 2) містить внутрішню півмуфту (зірку) 1 з відфрезерованими на зовнішній поверхні западинами 2 півкруглого профілю (їх кількість z відповідіє кількості пружних елементів 3 у вигляді пакетів гільзових пружин), встановлену співвісно зірці 1 зовнішню півмуфту 4 (обойму), де півкруглі западини 5 виконані на внутрішній поверхні з тим же кутовим кроком. У складеній муфті западини зірки та обойми утворюють кругові отвори в які встановлено пакети пружин 3. У кругових западинах 2 внутрішньої півмуфти 1 виконані також пази 6 прямокутного профілю, в яких закріплено напрямні 7, що мають голівки круглого перерізу для установки на них пружних елементів та хвостики для закріплення в пазах 6. У дизелях обойма 4 муфти кріпиться до маховика 8, і закривається з іншого боку кришкою 9, а фланець 10 зірки 1 закріплюється на колінчастому валу дизеля і муфта працює як показано на рис. 2 (зірка – ведуча, обойма – ведена).

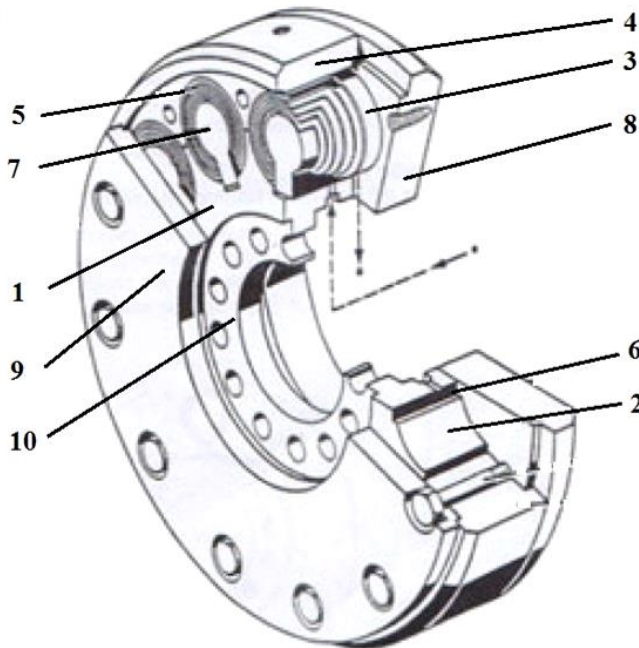


Рисунок 1 – Схема муфти з пакетами гільзових пружин (виконання для сполучення маховика дизеля з колінчастим валом)



Рисунок 2 – Схема роботи пружного елемента муфти за рис. 1

Актуальність. В існуючих рекомендаціях щодо розрахунку таких муфт [1, 2] прийнята модель про передачу пакетом пружин колового зусилля. Таке припущення є неточним і дає результати аналітичного розрахунку жорсткості муфти майже вдвічі більше, ніж демонструють експериментальні дослідження [3, 4], що може призвести до значних похибок в уточнених розрахунках, зокрема динамічних. Таке припущення не може бути вірним, оскільки між півмуфтами та пакетами пружин присутній зазор (рис. 2), тому завданням роботи було уточнити розрахункову модель муфти для отримання більш наближених до експериментів її параметрів, зокрема крутильної жорсткості.

Результати. В розробленій авторами розрахунковій моделі зроблено припущення, що передавання обертового моменту з ведучої зірки на ведену обойму реалізується за рахунок навантаження кожного пакету пружин радіального зусилля F_r . Відтак, вважали, що радіальна сила F_r прикладається до пакету пружин на дузі AB довжиною l , де пакет має найбільшу радіальну піддатливість за рахунок вирізу під напрямні шириною t . Вважаючи, що деформації та радіальні тиски q на цій дузі розподіляються за законом трикутника, приймали, що сила F_r прикладається в центрі ваги трикутника тисків на відстані $l/3$ від краю прорізу пакету. Тому робочою ділянкою пакету пружин буде дуга AC , яку стягує кут $\alpha = \pi$, тому в далі вважали пружний елемент закріпленим в перерізі $I-I$, що знаходиться на лінії дії сили F_r .

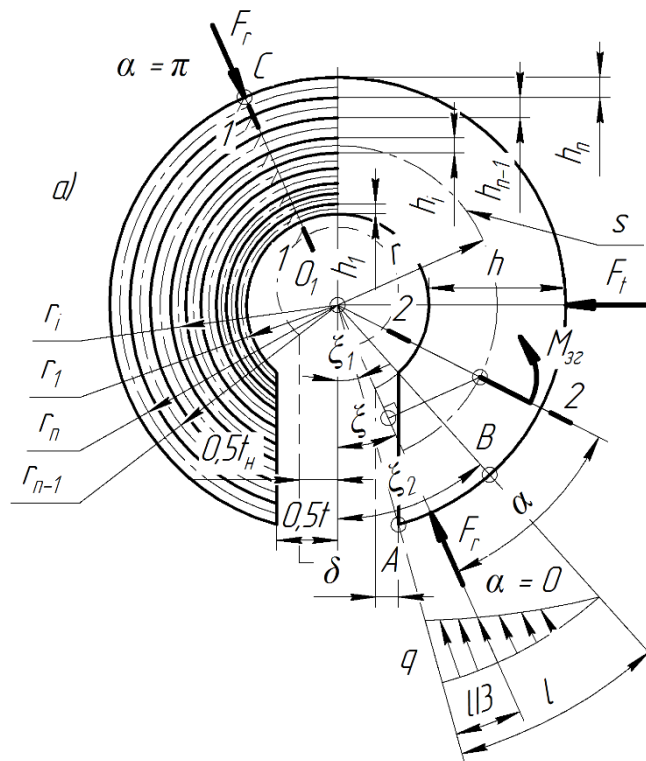


Рисунок 3 – Схема до розрахунку пружного елемента

Розрахунок пружних елементів муфти базується на теорії згину брусів великої кривини [5], де отримано вирази для обчислення навантаження пружних елементів та крутильної жорсткості муфти.

Висновок. Результати розрахунку за отриманими виразами показують відмінність від експериментів [3, 4] на рівні 4%, що дозволяє рекомендувати їх для впровадження у практику інженерних розрахунків під час проектування приводів машин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Поляков В.С. Справочник по муфтам / В.С. Поляков, И.Д. Барбаш, О.А. Ряховский / Под ред. В.С. Полякова. – Л.: Машиностроение, 1979. – 344 с.
2. Орлов В.А. О расчете упругих муфт с пакетами гильзовых пружин / В.А. Орлов, А.Б. Хмелевский // Детали машин. – 1989. – Вып. 48. – С. 26-28.
3. Hwang B., Jeon C., Bae W. & Kim C. A study of structural analysis and dynamic characteristics of a sleeve spring torsional vibration damper. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2010; 49:185–194. DOI 10.1007/s00170-009-2367-2
4. Hwang B., Bae W. & Kim C. Process analysis and test of manufacturing of sleeve spring-type torsional vibration damper. *Journal of Mechanical Science and Technology.* 2010; 24(6): 1301–1309. DOI 10.1007/s12206-010-0343-2
5. Чаюн І.М. Опір матеріалів / І.М. Чаюн. - О.: Астропринт, 2005. - 344 с.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВА З НАДНИЗЬКИМ ВМІСТОМ СІРКИ

Сагін А.С.

Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)

Вступ. Двигуни внутрішнього згоряння займають домінуюче положення на судах морського та внутрішнього водного транспорту, де вони забезпечують рух судна та постачання електроенергією суднових механізмів та приладів. Експлуатація двигунів енергетичних установок морських та річкових суден неможлива без викидів в атмосферу забруднюючих речовин, які утворюються під час згоряння палива та входять до складу випускних газів. Найбільших збитків довкіллю завдається незгорілими вуглеводнями, твердими частинки, оксидами азоту, парниковими газами та оксидами сірки. У той час як на утворення ряду небезпечних компонентів, що входять до складу випускних газів, вдається впливати за рахунок спеціальної організації процесів в циліндрі двигуна, емісія сірковмісних компонентів цілком і повністю визначається вмістом сірки у паливі [1, 2].

Даній проблемі присвячено увагу міжнародних організацій: IMO (International Maritime Organization – Міжнародна морська організація), ICS (International Chamber of Shipping – Міжнародна палата судноплавства), ISO (International Standard Organization – Міжнародна організація зі стандартизації), які розробляють та впроваджують конвенції, правила та резолюції, спрямовані на захист довкілля, та великої кількості класифікаційних товариств: Det Norske Veritas та Germanischer Lloyd (DNV GL), Регістр Ллойда (Lloyd's Register of Shipping), Бюро Veritas (Bureau Veritas), Американське бюро судноплавства (The American bureau of shipping), Регістр судноплавства України та інші, які виконують огляд за енергетичними установками морських суден [3].

З 2020 р. набули чинності нові правила (які встановлює Додаток VI Міжнародної конвенції по запобіганню забруднення з суден – MARPOL) щодо обмеження до 0,5 % та в до 0,1 % в спеціальних екологічних районах вмісту сірки у паливі, що використовується на судах. Нові вимоги діють у всіх міжнародних водах. Обмеження щодо вмісту сірки в паливі спрямовані на запобігання забруднення довкілля оксидами сірки, які утворюються під час згоряння палива. Досягнення нормативних показників викидів оксидів сірки може бути отримано в результаті використання спеціальних видів палива з низьким вмістом сірки (в тому числі газоподібного) або шляхом очищення у спеціальних периферійних пристроях випускних газів двигунів під час їх експлуатації на паливах з підвищеним вмістом сірки.

Актуальність дослідження. Під час поповнення запасів палива суднові механіки стикаються з проблемою, що пов'язана з необхідністю бункерування паливом із наднизким вмістом сірки (на рівні 0,03...0,06 % за масою). Постачання палива з такими характеристиками широко розповсюджено під час бункерування в спеціальних екологічних районах по контролю емісії викидів сірки (Sulphur Emission Control Areas – SECA) [4, 5]. З боку постачальника це пов'язано з двома обставинами: перше – чим нижче вміст сірки в паливі тем воно дорожче, друге – бажання Адміністрації країни, в якій здійснюється бункерування та планується перехід або тривала робота судна, гарантувати максимально низьку емісію оксидів сірки в межах національної акваторії. Палива з наднизким вмістом сірки мають ряд особливостей у порівнянні із паливами, вміст сірки в яких досягає 0,5 %. При цьому найбільш важливою особливістю є низькі значення в'язкості палива під час його знаходженні в паливних елементах високого тиску, та знижена (також в порівнянні з паливом зі вмістом сірки 0,5 %) змащувальна здатність палива, що призводить до виникнення протічок палива зменшує тиск нагнітання та впорскування палива, сприяє зниженню циклової подачі палива. Все перелічені обумовлює зниження потужності дизеля. Викладене підтверджує актуальність науково-

прикладного завдання з забезпечення процесу впорскування палива з наднизьким вмістом сірки.

Постановка задачі. Задачею дослідження було визначення найбільш раціонального та сприятливого способу забезпечення в'язкісних характеристик палива з наднизьким вмістом сірки.

Результати досліджень. Дослідження виконувались на судновому чотиритактному дизелі 9MaK43, який використовувався як головний двигун на навалювальному судні дедвейтом 35400 тонн. Під час знаходження судна поза районів SECA для роботи дизеля використовувалось паливо RMB180 зі вмістом сірки 0,5 %. Під час знаходження судна в районах SECA (зокрема в територіальних водах Китаю), відповідно до вимог Додатку VI МАРПОЛ використовувалось паливо з наднизьким вмістом сірки 0,04 % (Very Low Sulphur Fuel Oil – VLSFO). Спрощена схема подачі палива до дизелю наведена на рис. 1.

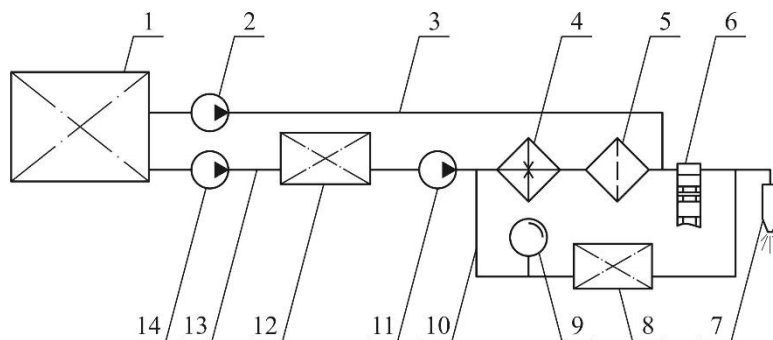


Рисунок 1 – Спрощена схема подачі палива до дизелю:

1 – цистерна запасу палива; 2 – додатковий насос, що підкачує; 3 – додаткова паливна магістраль; 4 – підігрівач палива; 5 – паливний фільтр; 6 – паливний насос високого тиску; 7 – форсунка; 8 – цистерна збору витоків палива; 9 – витратомір; 10 – магістраль повернення палива; 11 – насос, що підкачує; 12 – витратна паливна цистерна; 13 – основна паливна магістраль; 14 – основний насос, що підкачує

Подача палива до дизеля виконувалась в такий спосіб. З цистерни запасу палива 1 основний насос, що підкачує 14 спрямовує палива по основній паливній магістралі 13 до витратної паливної цистерни 12. Далі насос, що підкачує 11 забезпечував нагнітання палива до паливного насоса високого тиску 6 через підігрівач палива 4 (який забезпечував охолодження палива лише у випадку використання палива зі вмістом сірки 0,5 %) та паливний фільтр 5. Кінцева фаза процесу подачі палива до циліндрів дизеля забезпечувалась паливним насосом високого тиску (ПНВТ) 6 та форсункою 7. Відсічне паливо від ПНВТ, а також паливо, що утворювалося за результатом протічок скрізь плунжер та втулку ПНВТ накопичувалось в цистерні збору витоків палива 8 та поверталось в загальну систему через магістраль повернення палива 10. Кількість цього палива визначалось за витратоміром 9.

Визначимо, що на всьому шляху подачі палива з цистерни запасу палива 1 до ПНВТ відбувається його нагрівання через механічний рух та підвищені температури в машинному відділенні. Це додаткове сприяє зниженню його в'язкості під час нагнітання ПНВТ та підвищує кількість протічок палива через елементи ПНВТ.

З метою попередження цього негативного явища було запропоноване встановлення додаткової паливної магістралі 3, яке поєднувала цистерну запасу палива та осередок основної паливної системи, що знаходиться між паливним фільтром 5 та ПНВТ 6. Рух палива на цієї ділянці забезпечувався додатковим насосом, що підкачує 2. Відбір палива з цистерни запасу 1 в цьому випадку здійснювався з її середньої частини, що попереджувало потрапляння до обсягу палива води та домішок (утворення яких можливо

в цистерні 1 та видалення яких забезпечується шляхом відстоювання палива) та таким чином виключало необхідність встановлення додаткового паливного фільтра.

Як показник, що характеризує якість процесу подачі палива до циліндрів дизеля, обиралась відносна витрата відсічного палива та витрата палива, що утворилось за результатом протічок ΔG (що далі визначається як «відсічне»), яка визначалась за виразом

$$\Delta G = \frac{G_{0,04}}{G_{0,04}} \cdot 100\% \quad \text{або} \quad \Delta G = \frac{G_{0,04}^d}{G_{0,04}} \cdot 100\% \quad \text{або} \quad \Delta G = \frac{G_{0,5}}{G_{0,04}} \cdot 100\%;$$

де $G_{0,04}$, $G_{0,04}^d$, $G_{0,5}$ – витрата відсічного палива зі вмістом сірки 0,04 %, витрата відсічного палива зі вмістом сірки 0,04 % та його подачі до дизелю через додаткову паливну магістраль, витрата відсічного палива зі вмістом сірки 0,5 % відповідно.

Для всіх випадків витрата відсічного палива визначалась за допомогою витратоміра 9 (див. рис. 1). Результати з вимірювання та розрахунку відносної витрати відсічного палива надані в таблиці 1.

Таблиця 1 – Відносна витрата відсічного палива для різних умов експлуатації паливної системи суднового дизеля 9MaK43

	Умови експлуатації паливної системи		
	I	II	III
Відносна витрата відсічного палива, ΔG , %	100	36...41	14...18

Примітка: I – використання палива зі вмістом сірки 0,04 %; II – використання палива зі вмістом сірки 0,04 % та його подача до дизелю через додаткову паливну магістраль; III – використання палива зі вмістом сірки 0,5 %

Для кращої візуалізації отриманих результатів за даними таблиці 1 побудовані номограми, що подані на рис. 2.

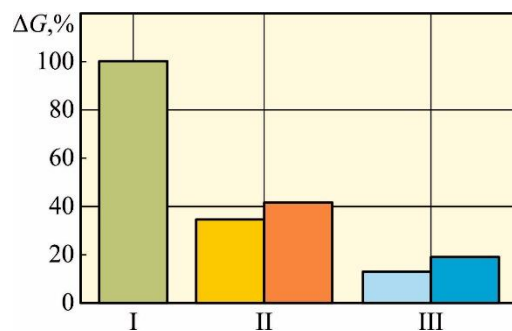


Рисунок 2 – Відносна зміна кількості палива в магістралі повернення палива:

I – використання палива зі вмістом сірки 0,04 %; II – використання палива зі вмістом сірки 0,04 % та його подача до дизелю через додаткову паливну магістраль; III – використання палива зі вмістом сірки 0,5 %

Роботи з переобладнання паливної системи виконувались судновим екіпажем за узгодженням з департаментом технічного менеджменту компанії, якої належить судно. Під час проведення досліджень забезпечувались всі вимоги, що висуваються до безпеки праці та охорони довкілля, а також всі обмеження, що обговорені в інструкції з експлуатації суднового дизеля.

Висновки. За результатами досліджень визначимо наступне.

1. Під час обов'язкового виконання вимог Додатку VI МАРПОЛ щодо попередження забруднення довкілля оксидами сірки як паливо, що постачається на морські судна може бути отримано паливо з наднизьким вмістом сірки (до 0,03...0,06 % за масою). Через знижену в'язкість та мастильну здатність цього палива, а також підвищений тиск в паливному насосі високого тиску, що забезпечує нагнітання палива в паливну магістраль високого тиску та спрямовує паливо до форсунки, виникають зайві (в порівнянні з паливом зі вмістом сірки 0,5 % за масою) протічки цього палива. Це знижує циклову подачу палива та призводить до зменшення ефективної потужності дизеля. Підвищенню температури палива в паливній системі та відповідному зменшенню його в'язкості також сприяє його нагрівання через механічний рух та підвищені температури в машинному відділенні.

2. Як спосіб, що попереджує зайве нагрівання палива з наднизьким вмістом сірки, запропоновано його спрямування з цистерну запасу безпосередньо до паливного насоса високого тиску через додаткову паливну магістраль. Відбір палива з цистерни запасу в цьому випадку не обходимо виконувати з її середньої частини, що попереджує потрапляння до обсягу палива води та домішок (утворення яких можливо в цистерні запасу та видалення яких забезпечується шляхом відстоювання палива). Це виключає необхідність встановлення додаткового паливного фільтра, скорочує протяжність системи та виключає додаткове обладнання та арматуру.

3. Як показник, що характеризує якість процесу подачі палива до циліндрів дизеля за різних умов експлуатації, доцільно обрати відносну витрату відсічного палива. Експериментально встановлені наступні значення цього показника:

у випадку використання палива зі наднизьким вмістом сірки (а саме 0,04 % за масою) – 100 %

у випадку використання палива зі вмістом сірки 0,04 % та його подачі до дизелю через додаткову паливну магістраль – 36...41 %;

у випадку використання палива зі вмістом сірки 0,5 % – 14...18 %.

Наведені результати свідчать про зниження кількості протічок палива у разі використання запропонованого способу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сагін А.С., Заблоцький Ю.В. Регенерація змащувальних властивостей моторних палив і мастил під час експлуатації суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 17-30. doi: 10.31653/smf45.2022.17-30.

2. Сагін С.В., Побережний Р.В. Аналіз ефективності використання в суднових дизелях палив різного фракційного та структурного складу // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 31-42. doi: 10.31653/smf45.2022.31142-42.

3. Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Визначення динамічних навантажень під час зміни режимів мащення прецизійних пар паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 121-131. doi: 10.31653/smf44.2022.121-131.

4. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.

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

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙНОГО КУРСУ ЯК ІНСТРУМЕНТ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЕТЕНТІСНОГО ПІДХОДУ В ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ

Самохвалов В.С.¹, Воїнов О.П.¹, Кобалава Г.О.¹, Воїнова С.О.²

¹Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна),

²Одеський національний технологічний університет (Україна)

Вступ. Основна мета професійної освіти в транспортній галузі – підготовка кваліфікованих фахівців відповідного рівня та профілю, конкурентоспроможних на ринку праці, компетентних, готових до постійного професійного зростання, соціальної та професійної мобільності з урахуванням комплексу специфічних особливостей транспортної галузі.

Освіта в транспортній галузі покликана забезпечувати інтеграцію України в світові економічні та культурні структури, що вимагає науково-теоретичного обґрунтування прогресивних педагогічних технологій, пошук і впровадження нових методологічних орієнтирів і педагогічних концепцій.

Для вирішення протиріч у розвитку освіти та суспільства було запропоновано концептуальну ідею «ключових компетенцій».

Компетентнісний підхід – це спрямування освітнього процесу на формування й розвиток ключових і предметних компетентностей особистості, результатом якого є формування загальної компетентності людини як її інтегрованої характеристики.

Актуальність досліджень. Враховуючи виклики часу щодо формування освітніх цілей у транспортній галузі на міждержавному рівні, необхідність використання інноваційного підходу на шляху підвищення якості підготовки майбутніх фахівців у вищій школі, динамічного поєднання знань, умінь та цінностей, доцільним та актуальним є впровадження компетентісно орієнтованого навчання в вищих транспортній сфері.

Постановка задачі. Метою дослідження є аналіз можливостей процесу складання конспекту лекцій здобувачами вищої освіти та їх роботи над ним задля забезпечення впровадження у вищій школі компетентісного підходу при підготовці фахівців транспортної галузі.

Формування компетенцій здобувачів вищої освіти відбувається шляхом засвоєння знань у ході навчального процесу, всіх його форм, зокрема базової форми – лекції, під час якої слухач складає конспект.

Як відомо, конспект прослуханого лекційного курсу, складений здобувачем вищої освіти, є основним навчальним посібником щодо цієї дисципліни.

У конспекті відображено та розставлено в порядку розвитку основ дисципліни її розділи, підрозділи, відображено її методологічні складові та розгорнуту програму. Інші навчальні матеріали з дисципліни лише доповнюють та розвивають матеріал власного конспекту.

При написанні матеріалу конспекту, у цій напруженій роботі, здобувач вищої освіти активно включає в дію зорову, слухову та моторну складові своєї пам'яті. Тому у його свідомості формується матриця, основа, базова модель матеріалу дисципліни, необхідна для її вивчення та подальшого практичного використання.

Результати досліджень. Робота з конспектом – перший робочий крок здобувача вищої освіти у самостійному складанні та розробці відповідального науково-технічного документа, призначеного для продуктивного використання ним у своїй роботі.

Після прямого використання конспекту для підготовки до лабораторної чи практичної роботи, екзамену чи заліку, здобувач вищої освіти із почуттям задоволення ставить його на полицю своєї бібліотеки для подальшого використання у навчальних

цілях.

Повноцінна робота над конспектом, що поєднується з поглибленим вивченням дисципліни, допомагає здобувачеві вищої освіти набути відчуття інтересу та задоволення не тільки роботою над цією дисципліною, а й задоволення та радість від навчання за цією, обраною ним спеціальністю в транспортній галузі.

Викладачеві важливо довести до відома здобувачів вищої освіти ту важливу обставину, що особиста бібліотека університетських конспектів зі спеціальних дисциплін, власноруч складених у навчальні роки, для його автора стають цінним творчим фондом фахівця, довідковим посібником, важливим джерелом необхідних відомостей на багато років подальшої самостійної роботи фахівця від часу закінчення ним вузу. Погляд на сторінку конспекту здатний підняти в пам'яті його автора цілий пласт необхідних цінних відомостей, допомогти колишньому здобувачеві вищої освіти відповісти на складне питання, що постало перед ним. Фахівець дбайливо зберігає свої конспекти і багато разів, при необхідності, заглядає в них, освіжаючи свої знання з науково-технічних питань. До цієї частини особистої бібліотеки спеціаліста, де зберігаються складені ним навчальні конспекти, їх автор ставиться уважно, дбайливо та любовно.

Методи та форми викладання, що застосовуються в сучасному виші, удосконалюються, творчо оновлюються. Це стосується й питання складання та використання здобувачами вищої освіти конспектів лекційних курсів.

Методика складання та подальшої розробки здобувачем вищої освіти матеріалу конспекту має для нього важливе значення.

Для продуктивної роботи здобувачів вищої освіти над конспектом викладач може запропонувати їм методичні рекомендації, потім контролювати хід їх роботи над упорядкуванням та розробкою своїх конспектів.

З боку викладача контроль над складанням та використанням конспекту лекцій доцільно вести на лекційних, на практичних заняттях та на консультаціях. Контроль має бути систематичним, ненав'язливим, але обов'язковим і водночас доброзичливим, який відкриває перед здобувачем вищої освіти можливість отримання допомоги викладача. Зрештою, контроль здатний допомагати слухачеві курсу усувати виявлені викладачем недоліки, сприяти посиленню мотивації до навчання, підвищення успішності.

Здобувач вищої освіти потребує рекомендацій та порад щодо технології складання конспекту та подальшої роботи над ним. З цього питання можна висловити такі корисні методичні поради з багаторічного досвіду зі складання конспекту аудиторної лекції.

Записи лекційного матеріалу на лекції розміщувати тільки на правій сторінці розкритого зошита конспекту.

При самостійній розробці матеріалу конспекту з прослуханої лекції, з використанням підручників та інших джерел інформації, свої думки, що пояснюють записи, формулювання, малюнки розміщувати на лівій сторінці розгорнутого конспекту, на рівні відповідних його рядків. Тут же можна тимчасово наклеїти закладку з текстом питання до викладача.

На лекції виконувати чернетку малюнка на окремому аркуші паперу з подальшим виготовленням чистовика та розміщенням його в конспекті.

При записі на лекції використовувати елементи скоропису, звичні загальновідомі літерні позначення, абрєвіатури, скорочення та ін.

Використовувати у тексті та у графічному матеріалі кольорові елементи.

У дистанційному режимі викладу матеріалу дисципліни у реальному часі, коли лекції проводяться у вигляді відеоконференцій (наприклад, на платформі ZOOM), роль навчального конспекту зростає. Він повинен включати стислий текст лекції, презентаційні матеріали, посилання на Інтернет-джерела, запропоновані викладачем у ході лекції, які дозволять за необхідності глибше вивчити питання.

При самостійному опрацюванні лекції, викладеної в Інтернеті, на сайті навчального закладу, у розділі дистанційного навчання (наприклад, у середовищі Moodle) або на сайті

кафедри студент може використовувати конспект лекцій.

Висновки

1. Освіта в транспортній галузі потребує використання прогресивних педагогічних технологій, пошуку і впровадження нових методологічних орієнтирів і педагогічних концепцій, пов'язаних з комплексом особливостей транспортної галузі.

2. Доцільним та актуальним є впровадження компетентісно орієнтованого навчання в вищих транспортній сфері.

3. Формування компетенцій здобувачів вищої освіти відбувається шляхом засвоєння знань у ході навчального процесу, всіх його форм, зокрема базової форми – лекції.

4. Викладач на початку читання лекційного курсу має запропонувати слухачам методику складання конспекту лекційного матеріалу.

5. Конспект для здобувача вищої освіти є основним методичним посібником при засвоєнні ним навчального курсу та залишається його настольною книгою в його наступній професійній діяльності.

ЗАСТОСУВАННЯ АДДИТИВНО-МУЛЬТИПЛІКАТИВНОЇ МОДЕЛІ ВІБРАЦІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДОВИХ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ

Свиридов В.І.

*Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна)*

Вступ. Технічне діагностування, будучи одним із найважливіших напрямів у підвищенні ефективності та якості експлуатації судових машин та механізмів, збільшує міжремонтне напрацювання, своєчасно запобігає відмовим і відповідно скорочує витрати праці та засобів на їх технічне обслуговування та ремонт.

Актуальність досліджень. Актуальною науковою проблемою залишається підвищення ефективності вібраційної діагностики, заснованої на вимірі та аналізі параметрів сигналу вібрації, розробка нових методів та засобів оцінки технічного стану судових технічних засобів [1]. Огляд публікацій та аналіз невирішених проблем. Вібродіагностика є одним із найефективніших методів функціональної технічної діагностики судових машин та механізмів. Проте аналіз наукових праць [1-9] показує, що до цього часу єдиної методології щодо вибору діагностичної моделі немає.

Постановка задачі. Метою дослідження є визначення узагальненої моделі вібрацій з метою оцінки технічного стану судових машин і механізмів (всіх типів).

Результати досліджень. Проведений авторами фізико-технічний аналіз судових машин та механізмів показує, що їх вібрації визначаються безліччю коливальних сил різного характеру, різної фізичної природи, а також джерелами від працюючих машин і механізмів. Аналіз [1-4] та проведені авторами вібраційні дослідження різних судових машин та механізмів показує, що для ефективного діагностування того чи іншого вузла об'єкта діагностування доцільно використовувати різні моделі сигналу вібрації. Покажемо це твердження з прикладу вібраційного діагностування судових електричних машин (ЕМ) [3]. Залежно від виду дефекту ЕМ або відхилень параметрів якості електроенергії від номінальних значень діагностичними ознаками можуть бути:

- збільшення рівнів певних гармонійних складових корпусу ЕМ, виміряних у радіальному L_R та (або) тангенціальному напрямках L_T ;
- поява нових гармонійних складових вібрації;
- виникнення амплітудної (АМ) або кутової (КМ) модуляції гармонійних складових вібрації певною частотою;
- збільшення рівнів складових на певних частотах у кепстрі сигналу вібрації.

1. Діагностичною ознакою появи обривів і коротких замикань (КЗ) в обмотках статора асинхронних електродвигунів (АД) і синхронних машин (СМ) є збільшення рівнів тангенціальної вібрації L_T на частоті $2F_{ПС}$, де $F_{МЖ}$ – частота напруги живлення (мережі живлення).

Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є різниця рівнів ΔL вібрації, виміряних у тангенціальному $L_{ТН}$ та радіальному $L_{РН}$ напрямках на частоті $2F_{МЖ}$ під навантаженням:

$$|L_{ТН}(2F_{МЖ}) - L_{РН}(2F_{МЖ})| = \Delta L_{Ні}, \text{ дБ}$$

Слід зазначити, що з визначенні порогових значень діагностичних параметрів кожної конкретної ЕМ визначають початковий поріг $\Delta L_{Ні}$, характеризує її справне функціонування. Тоді граничний поріг, що характеризує появу розвиненого дефекту та його граничну допустиму величину, як показує досвід експлуатації, дорівнює $\Delta L_{Ні} + 6\text{дБ}$.

2. Діагностичною ознакою появи обривів та КЗ в обмотках якоря або дефектів пластин колектора машин постійного струму (МПТ) є збільшення L_T на щіткових частотах: $F_{Щ} = kNf_{ВР}$, де N число щіткових пальців; $k = 1, 2, 3, \dots$ кратність гармоніки.

Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є:

$$|L_{TH}(F_{III}) - L_{RH}(F_{III})| = \Delta L_{H2}, \text{ дБ}$$

3. Діагностичною ознакою появи обривів та КЗ в обмотках ротора АД є виникнення гармонійних складових радіальної вібрації на частотах пропорційних F_{BP} частотою $2F_S$; де $F_{BP} = n/60$ – частота обертання ротора, Гц; n - швидкість обертання ротора, об/хв⁻¹; $F_S = SF_{PC}$ – частота ковзання, Гц; S - ковзання ротора АД, яке вимірюється будь-яким відомим способом, у тому числі за спектром вібрації:

$$S = (F_{PC} - PF_{BP})/F_{PC}, \text{ Гц},$$

де P – число пар полюсів АТ.

Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є відношення β/S , де β - індекс модуляції, що визначається за

$$\Delta L = |L_{RH}(F_{BP}) - L_{RH}(F_{BP} \pm 2F_S)| \text{ або за формулою:}$$

$$\beta = (0,5 \times 10^{\Delta L/20})^{-1}$$

Для більшості справних АД відношення $\beta/S < 0,4$

4. Діагностичною ознакою появи обривів та КЗ в обмотках збудження багатополосних СМ є виникнення АМ гармонійних складових радіальної вібрації на частотах kF_3 частотою F_{BP} ,

де $F_3 = F_3 = |q''F_{BP}Z_C + F_{PC} \pm F_{PC}|$ - частота зубцевої складової вібрації, де q'' - порядок зубцевих гармонік ротора; Z_C – число зубців статора; $k = 1,2,3,4, \dots$ – кратність гармоніки.

Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є глибина модуляції, яка визначається за формулою:

$$m = (0,5 \times 10^{\Delta L/20})^{-1} \times 100\%,$$

де $\Delta L = |L_{RH}(kF_3) - L_{RH}(kF_3 \pm F_{BP})|$ різниця рівнів вібрації, виміряних у радіальному напрямку на частотах kF_3 і $kF_3 \pm F_{BP}$ під навантаженням.

Додатковою діагностичною ознакою зазначених дефектів є збільшення рівня складової частоті $1/F_{BP}$ в кепстрі сигналу вібрації.

Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є амплітуда складової частоті $1/F_{BP}$ до фону в кепстрі сигналу вібрації.

5. Діагностичною ознакою порушення нормальних умов комутації в МПТ є збільшення A_R або A_T на частотах F_3 , F_K та NF_K ,

де $F_K = kZ_K F_{BP}$ – частота вібрації колектора, де Z_K – число колекторних пластин; N – число щіткових пальців; $k = 1,2, \dots$ – номер гармоніки.

Діагностичним параметром оцінки глибини дефекту є:

$$(A_H \times I_{НОМ}) / (A_{XX} \times I_H) \leq 10,$$

де A_{RH} та A_{RXX} - амплітуди складової вібрації МПТ виміряних у радіальному або A_{TH} та A_{TXX} тангенціальному напрямку на зазначених частотах відповідно під навантаженням та на холостому ході; I_H та I_{XX} - струм навантаження та холостого ходу відповідно.

6. Основною діагностичною ознакою появи ексцентриситету повітряного зазору між статором і ротором АТ є виникнення АМ гармонійних складових радіальної вібрації на частотах kF_3 частотою $2F_{PC}$ - при статичному ексцентриситеті і тих же складових частотою F_{BP} при динамічному ексцентриситеті.

Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є глибина модуляції m %, що визначається різницею рівнів вібрації, виміряних у радіальному напрямку на частотах kF_3 и $kF_3 \pm 2F_{PC}$ - при статичному і на частотах $kF_3 \pm F_{BP}$ при динамічному ексцентриситеті під навантаженням.

Додатковою діагностичною ознакою ексцентриситету повітряного зазору АД є збільшення рівнів складових частотах $1/2F_{PC}$ и $1/F_{BP}$ в кепстрі сигналу радіальної вібрації. Діагностичним параметром для визначення глибини дефекту є відношення амплітуди складової на частоті $1/2F_{PC}$ - при статичному та $1/F_{BP}$ - при динамічному ексцентриситет до фону в кепстрі сигналу вібрації.

7. Діагностичною ознакою появи механічних дефектів ротора (дисбалансу ротора) ЕМ та насадженого на її вал вентилятора є збільшення $L_R(F_{BP})$.

Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є різниця рівнів:

$$|L_{RH}(F_{BP}) - L_{RH}(F_C)| = \Delta L_{H3} \geq 10 \text{ дБ},$$

де $F_C = (0,38 \dots 0,42)F_{BP} \approx 0,4F_{BP}$ - частота обертання сепаратора підшипника.

8. Діагностичною ознакою зношування радіального зазору в підшипнику кочення ЕМ є збільшення $L_{TH}(F_C)$ або $L_{RH}(F_C)$.

Діагностичним параметром оцінки глибини дефекту підшипника є рівень вібрації $L_{TH}(F_C)$ чи $L_{RH}(F_C)$.

9. Діагностичною ознакою появи втоми тіл і доріжок кочення підшипника є збільшення рівнів віброприскорення в області високих частот (понад 6 кГц) при справному ТС щітково-колекторного вузла ЕМ та якісному мастилі, а також за відсутності АМ.

Діагностичним параметром оцінки глибини дефекту є рівні віброприскорення, виміряні в радіальному напрямі на частотах понад 6 кГц.

Зазначені за п.1...п.9. діагностичні ознаки та діагностичні параметри припускають, що якість живильної ЕМ мережі в межах норми. Інакше можливе вирішення зворотного завдання, тобто. за вібраційними діагностичними ознаками та діагностичними параметрами визначати відхилення від номінальних параметрів якості електроенергії енергосистеми.

10. Діагностичною ознакою появи несиметрії напруги харчування є ознака, (а також діагностичним параметром) аналогічна зазначеному в п.1. Особливістю прояву зазначеного дефекту є підвищення різниці рівнів вібрації у всіх, що живляться від цієї мережі ЕМ, а при урвищах і КЗ в статорних обмотках - переважно у дефектної машини.

11. Діагностичною ознакою появи несинусоїдності напруги живлення є виникнення або збільшення рівнів гармонічних складових тангенційної вібрації на частотах $6kF_{PC}$.

Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є:

$$|L_{TH}(F_{PC}) - L_{RH}(F_{PC})| \leq \Delta L_{H5} + 6 \text{ дБ}$$

12. Діагностичною ознакою появи постійної складової мережі змінного струму є збільшення $L_{TH}(F_{PC})$.

Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є:

$$|L_{TH}(F_{П}) - L_{RH}(F_{П})| \leq \Delta L_{H6} + 6 \text{ дБ}$$

Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є:

$$|L_{TH}(F_{M}) - L_{RH}(F_{M})| \leq \Delta L_{H7} + 6 \text{ дБ}$$

13. Діагностичною ознакою появи пульсацій напруги в мережі постійного струму є виникнення складових тангенційної вібрації на частотах пульсацій $F_{П}$.

Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є:

$$|L_{TH}(F_{П}) - L_{RH}(F_{П})| \leq \Delta L_{H6} + 6 \text{ дБ}$$

14. Діагностичною ознакою появи низькочастотної модуляції напруги живлення є виникнення складових тангенційної вібрації на частотах модуляції F_{M} .

Діагностичним параметром для оцінки глибини дефекту є:

$$|L_{TH}(F_{M}) - L_{RH}(F_{M})| \leq \Delta L_{H7} + 6 \text{ дБ}$$

Необхідно відзначити, що при визначенні порогових значень діагностичних параметрів для кожної конкретної ЕМ визначають початковий поріг ΔL_{Hi} , який характеризує її справне функціонування, тоді граничний поріг, що характеризує появу розвиненого дефекту та його граничну допустиму величину, як показує досвід експлуатації, дорівнює $\Delta L_{Hi} + 6$ дБ.

Таким чином, як видно з наведених вище дефектів ЕМ та їх діагностичних ознак і параметрів, узагальненою моделлю реальних вібрацій є адитивно-мультиплікативна модель, що включає наступні доданки: гаусовську стаціонарну вібрацію (не білу) - $\xi(t)$; негаусовську стаціонарну вібрацію - $v(t)$; модульовану вібрацію - $z_i(t) = [1 + m x(t)] \eta(t)$, а також періодичні вібрації

$$f(t) = \sum_l c_k \cos(k\omega_k t + \varphi_k)$$

з різними значеннями основної частоти φ_1 , які в загальному випадку за наявності дефектів і несправностей може мати амплітудну і (або) частотну модуляції, тобто. повинні представлятися моделлю

$$f_j(t) = \sum_l (1 + m_j x_{jl}) c_{kj} \cos\{k\omega_j [1 + m_j^{(ч.м.)} y(t)] + \varphi_{kj}\}.$$

Весь цей складний адитивний процес утворення вібрацій може мати множник $\Phi(t)$, що відбиває зміну складових процесу в часі внаслідок, наприклад, руху джерела вібрації щодо приймача (датчика вібрації), тобто. в загальному випадку адитивно-мультиплікативна модель вібрацій набуває вигляду

$$F(t) = \Phi(t) \left[\xi(t) + v(t) + \sum_i z_i(t) + \sum_j f_j(t) \right].$$

Очевидно, що кожен доданок характеризується своїми спектром та частотною залежністю статистичних характеристик. У різних смугах частот будуть переважати різні джерела, так що статистичні характеристики, що вимірюються в суміжних смугах частот, виходять різними.

Висновки. 1. Проведений аналіз різних моделей вібрацій, діагностичних параметрів та діагностичних ознак дефектів, на прикладі суднових електричних машин, і в результаті пропонується адитивно-мультиплікативна модель вібрацій.

2. Для ефективної оцінки технічного стану суднових машин та механізмів доцільно використовувати комплексну діагностичну модель, в основі якої лежать комбіновані методи вібродіагностики (адитивно-мультиплікативну модель вібрацій) та параметри функціонування (додаткові діагностичні параметри).

3. Перспективним подальшим напрямом досліджень є використання як діагностичного параметра різниці рівнів ΔL , що дозволить не тільки спростити процес діагностування, а й створити спеціалізовані діагностичні прилади, які не потребують великих баз даних для встановлення діагнозу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Справочник под редакцией В. В. Клюева «Неразрушающий контроль и диагностика»; 3-е изд. -М.: «Машиностроение». 2005г. - с. 600-612;

2. Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики: Монографія. В.П. Бабак та ін., за ред. В.П. Бабака. К., Ін-т техн. теплофізики НАН України, 2015, 512 с.

3. Развитие и оптимизация систем контроля атомных электростанций сВВЭР: монография. В.И. Скалзубов, Д.В. Билей, Т.В. Габлая и др., под ред. В.И. Скалзубова. Чернобыль, Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2008, 512 с.

4. Красильников А.И. Модели шумовых сигналов в системах диагностики теплоэнергетического оборудования. К., Ин-т технической теплофизики НАН Украины, 2014, 118с.

5. Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. Львів, ФМІ НАНУ, 2013, 804 с.

6. Нафиков А.Ф., Закирничная М.М., Кузеев И.Р. и др. Применение метода фазовых портретов для технической диагностики насосного оборудования // Прогрессивные технологии в машиностроении и приборостроении: Материалы науч.-техн. семинара.– Киев: Из-во АТМ Украины, 2003.- С. 24-25.

7. Puchalski A. Komorska I. Stable distributions and fractal diagnostic models of vibration signals of rotating systems. Applied Condition Monitoring.2018. Vol. 9. Pp 91-101. [https://doi.org/ 10.1007/978-3-319-61927-9_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61927-9_9)

8.Абдулаев А.А., Абдулаев В.А. Диагностирование неисправностей подшипниковых узлов оборудования АЭС. Учебное пособие. СИЯЭ и П., 1998. –105 с.

9. Абдулаев В.А., Абдулаев А.А. Вибродиагностирование электрических машин. Сб. научных трудов, Вып.№3, Проблемные вопросы строительства ВМСУ, развития вооружения и войсковой техники. – Севастополь, СВМИ, 1998 г.

АНАЛІЗ ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНОГО МАСТИЛА ЗА РІЗНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Столярик Т.О.

Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)

Вступ. Ефективність роботи морських засобів транспорту визначається не лише їх морехідними якостями, а й значною мірою технічним рівнем та надійністю роботи суднової енергетичної установки (СЕУ), основними об'єктами якої є головні та допоміжні двигуни. Надійність будь-якого енергетичного об'єкта є комплексним поняттям та характеризує його безвідмовність, довговічність, ремонтопридатність та збереженість. В той же час, надійність є найважливішим показником якості дизеля та характеризує його спроможність зберігати з часом у встановлених межах значення всіх параметрів, що визначають його здатність виконувати функції джерела енергії на судні в заданих режимах та умовах використання, технічного обслуговування та ремонту [1, 2]. З метою забезпечення безпеки мореплавання Міжнародна морська організація планомірно здійснює посилення вимог до надійності всієї СЕУ та судових дизелів зокрема. В даний час вирішення питань забезпечення безпеки під час експлуатації судових технічних засобів є важливою позицією, що визначає перспективи розвитку морського транспорту.

Актуальність дослідження. Безвідмовність є основною складовою надійності, тому що саме вона забезпечує виконання будь-яким об'єктом своїх функцій. Стосовно судових дизелів безвідмовність визначають стан його основних елементів (деталей циліндрової групи, колінчатого валу, паливної апаратури) та систем (паливної, мащення, охолодження), що забезпечують його функціонування. Забезпечення необхідного рівня безвідмовності та збільшення часу безаварійних режимів роботи судових дизелів досягається різними способами. З метою підвищення надійності циліндрових втулок забезпечують оптимальне дозування мастила в системах лубрикаторного мащення [3, 4]. Зменшення втрат на тертя в елементах паливних насосів високого тиску, та пов'язано з цим збільшення ресурсу їх роботи, виконується шляхом нанесення на поверхні плунжерів спеціальних покриттів [5, 6]. Одним зі способів забезпечення режимів гідродинамічного мащення в підшипникових вузлах є додавання до мастила поверхнево-активних речовин [7, 8]. Гарантований строк експлуатації судових технічних засобів досягається шляхом визначення оптимальних режимів їх роботи та забезпеченням їх технічного обслуговування та ремонту [9, 10]. Одночасно з цим залишаються не визначеним оптимальні режими експлуатації судових систем, що забезпечують безвідмовність судових дизелів, зокрема систем мащення та безпосередньо моторного мастила, яке є невід'ємною складовою цих систем.

Постановка задачі. Задачею дослідження була оцінка безвідмовності судових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення під час використання різних палива.

Результати досліджень. Дослідження виконувались на судових середньообертових дизелях MAN-Diesel&Turbo 5L23/30H з номінальною потужністю 565 кВт, які в кількості трьох входили до складу допоміжної енергетичної установки судна класу General Cargo дедвейтом 46300 тонн. Під час експлуатації дизелів використовувались моторні палива DMA, RME180, RMG380, основні характеристики яких наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики моторних палив

Характеристика	DMA	RME180	RMG380
Густина при 20°C, кг/м ³	892	924	942
В'язкість при 40°C, мм ² /с	6,3	182	376
Вміст сірки, %	0,067	0,26	0,4
Нижча теплотворна здатність, кДж/кг	43280	40630	39070

В циркуляційній системі мащення всіх дизелів використовувалось моторне мастило Shell Melina S30, що відноситься до класу мастил SAE30, має остаточне лужне число (Total Base Number – TBN) 30 мгКОН/г та рекомендовано під час використання вказаних палив.

Допоміжні дизелі (ДД) MAN-Diesel&Turbo 5L23/30H на початок випробувань мали однаковий технічний стан. Програма досліджень була розроблена таким чином, що експлуатаційний період та навантаження на дизелі під час випробувань були однаковими. Дизелі експлуатувалися виключно на одному сорті палива (що було можливо за рахунок їх підключення до паливних танків, в яких зберігалось різне паливо): перший (ДД № 1) – на моторному паливі DMA, другий (ДД № 2) – на RME180, третій (ДД № 3) – на RMG380. Принципова об'єднана схема систем циркуляційного мащення, сепарації мастила та подачі палива дизелів наведена на рис. 1.

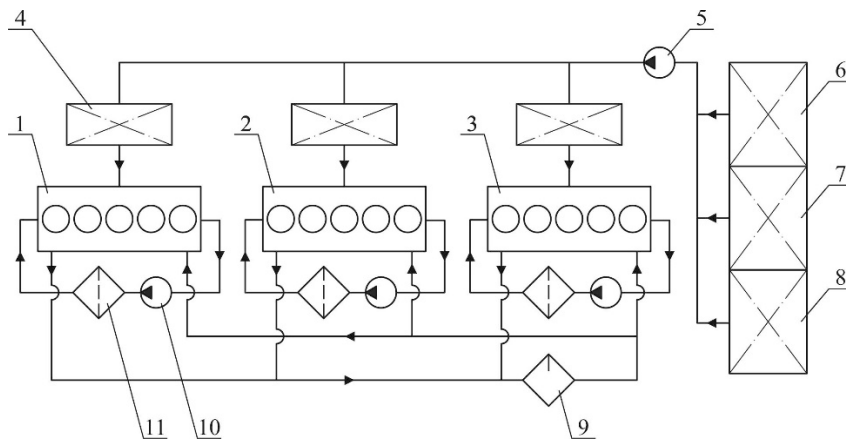


Рисунок 1 – Принципова об'єднана схема систем циркуляційного мащення, сепарації мастила та подачі палива дизелів MAN-Diesel&Turbo 5L23/30H:

- 1, 2, 3 – ДД № 1, ДД № 2, ДД № 3;
- 4 – витратна цистерна, 5 – насос, що підкачує паливо;
- 6, 7, 8 – цистерни з моторним паливом DMA, RME180, RMG380;
- 9 – сепаратор мастила;
- 10 – циркуляційний мастильний насос; 11 – мастильний фільтр

Робота паливної системи та системи мащення (рис. 1) здійснювалась в такий спосіб. Кожний з дизелів 1, 2, 3 працював на окремому сорті палива, яке спрямовувалось до витратної цистерни 4 насосом, що підкачує паливо 5 з цистерн з моторним паливом 6, 7, 8, в яких знаходилось паливо марок DMA, RME180, RMG380 відповідно. Мащення підшипникових вузлів колінчатого валу та циліндрової групи дизелів забезпечувалось моторним мастилом Shell Melina S30, які знаходились в безпосередньо в картері дизелів. Поповнення об'єму мастила виконувалось після кожних 100 годин його роботи. З картеру дизеля мастило циркуляційним насосом 10 через мастильний фільтр 11 спрямовувалось до колінчатого валу та далі потрапляло до його підшипників. Мащення циліндрової групи забезпечувалось шляхом випаровування та розбризкування моторного мастила з картеру дизеля. Очищення моторного мастила виконувалось через його фільтрацію в мастильному фільтрі 11, а також через його сепарацію в мастильному сепаратору 9. Робота сепаратора 9 забезпечувалась окремо для кожного з дизелів, це попереджувало змішування мастила, яке знаходилось в системах мащення дизелів [11].

Для якіснішого визначення зміни стану моторного мастила під час його експлуатації та оцінки його впливу на безвідмовність суднового дизеля, в берегової дослідницької лабораторії виконувався спектральний аналіз моторного мастила. При цьому визначалось кількість різних хімічних елементів, які потрапляють в мастило в результаті згоряння палива, зношування деталей дизеля, а також в результаті безпосереднього окислення самого мастила. Частину цих елементів (відповідно до їх функціональної дії, а саме – впливу на знос деталей дизеля) відносять до категорії Wear

Elements, частину (що впливає на забруднення мастила) – до категорії Contaminant Elements [12, 13]. Результати спектрографічного аналізу моторних мастил після 1000 годин експлуатації в циркуляційній системі дизеля MAN-Diesel&Turbo 5L23/30H наведено на рис. 2.

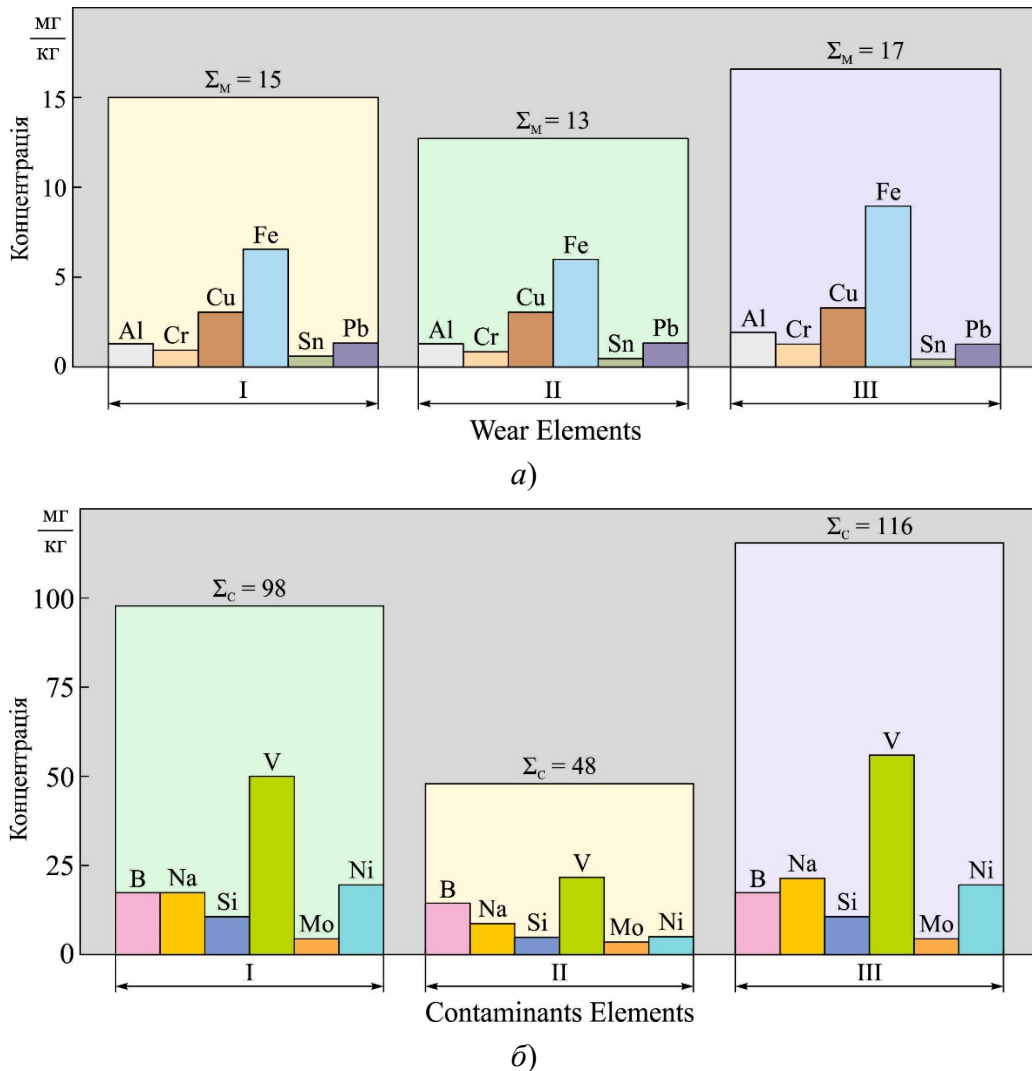


Рисунок – 2 Результати спектрографічного аналізу моторного мастила Shell Melina S30 щодо визначення складових Wear Elements (а) Contaminant Elements (б)

Висновки. Як результат виконаних досліджень зробимо наступні висновки.

1. Безвідмовність роботи дизелів морських суден може бути оцінена технічним станом моторного мастила, що використовується в циркуляційній системі мащення.
2. Одним з основних експлуатаційних показників моторного мастила, що визначає та забезпечує безвідмовність роботи судових дизелів є вміст в моторному мастилi механічних домішок, що характеризують знос деталей дизеля та забруднення мастила.
3. Під час використання палива погіршеного фракційного складу знижуються змащувальні характеристик моторного мастила, що виявляється в збільшенні механічних домішок (які є результатом його окислення або зносу деталей дизеля), що потрапляють до його об'єму. З часом це може сприяти підвищенню механічних навантажень в парах тертя та зниженню надійності роботи дизеля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Столярик Т.О. Прогнозування механічних втрат в судових дизелях // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 142-156. doi: 10.31653/smf44.2022.142-156.

2. Сагін С.В., Мадей В.В., Сагін А.С. Робота суднового дизеля на біодизельному паливі // Автоматизація суднових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 93 - 107.
3. Gorb S.I., Budurov M.I. Increasing the accuracy of a marine diesel engine operation limit by thermal factor // International Review of Mechanical Engineering. – 2021. – Vol. 15(3). – P. 115 - 121.
4. Сагін А.С., Заблоцький Ю.В. Регенерація змащувальних властивостей моторних палив і мастил під час експлуатації суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 17-30. doi: 10.31653/smf45.2022.17-30.
5. Stoliaryk T. Analysis of the operation of marine diesel engines when using engine oils with different structural characteristics // Technology Audit and Production Reserves. – 2022. – № 5 (1(67)). – P. 22-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.265868>
6. Сагін С.В., Побережний Р.В. Аналіз ефективності використання в суднових дизелях палив різного фракційного та структурного складу // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 31-42. doi: 10.31653/smf45.2022.31142-42.
7. Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Визначення динамічних навантажень під час зміни режимів мащення прецизійних пар паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 121-131. doi: 10.31653/smf44.2022.121-131.
8. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píštěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.
9. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10(10). – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.
10. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. – № 5 (2 (61)). – P. 26 - 32.
11. Sagin S. V., Stoliaryk T. O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8. – P. 29-35
12. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка суднових дизелів під час використанні моторних мастил з різними структурними характеристиками // Автоматизація суднових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 108-119.
13. Столярик Т.О. Вдосконалення процесів мащення дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 57-69. doi: 10.31653/smf45.2022.57-69.

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ – СКЛADOVA СТАНДАРТУ ЯКОСТІ БАЛАСТНИХ ВОД D-2: УКРАЇНА/ТУРЦІЯ – МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД

Тірон-Воробйова Н.Б.¹, Данилян А.Г.¹, Tanzer Satir²

¹Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»
(Україна, Ізмаїл)

²Istanbul Technical University (Турція, Стамбул)

Вступ. Екологічна безпека на морському транспорті є дуже важливою проблемою, оскільки морський транспорт може мати серйозний вплив на довкілля та природні ресурси.

Основні аспекти екологічної безпеки на морському транспорті включають:

1. Відповідність міжнародним та національним стандартам з охорони довкілля, зокрема Міжнародній конвенції з запобігання забрудненню суден (MARPOL).
2. Використання екологічно чистих палив та технологій, які зменшують викиди шкідливих речовин у повітря та воду.
3. Перевезення вантажів з урахуванням їхнього впливу на довкілля та можливості виникнення аварій.
4. Забезпечення належної охорони морських біоресурсів та біологічного різноманіття.
5. Ефективне управління відходами та іншими залишками від морського транспорту, включаючи сміття та хімічні залишки.
6. Розвиток системи контролю та моніторингу за станом довкілля на морському транспорті.
7. Розробка та впровадження планів дій в разі аварій та інших надзвичайних ситуацій, що можуть мати негативний вплив на довкілля.

Загалом, екологічна безпека на морському транспорті є важливим аспектом, який потребує належної уваги та розвитку нових технологій та стандартів з охорони довкілля.

Стандарт якості баластних вод D2 – це міжнародний стандарт, що регулює мінімальні вимоги до якості баластних вод, які використовуються на судах.

Згідно зі стандартом D2, баластні води повинні відповідати таким параметрам як:

- кількість живих організмів (бактерії, гриби, водорості та інші) має бути не вище встановлених норм;
- рівень вмісту різних хімічних сполук (таких як масла, солі, важкі метали тощо) має бути не вище допустимих значень;
- температура баластних вод не повинна перевищувати температуру навколишнього середовища.

Даний стандарт був прийнятий Міжнародною морською організацією (ІМО – International Maritime Organization) з метою запобігання поширенню шкідливих іноземних видів у водоймах, а також захисту морського середовища від забруднення баластними водами.

Актуальність досліджень. Запобігання скидуванню баластних вод є важливим екологічним завданням, яке стоїть перед Україною, як країною, що має доступ до великих водойм та морського узбережжя.

Однією з ключових міжнародних угод, яка регулює питання зв'язані з баластними водами є Конвенція Міжнародної морської організації (ММО) про управління баластними водами суден (BWM Convention), яка набрала чинності в 2017 році. Згідно з цією конвенцією, судна повинні мати затверджені плани управління баластними водами та відповідну інфраструктуру, щоб забезпечити безпечно та екологічне скидання баластних вод.

Постановка задачі, обговорення. Україна має бути частиною світового співтовариства та дотримуватися вимог ММО щодо баластних вод. Для цього необхідно:

Ратифікувати Конвенцію ММО про управління баластними водами суден і розробити внутрішні нормативно-правові акти, що регулюють це питання.

1. Забезпечити контроль за дотриманням суднами встановлених норм і вимог щодо баластних вод.
2. Розвивати інфраструктуру портів та терміналів для переробки баластних вод.
3. Проводити навчання та підвищення кваліфікації працівників портів та судовласників щодо вимог конвенції ММО.
4. Залучати громадськість та екологічні організації до контролю за дотриманням вимог щодо баластних вод та розвитку інфраструктури для їх переробки.

Скидування баластних вод може спричинити серйозні наслідки для екосистеми та біорізноманіття в морях і океанах. Тому в Туреччині були введені різні заходи для запобігання скидуванню баластних вод.

Один із способів – це встановлення обов’язкових правил для суден, що входять до турецьких портів. Згідно з Міжнародною конвенцією про контроль та управління баластними водами та сидеральними водами, яку підписала Туреччина, судна повинні мати спеціальні системи очищення баластних вод, які забезпечують відповідні стандарти очищення перед їх скиданням в море.

Також в Туреччині використовуються спеціальні технології для очищення баластних вод, що дозволяє зменшити їх вплив на довкілля. Наприклад, використання систем фільтрації, відстійників та хімічних реагентів може допомогти видалити забруднення з баластних вод перед їх викидом.

В Туреччині використовуються різноманітні технології для очищення баластних вод, зокрема:

Фізичні методи: до таких методів належать відстійні басейни, механічні фільтри, гравітаційні сепаратори, диск-відстійники та інші пристрої, що дозволяють відокремити тверді частинки від рідини.

Хімічні методи: до таких методів належать флокуляція, коагуляція та нейтралізація. Ці методи використовують хімічні реагенти для зведення великої кількості твердих частинок до менших та їх подальшого відокремлення.

Біологічні методи: ці методи використовують живі організми, які взаємодіють з баластними водами та їх компонентами для очищення води. Наприклад, біореактори, активований мул, стабільні зони та інші методи.

Комбіновані методи: такі методи поєднують різні технології для досягнення кращих результатів. Наприклад, фізико-хімічні методи можуть бути поєднані з біологічними методами для досягнення кращих результатів очищення.

Застосування тих чи інших методів очищення баластних вод залежить від характеру вод, що потребують очищення, а також від вимог до якості очищення та ефективності роботи очисних споруд.

Для підвищення ефективності заходів у Туреччині також створено спеціальні органи, що контролюють якість вод у портах та виконання правил щодо скидання баластних вод. Це дозволяє вчасно виявляти порушення та накладати штрафи на порушників.

Узагалі, в Туреччині приділяється значна увага екологічній проблематиці, тому виконання правил щодо скидання баластних вод є важливим елементом в забезпеченні сталого розвитку і збереженні природних ресурсів.

Судна, які використовують системи очищення баластних вод, зазвичай є суднами, що перевозять великі обсяги вантажів, такі як контейнеровози, нафтовози, хімічні танкери, газові танкери тощо.

Очищення баластної води необхідне для запобігання поширенню небажаних видів організмів, які можуть випадково потрапити у баластну воду, та для запобігання забруднення водних екосистем.

Судна можуть використовувати різні системи очищення баластних вод, такі як фільтраційні системи, ультрафільтраційні системи, хімічні методи тощо. Деякі судна також використовують системи обміну баластної води, коли забруднена вода замінюється чистою водою з іншого джерела.

Більшість сучасних морських суден, які перевозять великі обсяги вантажів, мають системи очищення баластних вод, і ця тенденція зростає у зв'язку зі зростанням обігу морських суден та збільшенням уваги до екологічних проблем.

Україна прийняла Міжнародну конвенцію про контроль та управління баластними водами та осадами суден (Ballast Water Management Convention), яка вимагає від суден мати системи очищення баластних вод. Тому багато морських суден, які входять до українського портового флоту, мають встановлені системи очищення баластних вод.

Проте, важко точно сказати, яка кількість суден в Україні має такі системи, оскільки ця інформація може бути конфіденційною та не підлягати публікації. Також, не всі морські судна, які заходять до українських портів, підлягають обов'язку мати системи очищення баластних вод, залежно від їх типу та віку.

Згідно з Міжнародною конвенцією про управління водним баластом та сідлавинами, яку ухвалила Міжнародна морська організація (ММО), всі нові морські судна, які побудовані після 8 вересня 2017 року, повинні мати зберігальні системи для баластних вод та системи очищення.

Туреччина є підписантом Міжнародної конвенції про управління водним баластом та сідлавинами та зобов'язана дотримуватися її вимог. Тому, можна припустити, що багато морських суден, які заходять до портів Туреччини, мають системи очищення баластних вод. Однак, точної інформації про це як таке немає.

Баластні системи на морських суднах у Туреччині повинні відповідати міжнародним стандартам та вимогам Міжнародної морської організації (ММО). Згідно з цими стандартами, всі морські судна, незалежно від їх типу та розміру, повинні мати баластну систему, яка дозволяє зберігати баластну воду в окремому баластному тримачі, а потім відкачувати її, коли це необхідно.

У Туреччині існують законодавчі вимоги щодо баластних систем на морських суднах, які регулюються міністерством транспорту, морського транспорту та зв'язку Туреччини.

Вимоги включають в себе обов'язкові перевірки та технічне обслуговування баластних систем, а також мінімальні стандарти безпеки, які повинні бути відповідні для всіх морських суден.

Одним з найбільших виробників баластних систем у Туреччині є компанія «Ballast-1». Вона пропонує різноманітні баластні системи для морських суден різних типів та розмірів, які відповідають міжнародним стандартам та вимогам.

Також в Туреччині є багато інших компаній, які спеціалізуються на розробці та виготовленні баластних систем для морських суден. Більшість з них мають відповідні сертифікати та ліцензії, що підтверджують їх якість та надійність.

Узагалі, Туреччина має доволі розвинену морську промисловість, тому баластні системи для морських суден є важливою галуззю технологій у країні.

Останнім часом було прийнято кілька нових стандартів безпеки на морському транспорті. Ось деякі з них:

SOLAS (Міжнародна конвенція про безпеку життя на морі): це міжнародний стандарт, який регулює стандарти безпеки для кораблів і мореплавців. SOLAS містить вимоги щодо обладнання суден, навігації, пожежної безпеки, безпеки життя і виживання на морі.

ISM (Міжнародний кодекс з безпеки менеджменту): це стандарт, який вимагає від суден і компаній з управління суднами розробки і впровадження планів безпеки і менеджменту ризиків. Іншими словами, ISM забезпечує, що судна і компанії з управління суднами здійснюють дії для запобігання аварій та зменшення їх наслідків.

MARPOL (Міжнародна конвенція про запобігання забрудненню суден): це стандарт, який вимагає від суден дотримуватися правил щодо викидів відходів та забруднюючих речовин. MARPOL визначає регуляторні стандарти для викидів масляних відходів, токсичних речовин, сміття та ін.

STCW (Міжнародна конвенція про стандарти підготовки, сертифікації та відповідальності моряків): це стандарт, який регулює стандарти підготовки, сертифікації та відповідальності моряків. STCW вимагає від моряків проходження певних курсів, тренувань та сертифікації для забезпечення безпеки та ефективності на судні.

Ці стандарти створені для забезпечення безпеки мореплавства, запобігання забрудненню навколишнього середовища, океанічного простору.

Результати досліджень. У 2022 році дослідниками з України (Дунайський інститут Національного університету, ДІ НУ «ОМА», Ізмаїл, Україна) сумісно з фахівцями з Туреччини (Стамбульський технічний університет, Стамбул, Турція) було подано проектну пропозицію у галузі «Науки про землю та довкілля».

Науковими співробітниками ДІ НУ «ОМА» створено експериментальний макет системи управління баластними водами (СУБВ). Отримано патенти на корисну модель й на винахід на спосіб знезараження і очищення баластної води та на спосіб знезараження і очищення й установку для його здійснення.

Етапів у запропонованій СУБВ досить багато і на кожному з них потрібно буде варіювати ті чи інші показники (особливо, фізичні та хімічні параметри процесів, враховуючи швидкість потоку рідини, температуру, тривалість проходження баластної води по всіх стадіях очищення, кількісне та розмірне співвідношення інвазивних включень у баластній воді).

Тому на цьому етапі заплановано залучити авторитетних вчених, провідних фахівців у цій галузі досліджень – партнерів із Туреччини, експертів ІМО, сучасну лабораторну базу в м. Одеса. Зацікавленість усіх сторін неабияка, адже запропонована нами технологія (система СУБВ) ще набагато років вперед випередить всі існуючі СУБВ на момент прийняття міжнародних вимог Конвенції ІМО.

Конкуренція й ринковий сегмент СУБВ дуже жорсткі, але створену на базі ДІ НУ «ОМА» СУБВ підпорядковано національному рівню нашої держави в вищих ешелонах Світової морської індустрії – впевнено «крокує» вперед.

Висновки. Одним з очікуваних наслідків проекту є обґрунтування сучасних підходів до вдосконалення очисних споруд (очисного обладнання) щодо процесів знезараження та очищення водного баласту, визначення перспективних дієвих організацій-співвиконавців (підприємств-виробників) для сучасного переобладнання морських великотоннажних суден з метою забезпечення ймовірного (стовідсоткового) вилучення переселенців – інвазій.

Отже, морська безпека – це комплекс заходів та правил, спрямованих на запобігання небезпекам, що можуть виникнути на морі. Це охоплює безпеку плавання, навігацію, комунікації, рятування та захист довкілля від забруднення.

Морська безпека є дуже важливою для забезпечення безпеки життя людей, збереження майна та довкілля. Це охоплює безпеку на борту судна, на підводних об'єктах та плавучих засобах, а також безпеку на морському узбережжі та під час виконання морських робіт.

Для забезпечення морської безпеки встановлюються міжнародні стандарти та правила, такі як Конвенція про міжнародне право моря та Міжнародна організація морської безпеки (ІМО). Крім того, кожна країна має свої законодавчі акти та нормативно-правові акти, що регулюють питання морської безпеки на її території.

ВСТАНОВЛЕННЯ ПЕРІОДУ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ ГІДРОЦИЛІНДРА ГІДРОПРИВОДУ ІЗ УРАХУВАННЯМ ПРОЦЕСУ ЗНОШЕННЯ УЩІЛЬНЕНЬ

Шалапай В. В.

*Національний Лісотехнічний Університет України
(Україна)*

Вступ. Зпрацювання ущільнюючих елементів гідросистеми призводить до прогресуючого перетікання робочої рідини гідроприводу в неробочу порожнину гідромашини. Даний процес візуально ніяк не виявляється, однак спричиняє непродуктивну втрату потужності гідравлічного приводу, що в свою чергу призводить до надмірних витрат паливо-мастильних матеріалів.

Основним завданням цієї роботи, є підготування теоретичних основ розрахунку періодичності заміни ущільнень. Експлуатаційні умови механізмів та технічне обслуговування залежать від основ прогнозування терміну використання ущільнень. Описано модель оцінювання працездатності рухомих ущільнень із функцій ексергійного аналізу роботи зносу матеріалу. Гідроприводи переважно виконують роботу у перевантажених режимах, що є наслідком зменшення ефективності їхньої роботи. Тому особливо актуальною є задача розрахунку періодичності заміни ущільнень гідроприводу маніпулятора самозавантажувача лісової машини, що дасть змогу адекватно відобразити складні взаємозв'язки між підсистемами гідроприводів різної фізичної природи.

Мета дослідження: визначення терміну заміни ущільнювача гідроциліндра для підтримання його високої ефективності

Завдання дослідження:

1. Визначення механізмів протікання рідини через ущільнення гідроциліндра.
2. Встановлення залежності “просідання” поршня від розміру нещільності
3. Визначення залежності коефіцієнту корисної дії (об'ємні втрати) від розміру нещільності.

Матеріали і методи. Гідроциліндри приводу маніпуляторів вибирають таким чином, щоб його номінальні характеристики відповідали оптимальним параметрам насоса. Тому, неоптимальний режим роботи гідродвигуна зумовлює також зниження ефективності гідроприводу – погіршення його ККД і появу додаткових непродуктивних витрат в елементах системи в наслідок стирання ущільнюючих елементів. Однак у літературі відсутні математичні моделі, які встановлювали б аналітичний зв'язок розміру нещільності з витратою робочої рідини

В наявних машинах та механізмах використовуються рухомі ущільнюючі елементи, які підтримують роботу гідроприводу, а також забезпечують його мащення протягом експлуатаційного періоду; мастильні рідини та рідини гідроприводів відіграють роль робочого середовища. Довговічність ущільнюючих елементів залежить від низки експлуатаційних умов, а саме пружно-пластичних параметрів матеріалу ущільнювачів, тиску та в'язкісних властивостей робочої рідини гідроприводу, стійкості до зношення пар “ущільнювач – елемент конструкції” та характеристик тертя. Технічне обслуговування машини чи механізму та його експлуатаційні умови залежать від засад прогнозування терміну експлуатації ущільнень. В роботі описано підхід оцінювання ресурсу рухомих ущільнень із позицій ексергійного підходу, що є сучасним методом [1].

Розглянемо ущільнення гідроциліндра. F – зовнішня сила, тисне на шток гідроциліндра, відповідно поршень якого рухається у відповідному напрямку із швидкістю v , витискаючи робочу рідину з порожнини в напірний патрубок (рисунок 1). В довільний момент, на проміжок x відносно початкового положення, рухається поршень. Тоді заданий момент часу потенційна енергія стисненої рідини $E_{п}$:

$$E_{\Pi} = \frac{p^2 \cdot \pi \cdot D^2}{2 \cdot E \cdot 4} L \quad (1)$$

Де E – модуль пружності рідини, інші позначень в (1) зображені на рисунку

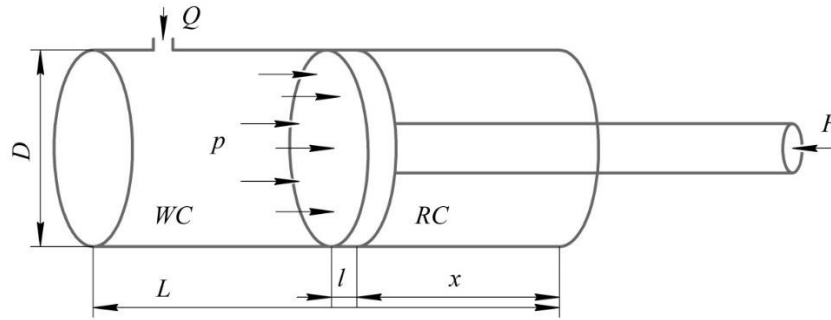


Рисунок 1 – Схема навантаження гідроциліндра зовнішньою силою

Розв’яжемо цю нерівність відносно Δx і отримаємо:

$$\Delta x \geq \frac{F - \frac{2F^2}{\pi D^2 E} - x k \tau - k_{\text{тер}} \frac{4F l}{D}}{\frac{3}{4} \pi \frac{D^3}{H^3} \mu l + 12 \cdot 32 \mu \frac{\pi H l}{D} + \frac{\pi D^3 \rho l}{16 H \Delta t}} \Delta t \quad (2)$$

У випадку граничної рівності отримаємо величину просідання Δx за час Δt . Формула (2) охоплює всі чинники трансформації енергії: гідравлічне тертя, знос, механічне тертя тощо.

Результати та обговорення. За даними, [4] виберемо технічні характеристики для трьох гідравлічних олиव, відповідно до яких будемо проводити розрахунки:

1. ВМГЗ: в’язкість – $\mu_1 = 0,01062 \text{ pas}\cdot\text{s}$, густина – $\rho_1 = 885 \text{ kg}/\text{m}^3$;
2. МГЕ-46В: в’язкість – $\mu_2 = 0,00534 \text{ pas}\cdot\text{s}$, густина – $\rho_2 = 890 \text{ kg}/\text{m}^3$;
3. МГЕ-10А: в’язкість – $\mu_3 = 0,00962 \text{ pas}\cdot\text{s}$, густина – $\rho_3 = 885 \text{ kg}/\text{m}^3$ [4].

Припустимо, що швидкість робочого органу 5 м/с, тоді робочі втрати:

$$\Delta Q_{\text{роб}} = v \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 0.039 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (3)$$

Відносно величин витрат рідини, знайдемо коефіцієнти корисної дії і побудуємо відповідні графіки:

$$\eta_1 = \frac{\Delta Q_{\text{роб}} - \Delta Q_1}{\Delta Q_{\text{роб}}} = 1 - 52 \cdot 10^{-8} \%. \quad \eta_2 = 1 - 4,25 \cdot 10^{-6} \%. \quad (4)$$

$$\eta_3 = 1 - 7,49 \cdot 10^{-6} \%. \quad (4)$$

Загальний характер залежності $\eta = \eta(H)$ є низхідним (див. рисунок 2)

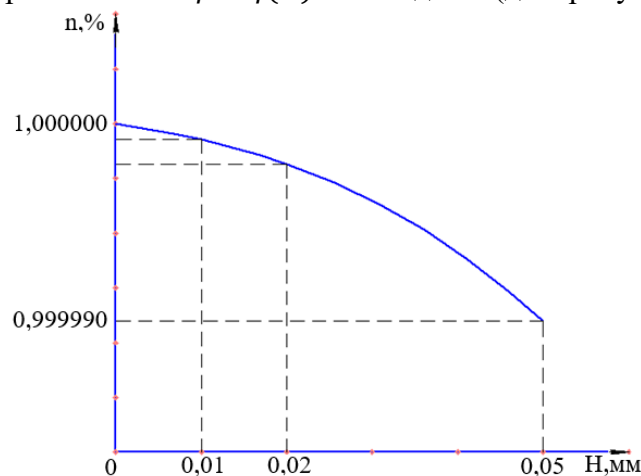


Рисунок 2 – Графік залежності ККД η від розмірів нещільностей

Із залежності $\eta = \eta(H)$ (рисунок 2) констатуємо, що вказані розміри нещільності є допустимими ($\eta \approx 1,0$). Важливим є оцінити величину втрат ΔQ , яка істотно понижає ККД на 1%, що вважатимемо граничним рівнем втрати потужності через протікання рідини [5].

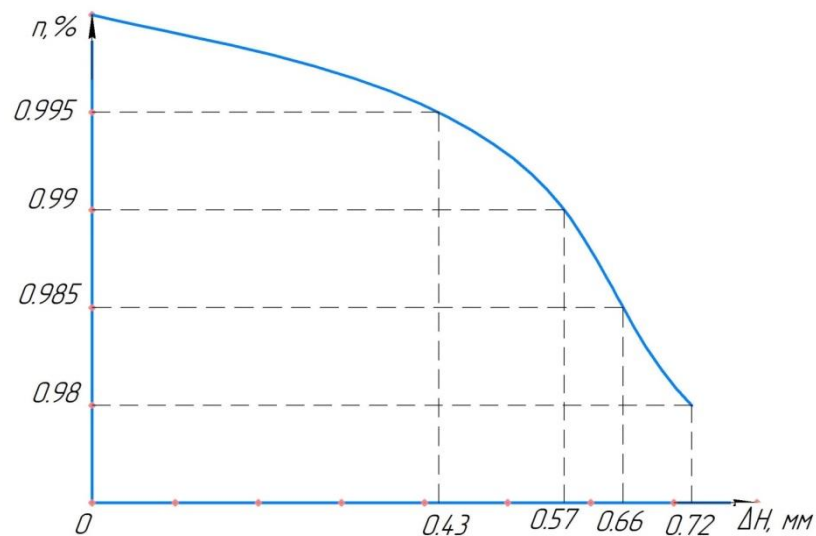


Рисунок 3 – Графік залежності ККД η від розмірів нещільностей

Вище зображений графік залежності побудований з більш високими втратами ККД (0,5, 1, 1,5, 2). Звідки можна побачити як змінюється товщина нещільності відповідно до ККД.

Висновки.

- встановлена залежність η від ΔH ;
- запропоновано результати просідання поршня для трьох типів оливо;
- визначено механізми протікання рідини через ущільнення гідроциліндра.

ЛІТЕРАТУРА

1. МАЧУГА О. С. Розвиток наукових основ енергетичного підходу в лісівничій освіті / О. С. МАЧУГА. Науковий вісник НЛТУ України. том. 29, № 10 – С. 104–108. DOI:10.36930/40291021. [в Україні].
2. ВАЕР, Г., 1968. Енергія, ексергія, анергія. В В. М. Бродяньський (Ред.). Енергія та ексергетика (с. 12-27). Москва, Мир. [російською].
3. Тертя, зношування і змащування., 1978. В В. Крагельський (Ред.). Довідник: у 2 кн. Книга 1. Москва, Машинобудування. [російською].
4. Гідравлічні масла [онлайн]. [цит. 2010-2019]. Електронні дані. Київ, ГО. Режим доступу: www.btr.net.ua (дата звернення 15.05.2019). Назва з екрана. [в Україні].
5. Буренков Ю.С. А., НЕМИРОВСЬКИЙ, І. А., КОЗЛОВ. Л. Г., 2013. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи. Вінниця, ВНТУ. [в Україні].

ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ КОМПАКТНОГО СУДНА, ВИКОРИСТОВУЮЧИ МЕТАЛОГІДРИДНИЙ ПАЛИВНИЙ ЕЛЕМЕНТ

Шалапко Д.О., Кучеров М.Ю., Іонідій К.Ю., Сарксян М.Ю.

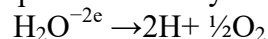
*Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна)*

Вступ. Так, в боротьбі за збереження навколишнього середовища та зменшення негативного впливу на здоров'я людей, норми токсичних викидів з двигунів внутрішнього згорання постійно зменшуються. Наприклад, в країнах Європейського Союзу та США прийняті вимоги до емісій шкідливих речовин з автотранспорту, які регулярно оновлюються та посилюються. Такі норми є результатом наукових досліджень, які показують негативний вплив викидів з двигунів на здоров'я людей та навколишнє середовище. Зменшення токсичних викидів допомагає знизити ризик розвитку серйозних захворювань, таких як рак та захворювання дихальних шляхів.

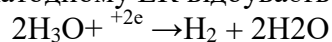
Актуальність досліджень. На жаль, робота дизель-генераторів на "важкому" паливі за межами зони контролю викидів на повну потужність не є ефективним рішенням для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та здоров'я людей. Використання важких палив (таких як мазут чи вугілля) в дизель-генераторах призводить до великих викидів шкідливих речовин, таких як сірковуглецеві сполуки, оксиди азоту та частки диму, які можуть мати серйозний негативний вплив на здоров'я людей та навколишнє середовище.

Дизель-генератори що встановлюють на судах зазвичай мають запас потужності, це обумовлено наявністю споживачів що працюють періодично, а також резервом потужності для забезпечення споживачів що працюють безперервно, але зі змінними енерговитратами. Задля накопичення енергії ефективним рішенням постане отримання водню способом електролізу з наступним використанням низькотемпературних паливних елементів (ПЕ) на базі полімерної протон-обмінної мембрани.

Постановка задачі. Отримання водню відбувається електролізерами з твердим полімерним електролітом, що є новим поколінням обладнання для використання електрохімічного процесу [1, 2], та відрізняються малими енерговитратами (4,0...4,3 кВт·год на 1 м³ водню), меншими розмірами, високою чистотою водню. Полімерна мембрана це синтезована на базі високополімерних смол, що складаються з фторованих сульфокислот. Властивості таких мембран близькі до тефлону, а при збільшенні у воді вона еквівалентна 10 % сірчаної кислоти. Мембрана, що набухла у воді мембрана стає проникною для гідротированих іонів водню. Конструктивно електролізер з твердополімерними електродами (ТПЕ), має між електродами електролітну мембрану товщиною до 0,2 мм на бічних гранях якої нанесені високодисперсні електрокаталізатори (ЕК) катодного і анодного процесів. Контактуючі тонкими колекторами струму електрокаталізатори, виготовленими з пористого титану. Реакція, що протікає на аноді:



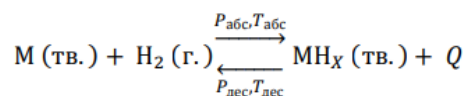
де: e – заряд електрона, іони водню H^+ переносяться через твердополімерні електроди на катодний ЕК під впливом електричного поля міжелектродного потенціалу, але іони водню гідратовані і переміщуються до катоду в парі з молекулою води у вигляді іону гідроксонія H_3O^+ . На катодному ЕК відбувається реакція:



Результати досліджень. Водень, що утворився, через пори колектора струму проходить в катодну камеру електролізера. Аналогічно утворений кисень на одній стороні мембрани, а водень - на другій.

Зберігання водню має труднощі, пов'язані з його низькою щільністю в газоподібному стані (так при атмосферному тиску 1 кг водню займає об'єм 11 м³). На

сьогодні найефективнішим та безпечним методом являється зберігання водню у зв'язаному вигляді у гідридах металів. Оборотна реакція утворення металогідриду може бути здійснена прямою взаємодією гідридоутворюючого металу або інтерметаліду з газоподібним воднем:



де: M – гідроутворюючий сплав, Q – теплота реакції.

Зростання тиску водню та зменшення температури зсовує рівновагу в сторону виникнення гідридів, а падіння тиску та зростання температури викликають розпад гідриду. Серед перспективних сплавів гарні властивості має Mg-Mm-Ni, він може вмістити до 5,4% водню за масою, його питома енергоємність досягає 2,1 кВт-год/кг, для порівняння Li-іон акумулятори мають питому енергоємність близько 0,22 кВт-год/кг.

Використання водню відбувається на базі паливних елементів. Найефективнішим та поширеним паливним елементом (ПЕ) є елемент побудований на твердополімерній мембрані. Енергетичний ККД паливних елементів складає 65...70 %, при умові утилізації енергоресурсів може сягати 85 %. ПЕ складається із іонного провідника (електроліту) та двох електродів, які знаходяться в безпосередньому контакті. До електродів постійно подається водень та кисень або повітря (в якості окислювача), а також відводяться продукти окислення та теплова енергія. В якості електроліту виступає тверда полімерна мембрана (плівка), що проводить лише електричний заряд з анода на катод, в результаті чого на електродах з'являться струм. Електроди з вкриті шаром платини мають високу корозійну стійкість та забезпечують високу щільність струму, що дозволяє зменшити їх масогабаритні параметри та поліпшити їх експлуатаційну ефективність.

Висновок. Використання даної методики призводить до підвищення ефективності роботи дизельгенераторів, а саме мааксимальної тривалості роботи на найефективнішому навантажувальному режимі. А також акумуляція енергії отриманої на більш дешевому паливі, з подальшим її використанням в зонах емісійного контролю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колачев, Б. А. Сплавы-накопители водорода: справ./ Б. А. Колачев, Р. Е. Шалин, А. А. Ильин М : Металлургия, 1995.
2. Primiskyu V. F. Hydrogen Materials Science and Chemistry of Metal Hydrides, ICHMS 7th Int. Confer. “ Abstract of pure hydrogen generatora “. Alushta-Crimea-Ukraine, 2001, 16 - 22. 09.
3. Primiskiy V. F., Kossonovich F. U. , Cuknova L. A. , kopulova L. I. Hydrogen generator applaing in the gas analysis instrument (Proc.Int.Scient.Technol. Conf. “Hydrogen materials and hydrocarbon`s nanomaterials chemie”).Sudak,Crimia, 2003. pp.1094.
4. Primiskyu V.F., Cukanova L.A. Sources of the pure hydrogen [istochniki chistogo vodoroda]. Trudy naychno-technicheskoy konferencii KPI (Proc. Scient.Techn.Confer. “Instrument Making: satus and prospects”). Kiev, 2002.

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ТАНКЕРА ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕХНОЛОГІЙ ДОДАВАННЯ ВОДНЮ

Шалапко Д.О., Лутій О.В., Шалапко Г.Г.

Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна)

Вступ. Використання водневих технологій може позитивно вплинути на експлуатаційні показники танкера в наступні способи:

1. Зменшення забруднення навколишнього середовища: Традиційні танкери працюють на паливі з великою кількістю вуглецю, що викидає в атмосферу велику кількість забруднюючих речовин, таких як вуглекислий газ, оксиди азоту і сірки. Використання водневих технологій допоможе зменшити викиди шкідливих речовин, оскільки паливо на основі водню не викидає в атмосферу вуглекислий газ і інші шкідливі речовини.

2. Зменшення витрат на паливо: Водень є ефективнішим паливом, ніж традиційне нафтове паливо, що може допомогти зменшити витрати на паливо танкера.

3. Покращення продуктивності: Водень може забезпечити більш високу продуктивність двигунів танкера, що дозволить їм працювати більш ефективно та зменшити час зупинок на технічне обслуговування.

4. Покращення безпеки: Водень, як паливо, є менш вибухонебезпечним, ніж традиційні палива, що може допомогти зменшити ризик вибухів на борту танкера.

Використання водню в двигунах внутрішнього згоряння має значний потенціал і може мати декілька переваг порівняно з традиційними паливами, такими як нафта або газ.

Екологічні переваги: Використання водню у двигунах внутрішнього згоряння дозволяє знизити викиди вуглекислого газу та інших шкідливих речовин. При згорянні водню в двигуні утворюється вода як єдиний продукт, що робить водень одним з найекологічніших видів палива.

Ефективність: Водень має високу енергетичну щільність та високу теплотворну здатність, що дозволяє досягнути високої ефективності при використанні у двигунах внутрішнього згоряння. Водень може бути використаний як допоміжне паливо для двигунів з внутрішнім згорянням, що дозволяє знизити споживання палива та викиди шкідливих речовин.

Актуальність досліджень. Існує кілька способів використання водню в двигунах:

1. Внутрішнє згоряння: Водень може бути використаний у двигунах з внутрішнім згорянням, таких як двигуни з внутрішнім згорянням на бензині або дизельні двигуни. Для цього використовується паливна система на основі водню, де водень зберігається в спеціальних баках та подається до двигуна через систему подачі палива. При згорянні водню в двигуні утворюється вода і тепло, що дозволяє забезпечити енергію для руху транспортного засобу.

2. Паливні елементи: Водень може бути використаний у паливних елементах, які конвертують хімічну енергію водню в електричну енергію, що потім використовується для приводу електричних двигунів. Паливні елементи складаються з двох електродів та електроліту, який розщеплює водень на електрони та протони. Електрони рухаються через зовнішній коло та створюють електричний струм, а протони рухаються через електроліт та зв'язуються з киснем, що дозволяє утворити воду.

3. Гібридна система: Водень може бути використаний як допоміжне паливо в гібридних системах, де використовуються як електричний, так і внутрішнього згоряння двигуни. При цьому водень використовується для забезпечення додаткової потужності для електричного двигуна або як допоміжне паливо для двигуна з внутрішнім згорянням, що дозволяє знизити споживання палива та викиди шкідливих

Використання водню може допомогти покращити експлуатаційні показники двигуна, зокрема: Ефективність: Водень має високу теплотворну здатність, що дозволяє досягнути високої ефективності двигуна. Крім того, використання водню дозволяє зменшити втрати енергії, що відбуваються в результаті тертя та інших видів втрат у системі паливостачання двигуна.

Екологічність: Використання водню як палива у двигуні дозволяє зменшити викиди шкідливих речовин у атмосферу, оскільки при згорянні водню утворюється вода як єдиний продукт. Довговічність: Використання водню може допомогти зменшити знос та корозію деталей двигуна, що спричинені відкладенням вуглецю та інших забруднень.

Гнучкість: Водень може бути використаний як допоміжне паливо для двигунів з внутрішнім згорянням, що дозволяє підвищити експлуатаційні показники двигуна в порівнянні існуючими способами підвищення ефективності.

Результати досліджень. Так, використовуючи малі добавки водню до основного палива, судна танкера IMO: 9384447 з двигуном MAN 9L48/60 можна забезпечити збільшення потужності на 1...3%, а витрату палива зменшити на 3...5% в залежності від режиму роботи (рис. 1).

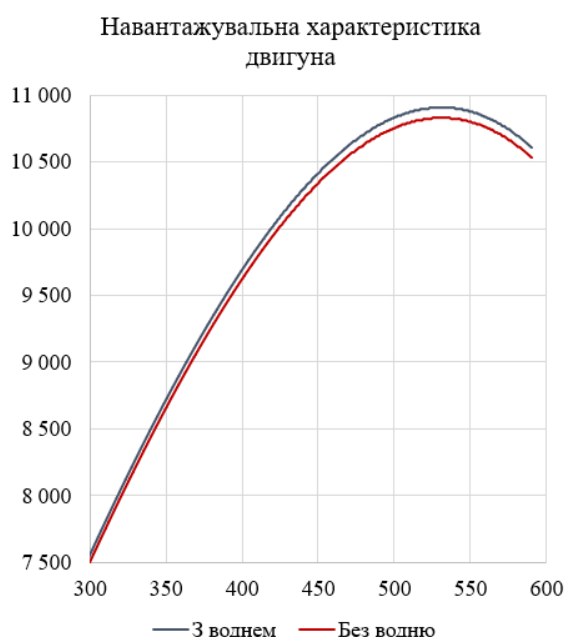


Рисунок 1 – Навантажувальна характеристика двигуна

Висновок. Отже водень постає дуже перспективним та ефективним засобом для підвищення експлуатаційної ефективності суднових двигунів. За результатами моделювання на розглянутому двигуні MAN 9L48/60 досягається збільшення потужності та зменшення питомої ефективної витрати палива до 5%, в залежності від кількості водню та навантаження на двигун.

ЛІТЕРАТУРА

1. Timoshevsky BG, Tkach MR, Shalapko DO Improving the performance of diesel engines by adding hydrogen // Water Transport. 2016. №2 (25). С. 24-28.
2. Tkach MR, Timoshevsky BG, Dotsenko SM, Galynkin Yu.N., Shalapko DO Utilization of heat of secondary energy resources of low-speed marine engines running on alternative fuels // Internal combustion engines. 2017. №2. Pp. 8-13.
3. Timoshevsky BG, Tkach MR, Shalapko DO The main provisions of the mathematical model of hydrogen addition on the high pressure line of fuel equipment // Bulletin of the Kherson National Technical University. 2017. Т. 1., № 3 (62). С. 233-237.
4. Shalapko DO An experimental study of the wave effect in fuel equipment using hydrogen additives to diesel fuel // Technology audit and production reserves. 2018. Vol 6/1, (44). Pp. 36 - 40.

СЕКЦІЯ
КОМПЕТЕНТІСНИЙ ПІДХІД В
ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ

РЕЗУЛЬТАТИВНІСТЬ ПІДГОТОВКИ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІРТУАЛЬНИХ ТА ІМЕРСИВНИХ ТРЕНАЖЕРІВ МАШИННОГО ОБЛАДНАННЯ

*Богдан Ю.О., Богомолова І.В., Сатулов А.І.
Херсонська державна морська академія (Україна)*

Вступ. Реалії сьогодення все більшу увагу фокусують на необхідності використання тренажерів для навчання, підготовки та оцінювання компетентності фахівців морської індустрії [1, 2]. Крім того Міжнародна Конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти (Standards of Training Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW), 1978 року з поправками регламентує використання тренажерів у сфері морської освіти та підготовки, що є безпосереднім свідченням їх важливості і доцільності застосування.

Серед існуючих форм та методів навчання суттєвий вплив на формування професійної компетентності моряка має, як теоретична, так і практична підготовка, яка за різних умов (пандемія, військовий стан, дистанційне навчання) може бути обмеженою у різних аспектах (якості, доступності, тривалості тощо). Одним із можливих шляхів належної, а за сприятливих умов покращеної, підготовки здобувачів вищої освіти (ЗВО) є використання віртуальних тренажерів. Сучасні віртуальні тренажери дозволяють моделювати майбутні умови професійної діяльності у навчальному процесі.

Метою досліджень є визначення результативності підготовки ЗВО при формуванні знань і навичок на початку професійної кар'єри за допомогою найсучасніших віртуальних тренажерів машинного обладнання.

Методика та засоби досліджень. Раніше автори [3] вже представили методологічні аспекти тестування ЗВО в межах проведення наукових досліджень та результати дослідження щодо ефективності симуляторів віртуальної та імерсивної реальності, які використовуються для навчання ЗВО факультету суднової енергетики [4].

У межах досліджень було експериментально встановлено результативність підготовки ЗВО з використанням тренажерів віртуальної та імерсивної реальності й порівняно отримані результати з традиційною методикою.

До експерименту на волонтерській основі було залучено понад сотню ЗВО першого курсу всіх спеціальностей – майбутні судноводії, механіки та електромеханіки. Єдиним критерієм участі в експерименті був результат тесту Беннета (The Bennett Mechanical Comprehension Test, ВМСТ) [5]. За отриманим результатом ВМСТ було обрано 45 ЗВО, які потім розподілені на 3 групи за рівнем інженерного мислення. Групу А з високим рівнем інженерного мислення, групу В з середнім рівнем інженерного мислення, та групу С з нижчим за середній рівень інженерного мислення. Далі кожна група була поділена на 3 підгрупи (по 5 ЗВО у кожній) для подальшого навчання за різними методиками.

ЗВО груп А1, В1, С1 виконували вправи на тренажері машинного відділення. Завдання включали підготовку до пуску та пуск аварійного дизель-генератора (АДГ) різних типів суден, різними способами. Далі ЗВО груп А1, В1, С1 разом з ЗВО груп А2, В2, С2 перейшли до завдання з підготовки та пуску АДГ за допомогою імерсивного віртуального тренажеру. Потім у тому ж складі перейшли до виконання завдання з підготовки та пуску реального дизель-генератора безпосередньо в академічній лабораторії машинного відділення. ЗВО груп А3, В3, С3 виконували тільки завдання з підготовки та пуску реального дизель-генератора (ДГ).

Для визначення результативності підготовки кожної з перерахованих вище груп були розроблені тестові завдання, які включали ранжування дій за правильним алгоритмом з підготовки й пуску АДГ (15 пунктів по одному балу за кожен правильно виконаний пункт) та 15 тестових запитань (1 бал за одну правильну відповідь) на знання

генератором, ЗВО впевнено перевіряли рівень палива та знаходили щуп, щоб перевірити рівень оливи в картері. На відміну від імерсивного, використання тренажеру віртуального машинного відділення надавало можливість засвоїти специфіку технічного використання АДГ, які встановлені на судах різних типів, проведення тестування АДГ (імітацію знеструмлення), заряджання акумулятора, процедуру гідравлічного пуску АДГ, усунення несправностей тощо. Наведене вище стосується лише тренажерів Wartsila ERS 5000 TechSim та OMS-VR, зазначених у параграфі «методика та засоби досліджень», і не стосується інших виробників тренажерів.

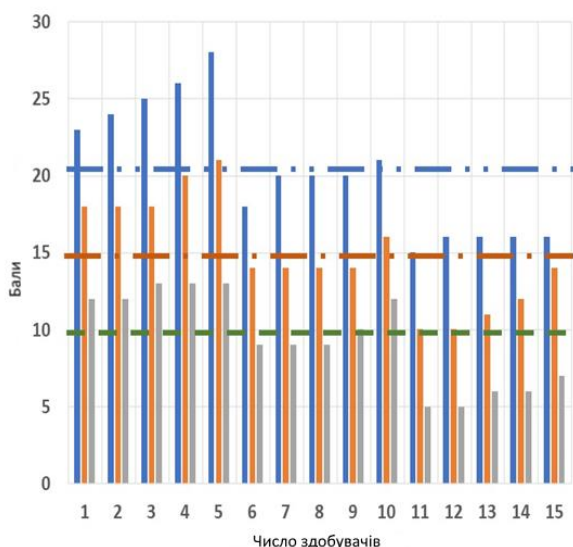


Рисунок – 2 Діаграма результативності підготовки ЗВО за трьома методиками:
- - - - - лінія середнього балу отриманого в результаті підготовки з використанням віртуального тренажеру машинного відділення, віртуального імерсивного тренажеру та реального АДГ
- · - · - лінія середнього балу отриманого в результаті підготовки з використанням віртуального імерсивного тренажеру і реального АДГ
- - - - - лінія середнього балу отриманого в результаті підготовки з використанням тільки реального АДГ

Висновки. Отримані результати показали, що змішане використання віртуальних, імерсивних тренажерів та реального лабораторного обладнання при підготовці здобувачів вищої освіти є вдвічі результативнішим, як у кількісному, так і якісному співвідношенні, на відміну від класичної підготовки, коли використовуються тільки теоретичні матеріали та лабораторне обладнання.

Але, варто зауважити, що проведені дослідження не охоплюють всі можливі методики тренажерної підготовки фахівців морської галузі. Зокрема, вважаємо перспективним дослідження якості використання хмарних тренажерів у фаховій підготовці майбутніх моряків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kim, Te., Sharma, A., Bustgaard, M. et al. The continuum of simulator-based maritime training and education. *WMU J Marit Affairs* **20**, 135–150 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13437-021-00242-2>
2. Ceylan, B.O., Karatuğ, Ç. & Arslanoğlu, Y. A novel methodology for the use of engine simulators as a tool in academic studies. *J Mar Sci Technol* **27**, 1220–1232 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00773-022-00902-9>
3. Богдан Ю.О. Методологічні аспекти тестування здобувачів вищої освіти в межах проведення наукових досліджень / Ю.О. Богдан, І.В. Богомоллова, А.І. Сатулов // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування.

Матеріали 12-ої Міжнародної науково-практичної конференції, 06-08 вересня 2021 року. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2021. – С. 307-309.

4. Bohdan Y., Bohomolova I., Satulov A., Voloshynov S., Savchuk V. (2021) Comparative analysis for state-of-the-art simulation training systems those influence onto the future engineers' knowledge and skills. AGA21 – IAMU Conference Proceedings.pdf, pp. 259-270.

5. George K. Bennett, Bennett Mechanical Comprehension Test, Pearson, 2008.

INTENSIFICATION OF PROFESSIONAL-ORIENTED ENGLISH TRAINING OF FUTURE AVIATION SPECIALISTS BY TEACHING SPECIAL DISCIPLINES IN ENGLISH

Kalashnyk-Rybalko M.A., Kalashnyk G.A.

Flight Academy of the National Aviation University (Ukraine)

Introduction. The level of flight safety is largely determined by the quality of professional training of aviation personnel. The occurrence of aviation events as a result of the incorrect performance of professional tasks, in particular, violations and errors of aviation specialists during professional English communication, is caused by systemic deficiencies in the process of organizing the work of flight control personnel and during the training of future aviation specialists. All this reduces the level of flight safety and can lead to aviation incidents and human losses.

In the conditions of increased requirements for the readiness of aviation specialists for professional communication according to the international standards of ICAO (ICAO – International Civil Aviation Organization), unfortunately, the annual decrease in the hours of study load in the work programs of aviation university for the Aviation English training of students is becoming a trend. Despite numerous methodological developments in professionally oriented English training of aviation university students and strict adherence to existing standards for assessing the level of proficiency in Aviation English [1, 2 etc.], a number of complex applied tasks remain only partially solved, in particular in part reducing the possibility of staff communication errors during special in-flight incidents, and emergency situations. This requires the intensification of the training of students in professional communication for their gradual and effective acquisition of communication skills in fluent spoken aviation English and professional interaction, increasing their perception and correct understanding of the rapid verbal flow of information, the ability to react to make adequate decisions in the conditions of dynamic changes in the complex air environment and lack of time for his verbal message.

Setting task. The pedagogical system of aviation university students training for professional English communication should be directed to current world standards. Implementation and implementation of these standards require mastering the general English at a high level, without which students will not be able to function effectively in further professional activities. This requires further development and improvement of the pedagogical principles of the process of future aviation specialists' training in professionally oriented English, in particular, in the process of teaching special disciplines in English.

Research results. To achieve the IV minimum working level of aviation English according to the ICAO Language Knowledge Assessment Scale for Aviation Specialists [3] Document 9835 recommends using the method of content-oriented training, which ensures the adequacy of the student's perception of the subject-conceptual content, the effectiveness of assimilation of the educational material, their motivation and cost-effectiveness of the learning process [4]. This technique is based on the recognition of the importance of correspondence between the subject content of the English language training course and the interests of the students of aviation education institutions. According to the recommendations of document ISAO 9835, when choosing the forms of classroom classes in accordance with the working program of English-language training of education seekers, attention is focused on the performance of context-oriented tasks; exercises should be created with an emphasis on increasing team cohesion and promote harmonious interaction of each individual; develop the ability to make quick and adequate decisions, solve problems by using role-playing games and modeling close to professional situations [4].

In our opinion, it is also worth paying more attention to the peculiarities of professional communication in the "teacher-learner" system, to the technologies of establishing communication based on dialogic communication between learners, to the development of a dual

education system, the priority of which is based on establishing close links between theory and practice, i.e. the acquired knowledge is reinforced in practice, where, in fact, their professionalization takes place, the setting of knowledge of the English language at the level of an expert-communicator with international communicative standards for mastering the professional vocabulary of the English language according to the requirements of international communication standards in the aviation industry (minimum IV ICAO level).

Today, in a very small number of methodological developments, non-standard situations of special and difficult flight conditions are reproduced in exercises. A special feature of the didactic-methodical resource should be its practical nature and the ability to independently process the necessary information and creatively approach the assimilation of the material. We believe that effective professional communication of aviation specialists in special conditions is not purely English-speaking and is not limited only to the problem of communication during radio exchange in the "pilot-dispatcher" system. An important role here is played by professional and meaningful training, the development of professionalism, in particular, professional tasks in English. Therefore, it is necessary to involve aviation experts in the creation of communicative exercises for education seekers, who, in synergy with aviation English teachers, will effectively overcome difficulties in the formation and objective assessment of the educational content of exercises aimed at obtaining and maintaining professional meaningful communication skills of education seekers both in standard and non-standard flight situations.

Pedagogical principles of the process of training future aviation specialists in professionally oriented English are determined by the specific features of professional communication in standard conditions: formalized terminology of radio exchange, the impossibility of using non-verbal or other auxiliary means of informing, the presence of a large number of abbreviations, letters, numbers, abbreviations, codes, the use of limited stock professional vocabulary and simplified grammatical forms, the presence of psychological, linguistic and semantic barriers.

In the special conditions of professional activity, the impact of a set of extraordinary elements of each emergency situation is additionally added, which can potentially threaten the safety of flights and requires the rapid implementation of adequate actions aimed at minimizing the negative impact on safety, including informational, psychophysiological, with elements of uncertainty and/or complex nature. All this requires the readiness of future aviation specialists for professional communication in English as a dynamic and stable characteristic.

One of the ways to intensify the professional language training of students of aviation universities is the improvement of simulator training, which allows the implementation of an individually directed personal learning trajectory for each subject and effectively develops an independent component of English training. Teaching special disciplines of the certification list in English is an effective way of intensifying the professional language training of aviation universities students.

We conducted an analysis of scientific research on the current state of communicative readiness of future aviation specialists to interact in professionally oriented English [1], and specific features of professional communication of aviation specialists in English in standard and special conditions [2]. We have our own experience in training future aviation specialists at the Flight Academy of the National Aviation University during the teaching in English of special disciplines of the certification list, in particular, the disciplines "Fundamentals of geophysical support of flights", and "Navigation" [5]. This allowed us to conclude that the pedagogical system of professionally-oriented English training of aviation universities students for future professional communication will be effective if the formation of the content and system of training of students of education is carried out through the implementation of an informational and communicative pedagogical environment and the selection of optimal pedagogical methods of professionally-oriented English training, in particular by teaching certain special disciplines in English.

In general, the training of aviation university students combines linguistic, motivational, professional content components, as psychophysiological, methodological, reflective and corrective components. The activation and unity of these components can create prerequisites for high-quality professional communication and interaction in the professionally-oriented English of future aviation specialists. The professional content component of the English training of education seekers should fulfill the following goals: 1) to teach the use of non-patterned language in a working environment; 2) to develop communicative language skills for successfully solving intellectual tasks according to the profile of future professional activity.

The criteria for evaluating the professional content component are the quality of professional knowledge for solving intellectual tasks according to the profile of future professional activity, readiness for prompt resolution of professional tasks and problems, for interaction, and for a creative approach to solving tasks. Indicators of the effectiveness of this component are the effective use of acquired basic knowledge in the field of aviation, as well as communicative, professional, didactic, cognitive, applied and organizational skills and skills that allow you to perform certain actions and operations without error, almost automatically, as a result of repeated repetition. All of these indicators involve separate communication in flight procedures when requesting information, in confirming the situation, approving and disapproving procedures, and in their proper use in testing. It is important for an air traffic controller to train the ability not only to listen to one plane but also to control the situation in general by means of radio communication with other planes at the same time.

The activation and unity of linguistic, motivational, professional content, psychophysiological, methodological, reflective and corrective components in the educational process of aviation university students can create prerequisites for high-quality professional oriented English training of future aviation specialists. Each of these components is based on certain criteria and indicators, which are the basis for the formation of certain levels of language levels of readiness of future aviation specialists for professional communication in English.

Conclusions. The own experience of training students at the Flight Academy of the National Aviation University with teaching in English special disciplines allowed us to provide a description of the selected components of the pedagogical system of intensification of English-language training of students of aviation universities for future professional communication. The principles of professional training, components, indicators, criteria, language levels of readiness of future aviation specialists for professional communication and interaction in English, and forms of organization of training with teaching in English of special disciplines are presented.

REFERENCES

1. Moskalenko O., Muravska S., Didenko O., & Biliavets S. Defining the Underlying Factors of Ukrainian Student Pilots Motivation to Learn Aviation English. *Revista Romaneasca pentru Educatie Multidimensionala*. – 2019. – 11(2). – P. 198-221.
2. Plachynda T., & Moskalenko O. Assesment of studying in future aviation specialists' professional preparation as factor of quality improvement. *Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Серія: "Педагогічні науки"*. – 2017. – 7. – С. 93-97.
3. Тестування на визначення рівня володіння англійською мовою за Шкалою ICAO URL: <http://complang.ru/atc/testing>.
4. ICAO, 2010. Doc. 9835 AN/453. Manual on the Implementation of ICAO Language Proficiency Requirements created by ICAO, Second Edition. 2010. – 180 p.
5. Калашник-Рибалко М.А., Снісаренко І.Є. Обґрунтування організаційно-педагогічних умов інтенсифікації професійної англомовної підготовки майбутніх авіаційних фахівців. *Системи озброєння і військова техніка*. – 2022. – №1(69). – С.96-103.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ВЗАЄМОДІЇ СУБ'ЄКТІВ РИНКУ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ ТА ФАХІВЦІВ МИТНОЇ СЛУЖБИ

*Лебідь Є.М., Лебідь І.Г., Лужанська Н.О.
Національний транспортний університет
(Україна)*

Вступ. Однією з головних проблем при організації міжнародних перевезень є тривалість виконання митних формальностей. При перетині державного кордону дана процедура є обов'язковою для усіх типів товарів, незалежно від митного режиму в якому він переміщується. Митне оформлення та митний контроль є частиною транспортного процесу і мають значний вплив на загальну тривалість виконання зовнішньоторговельної операції. В залежності від ефективності організації роботи суб'єктів ринку транспортних послуг та фахівців митної служби визначаються терміни доставки товару, а також виконання умов зовнішньоторговельного контракту перед контрагентом.

Актуальність дослідження. Митні формальності безпосередньо впливають на процес організації міжнародних перевезень. Від швидкості проходження митних формальностей залежить ефективність більшої частини транспортного процесу, тому це два взаємопов'язані процеси. Взаємодія приватних підприємств та державних установ і організацій потребує погодженості дій та регламентування всіх типів робіт, що виконуються в процесі виконання доставки товарів у міжнародному сполученні.

Постановка задачі. Міжнародні перевезення досить складні в організаційному плані перевезення, які вимагають залучення значних ресурсів, часу та фінансового обґрунтування витрат. Під час організації з'являється низка проблем, які ускладнюють процес та впливають на тривалість доставки, що в свою чергу може наносити збитки усім учасникам транспортного процесу. Доцільним є дослідження процесу виконання митних формальностей з метою виявлення основних етапів взаємодії суб'єктів ринку транспортних послуг з митними органами.

Результати досліджень. Серед основних проблем доставки товарів у міжнародному сполученні можна виділити такі: відсутність достатньої кількості скоординованих заходів, які б зменшували кількість бар'єрів в міжнародному сполученні; слабка матеріально-технічна база, що унеможлиблює прискорення роботи на всіх етапах та недостатня кількість інвестицій в дану сферу; неузгодженість законодавчих і правових норм в міжнародному транспортному просторі; тривалість митного оформлення під час організації міжнародних перевезень; черги на пунктах пропуску.

Відповідно до статті 246 Митного кодексу України, метою митного оформлення є забезпечення дотримання встановленого законодавством України порядку переміщення товарів, транспортних засобів комерційного призначення через митний кордон України, а також забезпечення статистичного обліку ввезення на митну територію України, вивезення за її межі і транзиту через її територію товарів [1].

Основними проблемами під час митного оформлення товарів є: правильність визначення класифікації імпортованих/експортованих товарів, митної вартості, країни походження товарів і її підтвердження належною документацією, а також інші питання при підготовці митної декларації, агентом з митного оформлення; невідповідність української законодавчої бази міжнародними стандартами; тривалість проходження митного контролю, оформлення та інших формальностей безпосередньо у самих пунктах пропуску; порушення митних правил; корупція в митних органах та зловживання своїми повноваженнями.

Основним інструментом суттєвого впливу на міжнародні перевезення є організація міжнародної співпраці між країнами, профільними підприємствами та організаціями, а також фахівцями, які представляють інтереси суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності.

Це дозволяє суттєво зменшити складнощі, пов'язані з виконанням митних формальностей, пришвидшує тривалість доставки товару у міжнародному сполученні та сприяє українським підприємствам, які займаються міжнародною торгівлею збільшити обсяги експорту на міжнародні ринки, що в свою чергу дозволяє зміцнити репутацію нашої країни, як надійного партнера та гідного конкурента на міжнародному ринку.

Оптимізація та покращення існуючих методів та планів міжнародних перевезень, має більш високий вплив на супутні сфери діяльності ніж це здається одразу та дозволяє суттєво впливати не тільки на систему доставки вантажів, а й на більш глобальні питання. Саме тому, оптимізація існуючої системи міжнародних перевезень та митних формальностей є актуальним питанням, яке необхідно розглядати не тільки в системі перевезень, а й в більш загальному та комплексному вигляді, оскільки дані дії будуть нести саме такий характер.

Одним з головних чинників, що впливають на ефективність виконання зовнішньоторговельних операцій є фахівці приватних та державних організацій, залучені до організації та виконання посадових обов'язків з митно-логістичного обслуговування замовників. З метою визначення ефективності роботи працівників організації застосовують KPI (Key Performance Indicators). Система показників розробляється кожною організацією індивідуально, з урахуванням специфіки діяльності. Не є виключенням і митні органи. В залежності від напрямку діяльності фахівця митної служби можуть бути застосовані різні показники ефективності. До KPI інспектора митного поста, що знаходиться на території вантажного митного комплексу, належать: швидкість оформлення документів; якість перевірки вантажів; дотримання вимог митної служби; кількість виявлених порушень при виконанні митних операцій; кількість розглянутих скарг та запитів від клієнтів; виконання нормативних термінів при оформленні документів. KPI інспектора автомобільного пункту пропуску включає в себе наступні показники: кількість перевірок транспортних засобів; час очікування транспорту на пункті пропуску; кількість виявлених порушень при перевірці транспортних засобів; ефективність вирішення проблем та конфліктів з водіями; відсоток успішного проходження транспорту через пункт пропуску; тривалість здійснення митного контролю транспортних засобів на смугах руху «червоний коридор» у зонах митного контролю пунктів пропуску для автомобільного сполучення; оцінка ефективності здійснення митного огляду за ініціативи посадової особи внаслідок застосування системи управління ризиками.

Розробка раціональної організації міжнародних перевезень та митних формальностей являє суттєву частину перевезення в цілому, та потребує до себе підвищену увагу. Адже кількість переваг які можна отримати шляхом удосконалення даних операцій суттєво переважає кількість ресурсів, які буде затрачено на оптимізацію всього процесу перевезення та митного оформлення.

Висновки. Проведено аналіз проблем, що виникають при організації міжнародних перевезень та митних формальностей. Досліджено чинники впливу на ефективність організації бізнес-процесів при доставці товарів. Встановлено основні перешкоди, що виникають у діяльності суб'єктів ринку транспортних послуг та митних органів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Митний Кодекс України URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4495-17#Text>.

THE SPECIFICS OF TRAINING SPECIALISTS IN THE TRANSPORT INDUSTRY UNDER MARTIAL LAW

*Leshchenko A., Paziak A., Yurzhenko A.
Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)*

Introduction. Ukraine has a long history of maritime education and training (MET), with several institutions offering programs in the field. The oldest maritime higher education institution in Ukraine is Kherson State Maritime Academe (KSMA). The Ukrainian government has also made efforts to improve the quality of MET in the country, particularly in response to changing international standards and regulations. In recent years, the government has invested in the modernization of training facilities, the development of new curriculum and training programs, and the establishment of partnerships with international organizations and institutions. Nowadays in terms of martial law educational process at KSMA is conducted in fully remote mode. The main resource KSMA use while e-learning is LMS Moodle [1].

With Moodle, teachers can create and manage course content, assignments, assessments, and discussions online. Moodle allows you to create a wide variety of activities that can be used to engage cadets and facilitate learning. Some of the activities that can be created in Moodle include: Quizzes (teacher create quizzes that include multiple-choice, true/false, short answer, and essay questions, among others, Moodle provides a range of question types and settings to create custom quizzes) [2]; Forums (teacher creates discussion forums that allow cadets to post questions, comments, and replies, Moodle provides a range of forum types, including standard forums, news forums, and Q&A forums) [3]; Wikis (teachers create wikis that allow students to collaborate on documents and build knowledge together); Surveys (teachers create surveys to gather feedback from students about a course or specific topics) [4]; Glossaries (teachers create glossaries that allow students to create and share definitions of key terms and concepts); Lessons (teachers create lessons that include content and questions, and cadets progress through the lesson based on their responses); Assignments (teacher creates assignments that require students to submit files or text, and set deadlines for these assignments). Example of Assignment activity for future ship engineers is shown in the figure below.

Grading summary	
Hidden from students	No
Participants	30
Submitted	1
Needs grading	1

Figure 1 – Assignment activity on LMS Moodle (Maritime English online course)

These are just a few examples of the activities that can be created in Moodle. Moodle provides a wide range of options and settings for each activity, giving teachers the flexibility to create customized learning experiences.

As videoconference service BigBlueButton on LMS Moodle was chosen to train specialists of the transport industry at KSMA. BigBlueButton is an open-source web conferencing system that allows real-time collaboration and communication through various multimedia tools such as audio, video, chat, and screen sharing. In the context of LMS Moodle, BigBlueButton was integrated as a plugin to provide online classrooms and virtual meeting spaces for teachers and cadets. The integration allows teachers to schedule and launch online classes directly from their Moodle course pages, and students can join the classes without leaving Moodle. BigBlueButton on Moodle provides an interactive and immersive environment for cadets and teachers to engage with each other. Additionally, BigBlueButton also provides features such as breakout rooms, recording, polling, and whiteboarding, making it a versatile tool for various online teaching and learning scenarios [5].

KSMA also uses its own e-repository in order to preserve and provide long-term access to institutional research outputs, data, and other scholarly materials (rep.ksma.ks.ua). By storing digital assets in a repository, KSMA ensures that valuable information is properly managed, curated, and preserved for future generations.

Conclusions. LMS Moodle allows teachers to create a wide variety of activities, such as quizzes, forums, wikis, surveys, glossaries, lessons, and assignments. Videoconference service BigBlueButton on LMS Moodle provides real-time collaboration and communication tools such as audio, video, chat, and screen sharing. The integration of BigBlueButton on Moodle allows teachers to schedule and launch online classes directly from their course pages, and students can join the classes without leaving Moodle. Own e-repository of maritime higher education institution helps to preserve and provide long-term access to institutional research outputs, data, and other scholarly materials. Overall, it's proved that e-learning technologies and resources such as Moodle, BigBlueButton, and e-repositories can play an important role in training specialists in the transport industry, particularly in times of crisis such as martial law.

REFERENCES

1. Yurzhenko 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., Yurzhenko 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).
5. PERFORMANCE IMPROVEMENTS OF BIGBLUEBUTTON FOR DISTANCE TEACHING. *IADIS INTERNATIONAL JOURNAL ON COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION SYSTEMS*. 2022. Vol. 17, no. 1. URL: https://doi.org/10.33965/ijcsis_2022170101 (date of access: 03.05.2023).

ФОРМУВАННЯ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Фурс Т.В.

*Луцький національний технічний університет
(Україна)*

Вступ. У сучасному світі знання й технології розвиваються надто динамічно й швидко. Тому нині навчальний процес здобувачів вищої освіти інженерних спеціальностей необхідно спрямовувати не тільки на засвоєння базових знань, умінь і навичок, а й на набуття здатності до самостійного оволодіння новими знаннями, аналізу інформації, використанням їх на практиці протягом усього періоду фахової діяльності. Виникає необхідність у підготовці спеціалістів, які володіють соціально-професійною активністю, високим рівнем компетентностей, самостійністю, вмінням постійно удосконалювати свої фахові навички та ефективно реалізовувати подальше професійне зростання.

Одним з головних завдань на сучасному етапі модернізації системи вищої освіти України є розвиток її інтеграції з виробництвом, забезпечення якості підготовки фахівців на рівні міжнародних стандартів. У наш час конкурентоспроможні фахівці певної галузі мають володіти професійними вміннями і навичками, що ґрунтуються на сучасних знаннях, та високим рівнем компетентностей, що ґрунтуються на критичному мисленні й здатності застосовувати свої знання на практиці.

Актуальність досліджень. Під компетентністю фахівця дослідники виділяють комплекс необхідних спеціальних знань, умінь та навичок, які набуваються у процесі навчання за певною спеціальністю [1, 2]. Здобуті компетентності дозволять встановити й розв'язувати спеціальні завдання, проблеми та, загалом, ефективно провадити професійну діяльність.

Фахівці з даної проблематики виокремлюють кілька видів компетентностей, якими мають володіти сучасні випускники вищих навчальних закладів. Зокрема: спеціальна (фахова) компетентність, яка забезпечує володіння на високому рівні професійною діяльністю та здатність професійно розвиватися; суспільна компетентність, яка обумовлює володіння спільною (груповою) професійною діяльністю, доцільними формами спілкування й взаємодією; особистісна компетентність, яка забезпечує оволодіння прийомами особистісного самовираження та саморозвитку [3].

Відтак, здобуття вищої освіти в нинішній час характеризує здобуття чи оволодіння саме таким комплексом компетентностей, що означає здатність до професійної діяльності, комунікації, у становленні особистості професіонала. Компетентнісний підхід орієнтується на кінцевий результат освітнього процесу і спрямовується на формування у майбутнього фахівця готовності ефективно використовувати набуті знання й потенційні можливості для досягнення поставленої мети.

Постановка задачі. Розглянемо формування компетентностей здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» у процесі вивчення навчальної дисципліни «Експлуатаційні матеріали на автомобільному транспорті».

Результати досліджень. Освітня компонента (ОК) «Експлуатаційні матеріали на автомобільному транспорті» відноситься до дисциплін загальної підготовки. Метою вивчення даної ОК є формування у студентів знань, умінь і навичок, що дозволяють вільно володіти комплексом експлуатаційно-технічних вимог щодо якості сучасних експлуатаційних матеріалів (моторних палив, мастильних матеріалів, спеціальних технічних рідин та інших експлуатаційних матеріалів) з урахуванням їх впливу на надійність і довговічність роботи двигунів внутрішнього згорання, агрегатів трансмісії та

інших конструктивних вузлів автомобілів, а також організацією їх раціонального застосування з урахуванням економічних та екологічних факторів.

Процес навчання передбачає:

- ознайомлення студентів з основними фізико-хімічними та експлуатаційними властивостями традиційних паливно-мастильних матеріалів та рідин експлуатаційного призначення для автомобільного транспорту;

- знання факторів, що забезпечують зберігання та використання автомобільних експлуатаційних матеріалів з максимальним економічним ефектом;

- вміння правильно оцінити експлуатаційні властивості палив і мастильних матеріалів для автомобільного транспорту і зробити висновок про їх придатність до використання;

- одержання навичок виконання лабораторних досліджень для контролю і оцінки основних показників якості паливно-мастильних матеріалів, знати способи їх покращення;

- засвоєння переліку заходів, що забезпечують зменшення забруднення оточуючого середовища при використанні паливно-мастильних матеріалів, та необхідних заходів з охорони праці та протипожежної безпеки.

Серед низки програмних компетентностей, рекомендованих Стандартом вищої освіти України, визначимо ті з них, які формуються у здобувачів освіти в процесі вивчення загальної навчальної дисципліни «Експлуатаційні матеріали на автомобільному транспорті», та окреслимо відповідний їм зміст умінь. Результати аналізу систематизовано і подано у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1 – Опис компетентностей, формування котрих забезпечує вивчення дисципліни «Експлуатаційні матеріали на автомобільному транспорті»

Загальні компетентності	Спеціальні (фахові) компетентності
<ul style="list-style-type: none"> – Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. – Здатність здійснювати безпечну діяльність. – Здатність діяти соціально-відповідально та свідомо. – Здатність працювати свідомо. – Здатність працювати автономно. – Здатність до адаптації та дій в новій ситуації. 	<ul style="list-style-type: none"> – Здатність використовувати у професійній діяльності знання нормативно-правових, законодавчих актів України, Правил технічної експлуатації автомобільного транспорту України, інструкцій та рекомендацій з експлуатації, ремонту та обслуговування об'єктів автомобільного транспорту та їх систем. – Здатність проведення вимірювального процесу і обробки його результатів. – Здатність організовувати ефективну експлуатацію об'єктів автомобільного транспорту, їх систем та елементів. – Здатність застосовувати методи та засоби технічних вимірювань, технічні регламенти, стандарти та інші нормативні документи при технічній діагностиці, технічному обслуговуванні та ремонті дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту, їх систем та елементів. – Здатність аналізувати техніко-експлуатаційні показники автомобільних транспортних засобів, їх систем та елементів з метою виявлення та усунення негативних чинників та підвищення ефективності їх використання.

Дана ОК забезпечує формування у майбутніх фахівців автомобільної галузі інтегральної компетентності, зміст якої полягає у здатності розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у сфері автомобільного транспорту або у

процесі навчання, що передбачає застосування певних теорій та методів технічних наук, економіки та управління і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Сформовані компетентності відображають зміст низки знань та вмінь студентів (результати навчання):

- концептуальні наукові та практичні знання, необхідні для розв'язання спеціалізованих складних задач автомобільного транспорту, критичне осмислювання відповідних теорій, принципів, методів і понять;
- застосовувати інформаційні та комунікаційні технології для дослідження моделей об'єктів і процесів автомобільного транспорту, експлуатаційних властивостей автомобільних транспортних засобів, здійснення інженерних і техніко-економічних розрахунків та розв'язування інших задач автомобільного транспорту;
- відшуковувати необхідну інформацію в науково-технічній літературі, базах даних та інших джерелах; аналізувати та оцінювати цю інформацію;
- приймати ефективні рішення, аналізувати і порівнювати альтернативні варіанти з урахуванням цілей та обмежень, питань забезпечення якості, а також технічних, економічних, законодавчих та інших аспектів;
- аналізувати інформацію, отриману в результаті досліджень, узагальнювати, систематизувати й використовувати її у професійній діяльності;
- розуміти і застосовувати у професійній діяльності нормативно-правові та законодавчі акти України, міжнародні нормативні документи, Правила технічної експлуатації автомобільного транспорту України, інструкції та рекомендації з експлуатації, ремонту та обслуговування автомобільних транспортних засобів, їх систем та елементів;
- планувати та здійснювати вимірювальні експерименти з використанням відповідного обладнання, аналізувати їх результати;
- організовувати експлуатацію автомобільних транспортних засобів, їх систем та елементів;
- здійснювати технічне діагностування автомобільних транспортних засобів, їх систем та елементів з використанням відповідних методів та засобів, а також технічних регламентів, стандартів та інших нормативних документів;
- збирати та аналізувати діагностичну інформацію про технічний стан автомобільних транспортних засобів.

Висновки. На основі аналізу програмних компетентностей, рекомендованих Стандартом вищої освіти України щодо підготовки бакалаврів за спеціальністю 274 – Автомобільний транспорт, окреслено загальні і спеціальні (фахові) компетентності та відповідний їм зміст умінь, які формуються у майбутніх спеціалістів в процесі вивчення загальної навчальної дисципліни «Експлуатаційні матеріали на автомобільному транспорті». Компетентності, здобуті при вивченні ОК «Експлуатаційні матеріали на автомобільному транспорті» підсилюють професійну підготовку та забезпечують здатність фахівця автомобільного транспорту успішно провадити свою професійну діяльність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Волощук І. П. Формування професійної компетентності студентів ВНЗ: компетентнісний підхід. *Наукові записки НДУ ім. М. Гоголя*. 2014. № 3. С. 34 – 38.
2. Антонюк Л.Л., Василькова Н.В., Ільницький Д.О. та ін. Компетентнісний підхід у вищій освіті: світовий досвід. К.: КНЕУ, 2016. 66 с.
3. Компетентнісний підхід у сучасній освіті: світовий досвід та українські перспективи: Бібліотека з освітньої політики / під заг. ред. О. В. Овчарук. К. : К. І. С., 2004. 112 с.

СЕКЦІЯ

**ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ «ЗЕЛЕНОГО» ТРАНСПОРТУ:
ДЖЕРЕЛА Й НАКОПИЧУВАЧІ ЕНЕРГІЇ, НОВІТНІ МАТЕРІАЛИ,
БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

APPLICATION OF THE RADIATION METHODS FOR CONTROL THE CONDITION OF COMPRESSOR EQUIPMENT

*Bazaleev M.I., Donets S.E., Bryukhovensky V.V., Lytvynenko V.V., Melyakova O.A.
Institute of Electrophysics and Radiation Technologies NAS of Ukraine*

Introduction. Radiation technologies are a tool that, when integrated into existing production processes, can elevate them to several technological devices. Such a significant effect is due to their physical feature, which consists in using the relationship between the radiation spectrum and the properties of the technological object [1]. Usually, radiation technologies are divided into three types: diagnostic, modifying and testing. The task of diagnostic radiation technologies is to obtain information about the state of the technological object, in relation to this project - compressor equipment, by registering its own radiation in the IR range. Modifying radiation technologies have the goal of providing specified properties to the product by treating it with a certain spectrum of radiation. Test radiation technologies are designed to simulate the influence of a set of factors that arise during the operation of the equipment on certain of its components and components. The need to implement radiation technologies among domestic manufacturers of compressor equipment is due to a number of factors, namely. Modern NPP maintenance technologies require ever-increasing volumes of "instrumental air" with special set parameters (temperature, humidity, oil-freeness). The energy transition to carbon-free energy creates an inevitable niche for compressors as tools for hydrogen compression, energy accumulation, utilization of low-potential heat of nuclear power plants, sequestration of carbon dioxin, etc.

In this project, it is proposed to develop and implement diagnostic radiation technologies in production bench tests of compressors of domestic manufacturers. For this purpose, a special hardware and software complex and an information and measurement system will be developed to analyze the dynamics of the distribution of the temperature field. Also, a method of test radiation tests of compressor equipment elements will be developed in order to establish the stability limits of its operational characteristics and the possibilities of their radiation modification.. In the conditions of the energy transition to carbon-neutral means of electricity generation, nuclear energy is given at least the place of a transitional type of generation, which is designed to provide access to cost-effective energy production from renewable sources. At the same time, a number of hybrid options are being considered, which consist in the fact that the electricity produced at the NPP will be used for storage in the form of hydrogen, or will be stored in the form of compressed air. All these approaches involve the increasing use of a variety of compressor equipment, which in turn increases safety requirements, as stated in a number of international regulatory documents.

Formulation of the problem. Among the main requirements of safe operation is the possibility of diagnosing compressors by means of mobile control devices, including remote ones in the case of the need to comply with safety standards during control. Among the list of parameters to be controlled, a significant place belongs to those related to temperature control: the temperature of the sliding and rolling support bearings, the temperature of the compressed air after the adsorber filters, the temperature of the compressed air in the storage receivers of the system; compressed air temperature after each degree of compression. Since the air temperature is a dynamic parameter, the control precision will be much more correct if the temperature of the compressor's tangential nodes is also controlled. The method of thermographic control is most appropriate for this. We mentioned this approach in papers [2,3]. Taking into account the special conditions of placement of control equipment at the NPP site, a certain algorithm and methodology for the use of thermographic devices should be formulated.

Discussion of research results. The application of thermographic diagnostics of compressor equipment should be carried out in several stages, each of which allows obtaining more complete information about thermophysical processes occurring in structural and electrical

materials, moving mechanisms, lubricating and heat exchange media. Features of conducting thermographic control at each stage are as follows:

- a preliminary visual panoramic thermal imaging inspection involves obtaining thermal images without a stationary camera installation, which performs the task of prompt detection during incoming inspection of obvious thermal anomalies due to the presence of equipment malfunctions.

- incoming thermal imaging control involves receiving a thermal imaging image of the tested serviceable equipment, which is sent to the customer. The presence of such a "thermal passport" will allow in the future to reduce the time for carrying out repair and preventive works, to determine the causes of possible malfunctions.

- local thermal imaging examination can be used after fixing the deviations of the values of the controlled parameters by the diagnostic equipment of the test bench. A thermal imaging study will reveal the source of overheating and understand the nature of the observed deviation.

- a systematic thermal imaging study is used to obtain the spatio-temporal dynamics of the temperature field distribution of the investigated compressor equipment. For this, a stationary (on a tripod with conditional coordinate reference) installation of the thermal imager is required, recording of thermograms should be carried out at a given time interval, with fixation of the moment of turning on, turning off or switching to another mode of operation of the compressor. Further processing of thermograms is carried out using standard (attached to the device) and special software.

Conclusions. The hardware and software complex of radiation control for the detection of hidden and emerging defects and structural changes in compressor joints will realize the processing capabilities of both operational and statistical data (data of analyzes and tests), data of simulation modeling of defect formation processes and finding hidden defects, predicting changes in the material that signal the development and nucleation of defects. Individual components subject to the greatest wear and tear will be studied using radiation treatment. Primary data, results of measurements, analyzes and tests must be presented and displayed in a user-friendly form and must be stored in a single information database. The system should provide for the entry of information about previous operating conditions and test data of the manufacturing plant, the ability to quickly search, select and compare the necessary information for further analysis and diagnosis of defects.

The implementation of techniques for controlling the radiation temperature of compressor equipment based on the developed approach will allow to increase the efficiency of quality control of finished products, increase their competitiveness, and allow to optimize the production process.

REFERENCES

1. S. E. Donets, V. F. Klepikov, V. V. Lytvynenko et.a. / Testing of gas-turbine blades engines using the accelerators of high current relativistic electrons // Nuclear physics and atomic energy.-v.21.-№1.-2020,-p.95-100

2. N.I. Bazaleev, V.V.Lytvynenko / Thermographic defectoscopy of materials in nuclear power engineering based on the analysis of the dynamics of thermoproduction of defects at induction activation // Problems of atomic science and technology.-№5 (117).-2018.-p.154-161.

3. N.I. Bazaleev, V.V. Lytvynenko / Application of active thermography for defectoscopy of technological equipment on objects of the nuclear power plants // Problems of atomic science and technology.-№ 5 (123).-2019.- p. 179-185

ЕПОКСИДНИЙ АДГЕЗИВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

¹Букетов А.В., ¹Стрельченко В.Ю., ²Шульга Ю.М., ¹Юренін К.Ю.

¹Херсонська державна морська академія (Україна)

²Дунайський інститут національного університету «Одеська морська академія»
(Україна)

Вступ. На сьогодні відомий широкий спектр полімерних композитних матеріалів, які використовують у вигляді покриттів для підвищення надійності та ресурсозбереження засобів транспорту. Серед них чільне місце займають покриття на епоксидній основі. Вони відрізняються покращеними фізико-механічними і теплофізичними властивостями. Однак, однією з важливих властивостей захисних покриттів є їх адгезійна міцність до металевої основи, позаяк відшарування чи розтріскування адгезивів при експлуатації деталей у першу чергу залежить від їх міцності прилипання до основи. Тому на сьогодні актуальним питанням промисловості є впровадження полімерних покриттів з підвищеними показниками адгезійної міцності.

Мета роботи – дослідити вплив модифікатора 2,4-діаміноазобензол-4'-карбонової кислоти на адгезійні властивості та залишкові напруження захисних епоксидних покриттів засобів транспорту.

Результати досліджень. Як основний компонент для зв'язувача при формуванні матеріалів вибрано епоксидний діановий олігомер. Як модифікатор використано 2,4-діаміноазобензол-4'-карбонової кислоти (ДААБКК). Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін, що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах.

У роботі досліджували адгезійні властивості матеріалу. Встановлено (рис. 7), що показники адгезійної міцності при відриві і зсуві, а також залишкових напружень для вихідної матриці становлять відповідно: $\sigma_a = 24,8$ МПа, $\tau = 8,5$ МПа, $\sigma_z = 1,4$ МПа. При введенні модифікатора за незначного вмісту $q = 0,25 \dots 0,50$ мас.ч. адгезійна міцність КМ порівняно з вихідною матрицею монотонно зростає від $\sigma_a = 24,8$ МПа до $\sigma_a = 32,3 \dots 35,3$ МПа. Максимум ($\sigma_a = 36,1$ МПа) на кривій залежності адгезійної міцності при відриві від вмісту модифікатора спостерігали при введенні добавки у композит у кількості $q = 1,0$ мас.ч. При подальшому збільшенні вмісту добавки у епоксидному зв'язувачі спостерігали зменшення показників адгезійної міцності матриці. Зокрема, за вмісту ДААБКК у кількості 2,0 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру адгезійна міцність матриці становить $\sigma_a = 33,7$ МПа. Поліпшення адгезійних властивостей епоксидної матриці в результаті введення модифікатора, на наш погляд, можна пояснити фізико-хімічними процесами у зв'язувачі при його полімеризації. Модифікатор містить карбонільні С=О, карбоксильні СООН- та гідроксильні -ОН- групи, а також бокові групи первинних амінів -NH₂. Очевидно, що при зшиванні зв'язувача відбувається руйнування груп -NH₂ і, можливо, N-C зв'язків, в результаті чого утворюються додаткові вільні радикали з функціональними групами.

Залишкові напруження у захисних покриттях є одним із визначальних факторів їх довговічності. Зокрема, значні показники залишкових напружень зумовлюють передчасне старіння покриттів, що передбачає їх передчасне руйнування. Тому важливим є дослідження їх показників не лише після формування адгезивів, але й під час експлуатації деталей транспорту.

Експериментально встановлено, що залишкові напруження у вихідній епоксидній матриці становлять $\sigma_z = 1,4$ МПа. Уведення модифікатора у кількості $q = 0,25$ мас.ч. приводить до суттєвого зменшення залишкових напружень від $\sigma_z = 1,4$ МПа до $\sigma_z = 0,9$ МПа. Це можна пояснити пластифікуючою дією добавки з одного боку і

недостатнім затверджуванням матриці внаслідок незначної кількості модифікатора з другого боку. При збільшенні кількості добавки до $q = 0,50 \dots 1,00$ мас.ч. залишкові напруження зростають до $\sigma_3 = 1,0 \dots 1,2$ МПа. Зазначимо, що у даному діапазоні концентрацій модифікатора формуються адгезиви з максимальним показниками адгезійної міцності. Це свідчить про те, що формується міцнозшита структура матриці, яка забезпечує покращення адгезійних властивостей, хоча залишкові напруження, хоч несуттєво, але зростають. За збільшення вмісту добавки до $q = 1,50 \dots 2,00$ мас.ч. залишкові напруження, як і адгезійні характеристики, зменшуються. Це, у першу чергу, зумовлено надмірною кількістю ДААБКК у епоксидній системі, що призводить до підвищення золь-фракції у розроблених матеріалах.

Висновки. У роботі встановлено оптимальний вміст модифікатора 2,4-діаміноазобензол-4'-карбонової кислоти для формування модифікованого епоксидного захисного покриття з покращеними адгезійними характеристиками і незначними залишковими напруженнями. Доведено, що при введенні модифікатора 2,4-діаміноазобензол-4'-карбонової кислоти у кількості $q = 1,0$ мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20 формується матеріал з наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 36,1$ МПа. Це забезпечує підвищення, порівняно з вихідною епоксидною матрицею, показників адгезійної міцності при відриві у 1,5 разів, а адгезійної міцності при зсуві у 1,2 разів. Водночас слід зазначити, що введення модифікатора у кількості $q = 1,0$ мас.ч. зумовлює зниження залишкових напружень у покриттях від $\sigma_3 = 1,4$ МПа (для вихідної епоксидної матриці) до $\sigma_3 = 1,0$ МПа. Отриманий композит доцільно використовувати у вигляді матриці для формування покриттів з метою підвищення надійності засобів транспорту.

ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АА6111 СИСТЕМИ Al-Mg-Si В РЕЗУЛЬТАТІ ДІЇ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРОННОГО ОПРОМІНЕННЯ

Брюховецький В.В.¹, Литвиненко В.В.¹, Лонін Ю.Ф.², Мила Д.Є.¹, Пономарьов А.Г.²

¹ Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України (Україна)

² ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України (Україна)

Вступ. Алюмінієві сплави все більше знаходять своє застосування в суднобудуванні, зокрема для будівництва корпусів суден та їх компонентів. З алюмінієвих сплавів виготовляють різне суднове обладнання, трубопроводи та інші конструкції. Кораблі з алюмінієвими корпусами легші та використовують менше палива, ніж сталеві кораблі. Власники алюмінієвих кораблів також не несуть витрат на утримання життєвих циклів, пов'язаних з фарбуванням. А коли експлуатація алюмінієвого судна добігає свого кінця, то значною перевагою є висока цінність переробленої вторинної сировини. Приймаючи до уваги технології та методи, які вже на сьогодні є доступними для алюмінієвого суднобудування, можна з впевненістю говорити про те, що в майбутньому алюмінієві сплави зможуть стати основним конструкційним матеріалом в суднобудуванні замість сталі.

Серед основних вимог, що пред'являються до алюмінієвих сплавів для суднобудування, є вимоги високої пластичності та міцності а також високою має бути надійність зварних з'єднань із сплавів, призначених для виготовлення зварних конструкцій. Та чи не на першому місці з усіх вимог до алюмінієвих сплавів в суднобудуванні є хороша корозійна стійкість в морській і річковій воді або в інших середовищах, в яких буде працювати конструкція, виготовлена з алюмінієвого сплаву. При заданих швидкостях руху суден кожен з цих алюмінієвих сплавів також повинен володіти задовільною корозійною стійкістю під напруженням у відповідних середовищах. Перелік сплавів, дозволених до застосування у суднобудуванні, визначають морські та річкові реєстри. Як вже було сказано, першорядною вимогою, враховуючи особливості експлуатації виробів, є корозійна стійкість матеріалів. Солоня вода може бути згубною для ряду високоміцних алюмінієвих сплавів, тому у світовій практиці основні алюмінієві сплави для суднобудування розроблені на основі систем легування алюміній-магній і алюміній-кремній-магній, що відносяться до середньоміцних сплавів. Традиційними та такими що найбільш часто використовуються сплавами алюмінію в суднобудуванні є сплав типу 5xxx системи Al-Mg для плит та сплави системи Al-Mg-Si типу 6xxx для екструзій. Ці сплави відповідають або перевищують вимоги до мінімальної міцності для сталі з нормальною міцністю і можуть навіть конкурувати зі сталями з високою міцністю.

Актуальність досліджень. Одним з методів підвищення корозійної стійкості та поверхневої міцності деталей із алюмінієвих сплавів є використання опромінення імпульсними релятивістськими пучками електронів [1]. Вивчення взаємодії сильнострумівих релятивістських електронних пучків з металами і сплавами має важливе значення як для фундаментальної, так і для прикладної науки. Концентровані потоки енергії є інструментом для дослідження поведінки твердих тіл в умовах впливу зовнішніх чинників з екстремальними значеннями навантажень, що є важливим як для розробки технологій модифікації поверхонь з метою підвищення їх фізико-механічних властивостей, зокрема корозійної та ерозійної стійкості, так і для одержання нових знань про поведінку матерії в критичних умовах.

Постановка задачі. В цьому дослідженні з метою покращення міцнісних та корозійних властивостей були опромінені пластини з алюмінієвого сплаву АА6111 системи Al-Mg-Si (Mg(0,5-1,0%мас), Cu(0,5-0,9%мас), Si(0,7-1,1%мас), Mn(0,1-0,45%мас), Zn(0,15%мас), Cr(0,1%мас), Ti(0,1%мас), Fe(0,4%мас), основа Al). Для опромінення виготовляли пластини з розмірами 100×100 мм² з листів алюмінієвого сплаву 6111,

товщиною 1,1 мм. Перед опроміненням поверхневий шар плакіровки пластини був відшліфований, а поверхня пластини була відполірована. Опромінення підготовлених таким чином пластин проводилося ІЕП на прискорювачі ТЕМР-А в ННЦ ХФТІ НАН України [2]. Густина потоку енергії на мішені W становила приблизно 10^9 Вт/см² (енергія пучка $E \sim 0,35$ МеВ, струм $I \sim 2000$ А, тривалість імпульсу $\tau_i \sim 5 \times 10^{-6}$ с, діаметр пучка $D \sim 3$ см). Опромінення здійснювалося одним імпульсом у вакуумі при 1.3×10^{-3} Па.

Результати досліджень. Коли матеріал обробляється імпульсними електронними променями, поверхня матеріалу швидко нагрівається і плавиться з наступним швидким твердінням. Це може призвести до утворення метастабільних мікроструктур, таких як перенасичений твердий розчин і нанозерна або нанодомені [3]. Між тим, різка зміна температури викликає динамічні та термічні напруження, спрямовані від поверхні до центру матеріалу, що призводить до пластичної деформації та глибокого зміцнення під поверхнею [2].

Опромінення сплаву АА6111 імпульсним пучком електронів призводить до формування переплавленого поверхневого шару завтовшки до 200 мкм з модифікованим структурно-фазовим станом. Структурний стан цього шару характеризується наявністю субмікроструктурної структури із середнім розміром зерна 0,7 мкм, тоді як у вихідному стані сплаву розмір зерна становить 40 мкм.

З аналізу хімічного складу сплаву видно, що основними легуючими елементами в ньому є Mg, Cu, Zn і Si, які утворюють з алюмінієм в алюмінієвому куті евтектичні діаграми стану. Ці елементи практично повністю повинні розчинитися в алюмінієвій матриці. Однак, оскільки зразки для дослідження вирізали з холоднокатаного листа напівфабрикату сплаву АА6111, який не піддавався термомеханічній обробці, то в них, цілком ймовірно, могли бути присутніми фази, що містять Mg, Cu, Zn, які зазвичай присутні в сплавах системи Al-Mg-Cu-Si (Al_3Mg_2 , Al_2Cu , Al_2CuMg та ін). За допомогою рентгеноструктурних досліджень було встановлено, що крім зазначених вище фаз для дифрактограми неопроміненого зразка сплаву АА6111 також характерним є наявність піків фази $Al_2Fe_3Si_4$ (33.3Fe, 44.4Si, at.%) та фази $Al_4Cu_2Mg_8Si_7$ (9.5Cu, 38.1Mg, 33.3Si, at.%).

Після обробки імпульсним пучком електронів в переплавленому слої утворюється новий твердий розчин на основі алюмінію. В опроміненому прошарку в твердому розчині на основі алюмінію зменшується кількість атомів Mg, а концентрація атомів Si, Cu, Fe і Mn, навпаки, зростає. Причинами такого зміни є поєднання нагрітого у вакуумі розплаву найбільш летючими компонентами, до яких, у першу чергу, належить Mg, а також розчиненням або оплавленням, а також перемішуванням у розплаві присутніх у вихідному стані сплаву частинок інтерметаллідної фази. Фази $Al_2Fe_3Si_4$ і $Al_4Cu_2Mg_8Si_7$, які були присутні у вихідному стані сплаву, рентгенографічними методами модифікованому імпульсним пучком електронів шарі не виявляються.

За даними про мікротвердість визначені границя плинності та величина пластичності модифікованого дією імпульсного пучка електронів поверхневого шару сплаву АА6111. Встановлено, що опромінений шар стає значно міцнішим але пластичність його зменшується. Встановлено, що мікротвердість модифікованого опроміненням шару дорівнює 101HV0.50, тоді як у початковому стані вона мала значення 60HV0.50. Структурно-фазові перетворення у сплаві, викликані дією імпульсного пучка електронів, призводить до зміцнення поверхневого шару алюмінієвого сплаву АА6111-Т4, що характеризується збільшенням межі плинності більш ніж на 100 МПа. Зміцнення обробленого шару обумовлено подрібненням зерна, збільшенням щільності дислокацій та підвищенням концентрації кремнію та міді у твердому розчині на основі алюмінію.

У багатьох роботах, зокрема [4], встановлено, що збільшення атомів міді в матриці Al підвищує потенціал корозії матриці з алюмінію. Як було зазначено вище, в опроміненому прошарку сплаву А6111 утворився переплавлений шар товщиною 200 10

мкм зі збагаченням вмістом Cu за рахунок розчинення різних складових частинок інтерметалідних фаз. Крім того, в переплавленому імпульсним пучком електронів шарі стає менше дислокацій, ніж у початковому холоднокатаному стані сплаву AA6111. Ці різні фактори призвели до загального покращення стійкості поверхневого шару до корозії. Однак слід зазначити, що на стійкість до корозії оброблених зразків також впливають дефекти затвердіння, такі як порожнини та поверхневі тріщини, оскільки вони можуть служити місцем ініціації локалізованої корозії.

Висновки. Дія імпульсного пучка електронів на пластину сплаву AA6111 призводить до оплавлення її поверхневого прошарку і зміни топографічного малюнку поверхні. В результаті дії імпульсного пучка електронів в переплавленому прошарку спостерігається зменшення кількості атомів Mg, а кількість атомів Si, Cu, Fe і Mn, навпаки, дещо зростає. Такий перерозподіл легуючих елементів спричинений випаровуванням в вакуумі найбільш летючих компонентів та розчиненням і перемішуванням в розплаві частинок інтерметалідних фаз. За даними про мікротвердість визначені границя плинності та величина пластичності модифікованого дією імпульсного пучка електронів поверхневого шару сплаву AA6111. Встановлено, що опромінений шар стає значно міцнішим але пластичність його зменшується. Збільшення атомів міді в матриці Al та зменшення щільності дислокацій призводить до загального покращення стійкості поверхневого шару сплаву AA6111 до корозії.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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 Research B, 2021 Vol. 499, P 25-31. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2021.02.011>
2. 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.
3. 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. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2022.03.008>.
4. 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, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2005.01.067>.

ІНТЕРПОЛЯЦІЯ ТА АПРОКСИМАЦІЯ ГРАНИЧНОЇ ТРАЄКТОРІЇ ЕЛЕКТРОННОГО ПУЧКА З ВИКОРИСТАННЯМ КОРЕНЕВО-ПОЛІНОМІАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ З ДРУГОГО ДО П'ЯТОГО ПОРЯДКУ

Мельник І.В.¹, Починок А.В.¹, Ковальчук Д.В.²

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (м. Київ, Україна)

²Приватне Акціонерне Товариство «НВО «Червона Хвиля»» (м. Київ, Україна)

Вступ. Сьогодні у різних галузях промисловості використовують сучасні електронно-променеві технології. Це пов'язано з такими несумнівними перевагами електронного пучка як технологічного інструмента, як-то висока чистота та якість отримуваних виробів, висока загальна та питома потужність електронного пучка, а також можливість керування його просторовими та геометричними параметрами з використанням електричних та магнітних полів [1]. Сьогодні головними областями промислового застосування електронно-променевих технологій є наступні [1].

1. Електронно-променеве зварювання.
2. Нанесення металевих та керамічних покриттів у вакуумі в середовищі різних газів.
3. Плавлення металів та керамічних виробів у високому вакуумі з метою їх очищення та підвищення якості.
4. Розмірна обробка виробів.
5. Відпалювання виробів.
6. Електронно-променева поверхнева обробка виробів з метою зменшення їх шорсткості та підвищення якості виробів.
7. Електронно-променева розмірна обробка матеріалів та літографія.

Сьогодні головними областями застосування електронно-променевих технологій у промисловості є машинобудування, приладобудування, електронна промисловість, металургія, автомобільна промисловість, авіаційна та космічна промисловість. Можливим є також подальше впровадження електронно-променевих технологій для виробництва засобів наземного, водного та повітряного транспорту [2, 3]. Тут найбільш цікавими напрямками розвитку є наступні.

1. Зварювання деталей рухомих частин та механізмів.
2. Нанесення захисних покриттів на рухомі частини механізмів, які підлягають тертю та мають, через це, невеликий термін служби у разі відсутності захисних покриттів.
3. Нанесення теплозахисних покриттів на лопатки двигунів, циліндри та інші деталі машин, які підлягають сильному нагріванню. Це дозволяє, у значній мірі, підвищити енергетичну ефективність теплових та реактивних двигунів [2, 3].
4. Вакуумне очищення металів та керамічних виробів з метою підвищення їх чистоти [4 – 8]. Наприклад, у роботах [5 – 8] розглядалися особливості технологічного процесу отримання кремнію надвисокої чистоти для сучасної електронної промисловості.
5. Плавлення деталей машин та механізмів складної геометричної форми з використанням сучасних технологій тривимірного друку [9].

Окремим попитом серед розробників сучасного електронно-променевого технологічного обладнання користуються електронні гармати високовольтного тліючого розряду (ВТР) [10 – 12]. Такі гармати мають низку переваг порівняно із традиційними електронними гарматами із розжарюваними катодами, серед яких слід відмітити наступні [10 – 12].

1. Відносна простота конструкції гармати та можливість її розбирання для заміни відпрацьованих вузлів.
2. Стабільна та надійна робота гармат ВТР у низькому вакуумі в середовищі різних газів, зокрема, інертних та активних.

3. Простота вакуумного технологічного обладнання. Зазвичай, для забезпечення стабільної роботи гармат ВТР достатньо механічних насосів, без використання коштовних засобів безмасляної відкачки для забезпечення надвисокого вакууму.

4. Простота керування струмом розряду та потужністю електронного пучка, зміною тиску у розрядному проміжку або через запалювання допоміжних розрядів.

У зв'язку з переліченими вище фізичними особливостями функціонування електронних гармат ВТР, основними галузями їх застосування в сучасних промислових електронно-променевих технологіях для виробництва транспортних засобів є наступні.

1. Високопродуктивне зварювання складних деталей рухомих частин машин та механізмів.

2. Отримання керамічних термостійких, термозахисних та зміцнюючих покриттів в середовищі активних газів.

Базові принципи самоузгодженої електронно-іонної оптики ВТР загалом пов'язані із фізикою горіння розряду та досить добре вивчені та проаналізовані. Відповідні математичні моделі розрядного проміжку, з урахуванням положення та форми межі анодної плазми ВТР, досить досконало вивчені та описані в роботах [1, 13 – 15]. Зокрема, для уточнення положення та форми плазмової межі, яка в електродних системах ВТР розглядається як джерело іонів та як рухомий, прозорий для електронів пучка електрод із заданим потенціалом [1, 14, 15], був використаний комп'ютерний аналіз яскравості фотографій розрядного проміжку, отриманих в результаті проведення комплексних експериментальних робіт [1]. Експериментальні роботи були виконані на спеціально розробленому обладнанні, призначеному для проведення експериментів з електронно-променевими технологічними пристроями та розташованому в лабораторії електронно-променевих технологічних пристроїв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» [2, 3].

Проблема полягає в тому, що сьогодні не розроблено ефективний математичний апарат щодо інтерполяції та апроксимації граничної траєкторії короткофокусних електронних пучків у разі їх поширення в умовах низького вакууму з компенсацією просторового заряду електронів іонами залишкового газу, які формують електронні гармати ВТР. У роботах [16 – 18] було розглянуто методи інтерполяції граничної траєкторії короткофокусного електронного пучка з використанням коренево-поліноміальних функцій виду:

$$r(z) = \sqrt[n]{C_n z^n + C_{n-1} z^{n-1} + \dots + C_1 z + C_0}, \quad (1)$$

де z – позовжня координата дрейфу електронного пучка, r – радіус граничної траєкторії пучка, n – степінь поліному та порядок кореневої функції, $C_0 - C_n$ – значення поліноміальних коефіцієнтів.

Тому головною метою даної роботи є аналіз можливостей використання коренево-поліноміальних функцій виду (1) для інтерполяції та апроксимації граничної траєкторії короткофокусного електронного пучка у разі його поширення в іонізованому газі низького тиску з компенсацією просторового заряду. Відповідні фізико-математичні моделі для таких фізичних умов поширення електронних пучків, записані у вигляді систем алгебро-диференціальних рівнянь, також добре вивчені та розглянуті в навчальних посібниках та підручниках [19 – 22].

Аналіз результатів попередніх досліджень та загальна постановка задачі. На основі фізико-математичних моделей, запропонованих та розглянутих у роботах [19 – 22], надалі, у роботах [16 – 18, 23] була поставлена та вирішена задача моделювання граничної траєкторії короткофокусного електронного пучка, який формується електронною гарматою ВТР, за умови його поширення в газі низького тиску, з урахуванням розкиду теплових швидкостей електронів пучка [23]. Одержані результати моделювання добре погоджуються з експериментальними даними, отриманими в лабораторії електронно-променевих технологічних пристроїв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Розбіжність теоретичних та експериментальних результатів не перевищувала

кількох відсотків [16 – 18]. У роботі [23] також була отримана та досконало описана узагальнена система алгебро-диференціальних рівнянь, призначена для описання на фізичному рівні процесу транспортування короткофокусного електронного пучка з компенсацією просторового заряду електронів іонами залишкового газу. Основними фізичними процесами, які розглядалися та були враховані в цій моделі, є наступні [23].

1. Розподіл тиску вздовж каналу транспортування електронного пучка за умови безперервного відкачування технологічної камери та контрольованого напускання газу в електронну гармату ВТР з метою стабілізації струму розряду [10]. Тобто, була розв'язана досить складна нелінійна задача самоузгодженої електронно-іонної оптики в каналі транспортування електронного пучка за умов його вільного дрейфу [23]. Також була розглянута можливість використання каналу транспортування із нелінійною геометрією [23].

2. Примусове фокусування пучка короткою магнітною лінзою. Для моделювання розподілу магнітного поля на осі симетрії короткої лінзи була використана апроксимація магнітного поля за моделлю Явора [23]. З метою отримання мінімального радіуса пучка та необхідного кута його збіжності розглядалась модель каналу транспортування з двома та трьома короткими магнітними лінзами. Положення магнітних лінз відносно вхідного отвору каналу транспортування пучка визначали автоматично як результат розв'язування завдання оптимізації [23].

3. Іонізація залишкового газу електронами пучка [19 – 22, 23].

4. Розсіювання електронів на атомах залишкового газу за моделлю Резерфорда [19 – 22, 23].

5. Дефокусування пучка під дією власного просторового заряду електронів [19 – 22, 23].

6. Фокусування електронного пучка в іонізованому газі під дією просторового заряду іонів [19 – 22, 23].

7. Розкид електронів пучка за початковими швидкостями [19 – 22, 23].

8. Магнітне самофокусування електронного пучка в іонізованому газі, або пінч-ефект [19 – 22, 23].

За розглянутих фізичних умов повну систему алгебро-диференціальних рівнянь, які описують поширення електронного пучка в іонізованому газі у разі компенсації просторового заряду електронів пучка іонами залишкового газу, можна записати наступним чином [23]:

$$n_{i0} = \sqrt{\pi} r_{ii}^2 B_i p n_e \sqrt{\frac{M_i \varepsilon_0 n_e}{m_e U_{np}}} \exp\left(-\frac{U_{np}}{\varepsilon_0 n_e r_{ii}^2}\right), \quad f = \frac{n_e}{n_{i0} - n_e}, \quad C = \frac{I_{ii}(1-f)}{4\pi\varepsilon_0 \sqrt{\frac{2e}{m_e} U_{np}^{3/2}}}, \quad \frac{d^2 r_{ii}}{dz^2} = \frac{C}{r_{ii}}, \quad (2)$$

де U_{np} – прискорювальна напруга, I_{ii} – струм електронного пучка, r_{ii} – його поточний радіус, z – поздовжня координата поширення електронного пучка, m_e – маса електрона, M_i –молекулярна маса іонів залишкового газу, B_i – рівень іонізації газу, n_e –концентрація електронів, p – тиск залишкового газу у каналі транспортування пучка, f – рівень компенсації просторового заряду електронів іонами залишкового газу, ε_0 – діелектрична стала.

Аналітичні співвідношення для визначення поліноміальних коефіцієнтів. У разі $n = 2$ функція інтерполяції (1) має наступний вигляд:

$$r(z) = \sqrt{C_2 z^2 + C_1 z + C_0}. \quad (3)$$

Для пошуку коефіцієнтів коренево-поліноміальної функції (3) необхідно переписати її, за умови заданих значень для трьох відлікових точок $r_1(z_1)$, $r_2(z_2)$ та $r_3(z_3)$, у вигляді наступної системи з трьох лінійних рівнянь з трьома невідомими.

$$\begin{cases} C_2 z_1^2 + C_1 z_1 + C_0 = r_1^2; \\ C_2 z_2^2 + C_1 z_2 + C_0 = r_2^2; \\ C_2 z_3^2 + C_1 z_3 + C_0 = r_3^2. \end{cases} \quad (4)$$

Аналітичний розв'язок отриманої системи рівнянь (4) можна записати у наступному вигляді [16 – 18]:

$$k_1 = \frac{r_2^2 - r_1^2}{z_2^2 - z_1^2}; \quad k_2 = \frac{r_3^2 - r_1^2}{z_3^2 - z_1^2}; \quad k_3 = \frac{z_2 + z_1}{z_3 - z_2};$$

$$C_2 = \frac{k_2 - k_1}{z_3 - z_2}; \quad C_1 = k_1 - k_3(k_2 - k_1); \quad C_0 = r_1^2 - \frac{k_2 - k_1}{z_3 - z_2} z_1^2 - (k_1 - k_3(k_2 - k_1)) z_1. \quad (5)$$

У роботах [16 – 18] наведені аналітичні співвідношення, аналогічні (5), та призначені для обчислення коефіцієнтів коренево-поліноміальних функцій третього, четвертого та п'ятого порядку.

Використання коренево-поліноміальних функцій для апроксимації експериментальних даних. Завдання апроксимації граничної траєкторії електронного пучка з використанням коренево-поліноміальних є досить складним з обчислювальної точки зору, оскільки, загалом, функції виду (1) мають жорстку нелінійність та містять невідомі поліноміальні коефіцієнти, розташовані під радикалом. Загальні методи щодо пошуку аналітичних розв'язків для завдань апроксимації розглянуті в літературі з теорії імовірностей та математичної статистики [24 – 26].

Перевага запропонованих коренево-поліноміальних функцій полягає в тому, що за межами області мінімуму вони мають лінійний характер. В даній роботі завдання апроксимації розв'язувалось за наступним алгоритмом.

1. Через розв'язування завдання інтерполяції для заданого набору відлікових точок за співвідношеннями, аналогічними (5), обчислювались початкові значення поліноміальних коефіцієнтів.

2. Пошук оптимальних значень поліноміальних коефіцієнтів через перебирання відлікових точок та через обчислення значення похідних. Як критерій оптимальності для розв'язування завдання оптимізації був обраний класичний метод найменших квадратів [24 – 26].

Відповідна система нелінійних рівнянь для ітераційного обчислення оптимальних коефіцієнтів коренево-поліноміальних функцій записувалась наступним чином.

2.1. Для коренево-поліноміальної функції третього порядку:

$$\begin{cases} r(z_{a2}) = r_{a2}; & r(z_{a3}) = r_{a3}; \\ \frac{dr(z_{a2})}{dz} = k_{int2}; & \frac{dr(z_{a3})}{dz} = k_{int3}, \end{cases} \quad (6)$$

де z_{a2} , z_{a3} , r_{a2} , r_{a3} – відлікові точки із базового набору даних за радіусом та за повздовжньою координатою, k_{int2} та k_{int3} – дотичні до коренево-поліноміальної функції в області мінімуму та за її межею.

2.2 Для коренево-поліноміальної функції четвертого порядку:

$$\begin{cases} \frac{dr(z_1)}{dz} = k_{int2}; & \frac{dr(z_2)}{dz} = k_{int3}; \\ r(z_3) = r_3; & r(z_4) = r_4; \\ r(z_5) = r_5. \end{cases} \quad (7)$$

2.3 Для коренево-поліноміальної функції п'ятого порядку:

$$\begin{cases} \frac{dr(z_1)}{dz} = k_{\text{int}2}; & \frac{dr(z_2)}{dz} = k_{\text{int}3}; \\ r(z_3) = r_3; & r(z_4) = r_4; \\ r(z_5) = r_5; & r(z_5) = r_5. \end{cases} \quad (8)$$

Рівняння для похідних системи (6) були розв'язані аналітично з використанням формули Кордано [27, 28].

Тестові приклади інтерполяції та апроксимації граничної траєкторії короткофокусних електронних електронних пучків з використанням коренево-поліноміальних функцій.

Приклад 1. Через розв'язок системи алгебро-диференціальних рівнянь знайти траєкторію електронного пучка в іонізованому газі за наступних фізичних умов: $U_{\text{пр}} = 10$ кВ, $I_{\text{п}} = 2$ А, $p = 5$ Па. Степінь іонізації газу задати як довідникове значення. Виконати інтерполяцію граничної траєкторії електронного пучка коренево-поліноміальною функцією другого порядку.

Обрана послідовність відлікових точок для цього прикладу наведена у таблиці 1, а відповідні результати інтерполяції, у графічному вигляді, представлені на рис. 1.

Таблиця 1 – Обрана послідовність відлікових точок за координатами r та z для коренево-поліноміальної функції інтерполяції другого порядку для прикладу 1

z , мм	3	4	6
r , мм	4	3,7	3,5

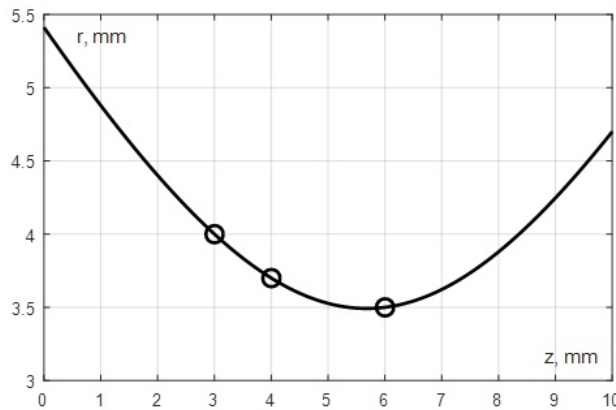


Рисунок 1 – Результат інтерполяції граничної траєкторії електронного пучка коренево-поліноміальною функцією другого порядку. Параметри електронного пучка та каналу транспортування: $U_{\text{пр}} = 10$ кВ, $I_{\text{п}} = 2$ А, $p = 5$ Па. Розраховані значення поліноміальних коефіцієнтів: $C_2 = 0,53$; $C_1 = -6$; $C_0 = 29$

Приклад 2. Через розв'язок системи алгебро-диференціальних рівнянь знайти траєкторію електронного пучка в іонізованому газі за наступних фізичних умов: $U_{\text{пр}} = 15$ кВ, $I_{\text{п}} = 5$ А, $p = 2$ Па.

Таблиця 2 – Обрана послідовність відлікових точок за координатами r та z для коренево-поліноміальної функції інтерполяції третього порядку для прикладу 2

z , м	0,3	0,4	0,7	0,6
r , мм	4	3,7	3,6	4,1

Степінь іонізації газу задати як довідникове значення. Виконати інтерполяцію граничної траєкторії електронного пучка коренево-поліноміальною функцією третього порядку. Обрана

послідовність відлікових точок для цього прикладу наведена у таблиці 2, а відповідні результати інтерполяції, у графічному вигляді, представлені на рис. 2.

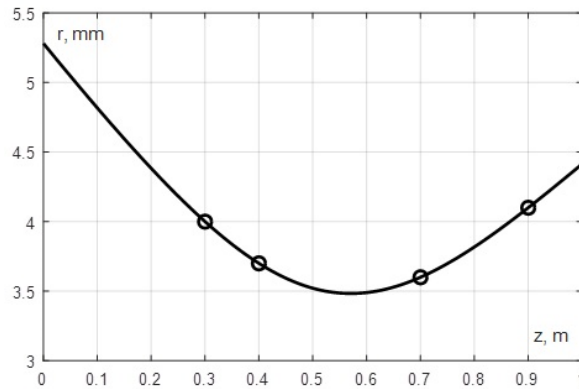


Рисунок 2 – Результат інтерполяції граничної траєкторії електронного пучка коренево-поліноміальною функцією третього порядку (6). Параметри електронного пучка та каналу транспортування: $U_{пр} = 15$ кВ, $I_{п} = 5$ А, $p = 2$ Па. Розраховані значення поліноміальних коефіцієнтів: $C_3 = -85,1$; $C_2 = 419,53$; $C_1 = -395,65$; $C_0 = -147,24$.

Оцінка похибки інтерполяції граничної траєкторії електронного пучка з використанням коренево-поліноміальних функцій відносно числового розв’язку системи алгебро-диференціальних рівнянь (2), була проведена в роботах [16 – 18]. Для проведених тестових експериментів значення похибки не перевищує кількох відсотків.

Приклад 3. Апроксимація радіусу електронного пучка проводилась для набору експериментальних даних, заданих у таблиці 3 з використанням коренево-поліноміальної функції четвертого порядку. Набор експериментальних даних, наведених у таблиці 3, відповідає прискорювальній напрузі $U_{пр} = 10$ кВ, струму пучка $I_{п} = 1,5$ А та тиску у каналі транспортування пучка $p = 3$ Па. Відповідні результати щодо вирішення поставленого завдання апроксимації у графічному вигляді представлені на рис. 3.

Таблиця 3 – Виміряні значення радіусу електронного пучка та постановка завдання апроксимації експериментальних даних коренево-поліноміальною функцією четвертого порядку

$z, \text{ м}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$r, \text{ мм}$	2,5	2,3	2,1	2,0	1,9	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6	2,9

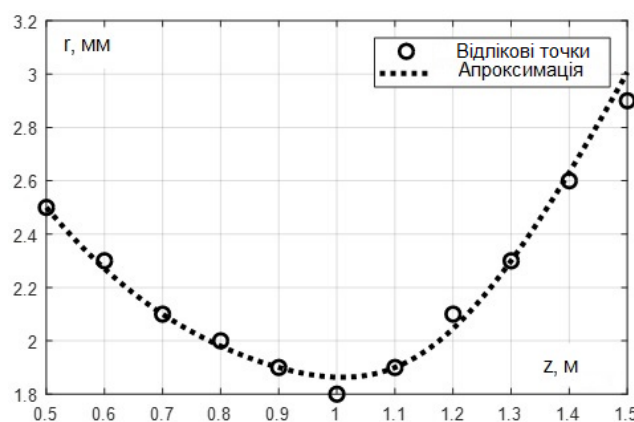


Рисунок 3 – Апроксимація граничної траєкторії електронного пучка за експериментальними даними, наведеними у таблиці 3, коренево-поліноміальною функцією четвертого порядку

Експериментальні дослідження щодо вимірювання радіусу електронного пучка були виконані на спеціалізованому обладнанні науково-дослідної лабораторії електронно-

променевих пристроїв та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за замовленням Приватного Акціонерного Товариства «НВО «Червона Хвиля»».

Висновки. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показали, що з використанням коренево-поліноміальних функцій різного порядку можна, з високою точністю, вирішувати завдання інтерполяції та апроксимації граничної траєкторії електронних пучків за умови їх поширення в іонізованому газі з компенсацією просторового заряду електронів. Отримана в тестових обчислювальних експериментах похибка інтерполяції та апроксимації не перевищувала кількох відсотків. Отримані в ході виконання цієї роботи теоретичні результати є вельми цікавими та корисними для широкого кола спеціалістів, які займаються фізикою електронних пучків, розробкою електронно-променевого технологічного обладнання та його впровадженням у промислове виробництво.

ЛІТЕРАТУРА

1. Schiller S., Heisig U., Panzer S. Electron Beam Technology. New-York, John Wiley & Sons, 1982. – 509 p. (Publishrd in English)
2. Grechanyuk M.I., Melnyk A.G., Grechanyuk I.M. at al. Modern electron beam technologies and equipment for melting and physical vapor deposition of different materials. – Electrotechnics and Electronics (E+E), vol. 49, #5 – 6, 2014. – P. 115 – 121.
3. Mattausch G., Zimmermann B., Fietzke F., Heinss J.P., Graffel B., Winkler F., Roegner F.H., Metzner C. Gas discharge electron sources – proven and novel tools for thin-film technologies. – Electrotechnics and Electronics (E+E), vol. 49, #5 – 6, 2014. – P. 183 – 195.
4. Vassilieva V., Vutova K., Donchev V. Recycling of alloy steel by electron beam melting. – Electrotechnics and Electronics (E+E), vol. 47, #5 – 6, 2012. – P. 142 – 145.
5. Sasaki H., Kobashi Y., Nagai T. and Maeda M. Application of electron beam melting to the removal of phosphorous form silicon: toward production of solar-grade silicon by metallurgical process. – Advanced in material science and engineering, vol. 2013. Article ID 857196. <https://cyberleninka.org/article/n/299910/viewer>
6. Kemmotsu T., Nagai T. and Maeda M. Removal Rate of Phosphorous form Melting Silicon. – High Temperature Materials and Processes, vol. 30, # 1 – 2. – P. 17 – 22. (2011) <https://www.degruyter.com/journal/key/htmp/30/1-2/html>
7. Pires J.C.S., Barga A.F.B. and May P.R. The purification of metallurgically grade silicon by electron beam melting. – Journal of Materials Processing Technology, vol. 169, #1. – P. 347 – 355. (2005) https://www.academia.edu/9442020/The_purification_of_metallurgical_grade_silicon_by_electron_beam_melting
8. Luo D., Liu N., Lu Y., Zhang G. and Li T. Removal of impurities from metallurgically grade silicon by electron beam melting. – Journal of Semiconductors, vol. 32, #3. Article ID 033003. (2011). <http://www.jos.ac.cn/en/article/doi/10.1088/1674-4926/32/3/033003>
9. Davis A.E., Kennedy J.R., Strong D., Porte, S., Prangnell P.B., Kovalchuk D.V. et all. Tailoring equiaxed β -grain structures in Ti-6Al-4V coaxial electron beam wire additive manufacturing. – Materialia, Volume 20, December 2021, 101202. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2589152921002052>
10. Melnyk I., Tuhai S., Pochynok A. Universal Complex Model for Estimation the Beam Current Density of High Voltage Glow Discharge Electron Guns. – Lecture Notes in Networks and Systems. Editors: Ilchenko M., Uryvsky L. and Globa L., 152, 2021. p. 319 – 341. <https://www.springer.com/gp/book/9783030583583> <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9088527>
11. Denbnovetsky S., Melnyk V., Tugai B., Tuhai S., Wojcik W., Lawicki T., Assambay A., Luganskaya S. Principles of operation of high voltage glow discharge electron guns and particularities of its technological application. – Proceedings of SPIE, The International Society of Optical Engineering, 2017. P. 10445 –10455.

<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10445/104455R/Principles-of-operation-of-high-voltage-glow-discharge-electron-guns/10.1117/12.2280736.short>

<https://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.2280736>

12. Denbnovetsky S.V., Melnyk V.G., Melnyk I.V. High voltage glow discharge electron sources and possibilities of its application in industry for realizing of different technological operations. – IEEE Transactions on plasma science. – Vol. 31, #5. – P. 987-993. (October, 2003).

<https://ieeexplore.ieee.org/document/1240048>

13. Etcheverry J.I., Mingolo N., Rocca J.J. and Martinez O.E. A Simple Model of a Glow Discharge Electron Beam for Materials Processing. – IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 25, #3, 1997. – P. 427 – 432.

14. Melnyk I.V. Numerical simulation of distribution of electric field and particle trajectories in electron sources based on high-voltage glow discharge. – Radioelectronic and Communication Systems, v. 48, #6. – P. 61 – 71. – 2005.

<http://radioelektronika.org/article/view/S0735272705060087>

15. Denbnovetsky S.V., Felba J., Melnik V.I., Melnik I.V. Model of Beam Formation in A Glow Discharge Electron Gun With a Cold Cathode. - Applied Surface Science, 111. - P. 288 –294. –1997.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433296007611?via%3Dihub>

16. Melnyk I., Tuhai S. Pochynok A. Interpolation of the Boundary Trajectories of Electron Beams by the Roots from Polynomic Functions of Corresponded Order – 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). Conference Proceedings. – P. 28 – 33.

<https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=9085228>

17. Melnik I., Tugay S., Pochynok A. Interpolation Functions for Describing the Boundary Trajectories of Electron Beams Propagated in Ionised Gas. – 15-th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET – 2020) Conference Proceedings. P. 79 – 83. (2020).

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9088609>

18. Мельник І.В., Починок А.В. Дослідження класу алгебраїчних функцій для інтерполяції межових траєкторій короткофокусних електронних пучків. – Системні дослідження та інформаційні технології. 2020, №3. – С. 23 – 39.

<http://journal.iasa.kpi.ua/article/view/221171/223555>

19. Lawson J.D. The Physics of Charged-Particle Beams. – Clarendon Press, Oxford, 446 p. – 1977.

<https://www.semanticscholar.org/paper/The-Physics-of-Charged-Particle-Beams-Stringer/80b5ee5289d5efd8f480b516ec4bade0aa529ea6>

20. Reiser M. Theory and Design of Charged Particle Beams. – John Wiley & Sons, 634 p. 2008.

<https://www.wiley.com/en-us/Theory+and+Design+of+Charged+Particle+Beams-p-9783527617630>

21. Szilagy M. Electron and Ion Optics, Springer Science & Business Media, 539 p. – 2012. <https://www.amazon.com/Electron-Optics-Microdevices-Miklos-Szilagy/dp/1461282470>

22. Humphries S. J. R. Charged Particle Beams. Courier Corporation, 834 p. (2013).

<https://library.uoh.edu.iq/admin/ebooks/76728-charged-particle-beams---s.-humphries.pdf>

23. Denbnovetsky S.V., Melnik V.I., Melnik I.V., Tugai B.A. Simulation of the transport of short-focus electron beams from low to high vacuum, taking into account the spread of electron thermal velocities. – Applied Physics, # 3, 2010. - P. 84 - 90.

24. Wentzel E., Ovcharov L. Applied Problems of Probability Theory. – Mir, 432 p. – 2002.

<https://mirtitles.org/2022/06/03/applied-problems-in-probability-theory-wentzel-ovcharov/>

25. Draper N., Smith H. Applied Regression Analysis. 3 Edition. – Wiley Series, 706 p. –1998.

<https://www.wiley.com/en-us/Applied+Regression+Analysis,+3rd+Edition-p-9780471170822>

26. Gubner J. A. Probability and random processes for electrical and computer engineers. Cambridge, UK: Cambridge University Press. – 2006

<http://www.cambridge.org/gb/academic/subjects/engineering/communications-and-signal-processing/probability-and-random-processes-electrical-and-computer-engineers>

<http://www.amazon.com/Probability-Processes-Electrical-Computer-Engineers/dp/0521864704>

27. Bronshtein I.N., Semendyayev K.A., Musiol G., Mühlig H. Handbook of Mathematics. 5th Edition. – Springer, 1164 p. – 2007.

28. Epperson J.F. An Introduction to Numerical Methods and Analysis. Revised Edition. Wiley-Interscience. 590 p. – 2007.

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГРАВІТАЦІЇ НА БАЗІ ВИКРИВЛЕННЯ ПРОСТОРУ ТА ЙОГО АНАЛІЗ

Настасенко В.О.

Херсонська державна морська академія (Україна)

Вступ. Курси фізики викладаються в кожному технічному Вузі. Вони мають різний рівень спеціалізації, залежно від профілю Вузу і програми підготовки спеціалістів. Це пов'язано з тим, що фізика охоплює основні закони природи, які діють на всіх рівнях матеріального світу, від елементарних часток до всього Всесвіту, тому вона є базовою для багатьох інших наук. При цьому навіть у самих скорочених програмах вивчення фізики викладаються основні відомості про загальну теорію відносності (ЗТВ) і теорію гравітації Ейнштейна (ТГЕ), яка витікає із ЗТВ і обумовлена викривленням простору [1]. Однак в останні роки на адресу ТГЕ висловлюється все більша кількість критичних зауважень [2, 3]. Але за понад 100 років свого існування (з 2015 року), ТГЕ здобула багато прихильників і послідовників, які на її базі виконали велику кількість наукових та дисертаційних робіт і отримали вагомий статус в науковому світі. Тому критика ТГЕ є складним і ризикованим процесом для її авторів, в якій важливо не допустити жодних похибок, щоб не отримати тавро вченого-невігласа від різних високопосадовців і силових наукових закладів. Однак для науки не повинно бути закам'янілих авторитетів і страхів, оскільки ще з часів Платона і Аристотеля відомо, що «істина дорожча». Тому необхідне її з'ясування.

Актуальність досліджень, вибір мети і задач роботи. Виконувана робота відноситься до основ матеріального світу і всього Всесвіту, зокрема до теорії гравітації. Оскільки гравітація діє на всіх рівнях Всесвіту, від галактик, зірок, планет і до атомів та елементарних часток, тому вирішення спірних питань в цій сфері є важливою і актуальною проблемою, яка суттєво впливає на розвиток знань про матеріальний світ у цілому.

Увага до проблеми гравітації виникла із стародавніх часів, з початку для з'ясування руху зірок і планет у роботах Єгипетських жреців та Грецьких вчених: Платона, Аристотеля, Сократа, Птоломея, які дали змінили роботи Коперника, Лапласа, Кеплера, Ньютона. Зі сфери небесної механіки вона поширилася на об'єкти макросвіту в роботах Архімеда, Герона Александрійського, Ібн Сіні, Леонардо да Вінчі, Галілея, Гюйгенса, Кавендіша, Лагранжа та багатьох інших вчених. В теперішній час роботи з теорії гравітації охоплюють не тільки космос, а й мікросвіт і атомний рівень матеріального світу та рівень фізичних і елементарних частинок, що підкреслює важливість даної проблеми.

Не применшуючи важливості цих робіт, їхній повний аналіз виходить за рамки даного дослідження. Тому в ньому обмежилися аналізом теорії гравітації Ейнштейна.

Аналіз стану проблеми показав, що в даний час прийнято вважати ТГЕ такою, що витіснила всі інші гравітаційні моделі, включаючи закон всесвітнього тяжіння Ньютона, оскільки в ній сили та ефекти гравітації замінені викривленням простору-часу.

Однак прийняті в ТГЕ теоретичні принципи загального математичного характеру та узагальнені підходи побудови моделей викривлення простору з параметрами від 0 до ∞ , створюють широке поле для варіювання вхідних даних та кінцевих результатів, які сильно відрізняються один від одного, що є їх істотним недоліком. Є також низка інших проблем та недоліків побудови гравітаційних моделей на базі ТГЕ.

Виявлення недоліків ТГЕ і обґрунтування потреби їх усунення є **головною метою та науковою новизною** виконуваної роботи.

Методи дослідження. Виконувана робота пов'язана з науковими відкриттями, для знаходження яких методики ще не розроблені. Тому в ній були використані методи на базі

загальних принципів наукових досліджень [4], а саме дедукції та індукції, що ґрунтуються на застосуванні законів діалектики, достовірних законів фізики та загальних шляхів розвитку теорії пізнання.

Основні результати роботи. Геніальність Ейнштейна в тому, що заміна сил гравітації викривленням простору дозволила уникнути пояснень, звідкіля взялися і як діють ці сили, якою енергією вони підтримуюся і звідкіля взялася ця енергія. Оскільки на сучасному рівні наукових знань про Всесвіт відповідей на ці питання немає, тому ТГЕ вважається найбільш реальною і достовірною для використання в наукових дослідженнях гравітації. На її базі розроблена велика кількість різних моделей викривлення простору, приклади яких наведені на рис. 1 і 2:

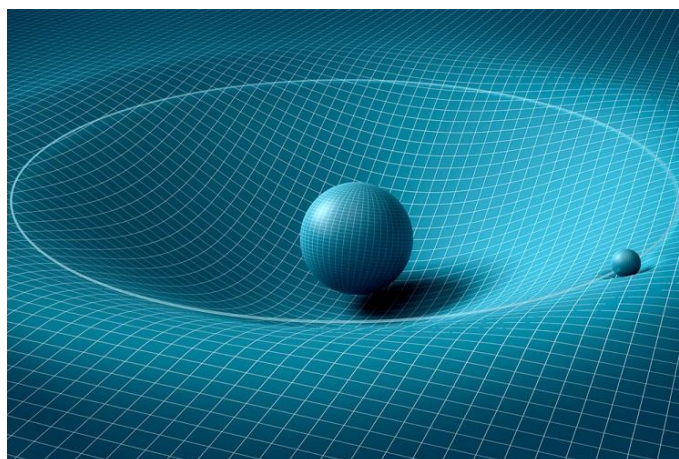


Рисунок 1 – Математичні моделі кривизни простору в області Землі та Місяця [5]

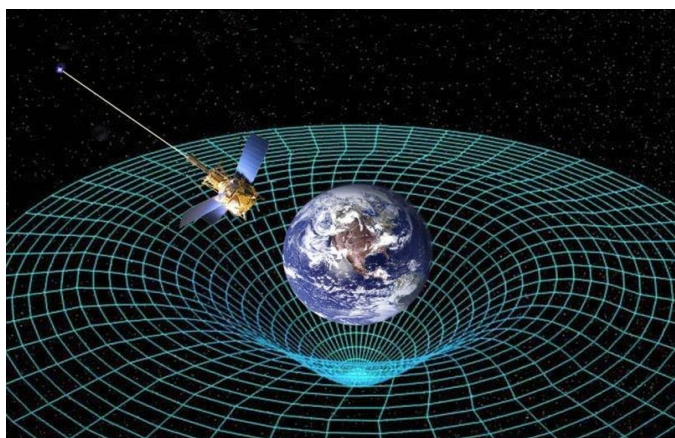


Рисунок 2 – Сучасна модель викривлення ближнього простору Землі її тяжінням (масою) [6]

Однак їх аналіз показав, що в 1-му випадку викривлення простору пов'язане з орбітою Місяця, а в 2-му – зі значно ближчою орбітою – польоту супутників Землі, як цього бажали розробники моделей. Така розбіжність і залежність від мети розробників – недопустима для проведення якісних наукових досліджень, тому потрібна розробка жорстких засад побудови моделей і вибору початкових даних.

Другою проблемою є вибір напрямку прогину поверхні. В системі Земля – Сонце він направлений до тяжіння Сонця, тому інший напрямок прогину для Землі і Місяця (на рис. 1 він горизонтальний) суперечить першому напрямку, який відносно нього є вертикальним.

Третім і важливим недоліком ТГЕ є обмеження її прив'язки лише до одної площини, тому неясно, як викривляється простір під і над об'єктом тяжіння. Тому потрібна розробка більш повних моделей – просторових (об'ємних).

Четвертою проблемою є вибір початкової площини моделювання (показано на рис. 3). Якщо вона одна і таж, наприклад, для Землі і Місяця, то різна глибина прогину поверхні, за рахунок різного тяжіння (маси) цих об'єктів, введе до зміщення їх відносної орбіти, що не відповідає реальним даним. Тому потрібна розробка більш повних моделей для систем з двох і більшої кількості об'єктів, яка при цьому сильно ускладнюється.

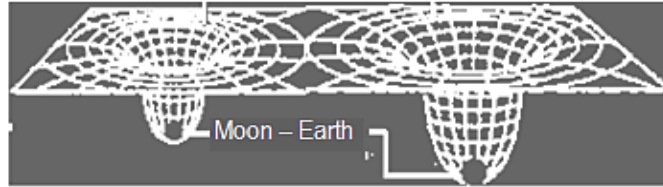


Рисунок 3 – Прогини поверхонь від тяжіння Місяця (Moon) і Землі (Earth) при однакових початкових умовах, які ведуть до зміщення їх відносної орбіти обертання [3]

Таким чином існуючі моделі, незважаючи на їх складність, є примітивними і потрібна їх подальша розробка.

Висновки.

1. Існуючі моделі гравітації на базі викривлення простору мають суттєві недоліки, оскільки основані на широкому діапазоні варіювання вхідних і вихідних параметрів, які не дають однозначних результатів моделювання і залежать від довільного вибору розробників.

2. Використання існуючих моделей гравітації обмежене лише однією площиною, що не розкриває умови викривлення простору під і над об'єктом тяжіння.

3. Існуючі моделі гравітації мають складності їх використання для систем з кількох об'єктів з різним гравітаційним потенціалом (масою).

4. Потрібна доробка існуючих моделей гравітації з усуненням недоліків, вказаних в п. 1 ... 3 даних висновків.

ЛІТЕРАТУРА

1. А. Эйнштейн О специальной и общей теории относительности (1922). Перевод с 12-го издания под ред. проф. С.Я. Лившица

https://www.google.com.ua/books/edition/%D0%9E_%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%B8_%D0%BE%D0%B1%D1%89%D0%B5%D0%B9/fcv5AgAAQBAJ?hl=ru&gbpv=1&printsec=frontcover

2. Gocho Sharlanov (2022) Accelerating Expansion of the Universe – the Reasonable Alternative (SHOCKING CONCLUSIONS) Simple Logic on the Reasonable Alternative_ Accelerating Contraction of the Universe.pdf
<file:///C:/Users/T/Downloads/SimpleLogicontheReasonableAlterna>

3. Nastasenko, V. (2020) Analysis of the Processes of Gravity in the Framework of Curvature of Space and the Substantiation of the New Model. /Journal of Applied Mathematics and Physics, 8, 2732-2743. <https://doi.org/10.4236/jamp.2020.812202>

4. Афанасьев, В. В. Методология и методы научного исследования : учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / В. В. Афанасьев, О. В. Грибкова, Л. И. Уколова. — Москва : Издательство Юрайт, 2017. — 154 с. — (Бакалавр и магистр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-02890-4. — Текст : электронный //

Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/book/metodologiya-i-metody-nauchnogo-issledovaniya-402146>

5. Mathematical models of the curvature of space <https://ru.depositphotos.com/stock-photos/%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F.html>)

6. The modern model of the curvature of space by the mass of Earth <https://www.google.com.ua/search?sxsrf=ALeKk03ryzaU4v5B6FwADTbIDNnfO1EPvA:1605023597379&source=univ&tbm=isch&q=%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F+%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%BA%D0%B8&sa=X&ved=2ahUKEwjlu4LrqvjsAhXEmIsKHUJ0B1cQ7Al6BAgKEFs&biw=1280&bih=610>

СИНТЕЗ ОПТИЧНО ПРОЗОРИХ НАГРІВАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ПОТРЕБ ТРАНСПОРТУ

Родіонов В.Є.¹, Литвиненко В.В.², Прохоренко Є.М.², Родіонов Є.В.³

¹Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України (Україна)

²Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України (Україна)

³НТУ «Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського (Україна)

Вступ. Задача розробки технології одержання оптично прозорих електропровідних покриттів набуває все більшої актуальності з огляду на низку чинників. До них, в першу чергу, належить підвищення комфорту людини умовах перебування на морському транспорті, за рахунок підігріву поверхонь оглядових скляних поверхонь. На сьогоднішній день цю задачу доцільно розглядати в ще одному ракурсі, а саме, беручи до уваги проблему профілактики осадження вірусів на зволжених поверхнях, оскільки вони є осередком скупчення конденсату. Відомо, що низка напівпровідникових сполук на основі оксидів металів ZnO, SnO₂, Fe₂O₃, CdO, WO₃, In₂O₃, TiO₂ мають бактерицидні властивості за рахунок здатності адсорбувати на поверхні кисень [1] в умовах активації поверхні низькоенергетичними фотонами.

Постановка задачі. З точки зору технологічної реалізації у вигляді готового виробу до матеріалів таких плівок висувається умова оптичної прозорості, стабільності значення питомого електричного опору від температури а також здатності проявляти бактерицидні властивості під дією квантів світла. Так в роботі [2] вказується на здатність наноструктурованих порошкоподібних сполук SnO₂ проявляти бактерицидні властивості. Саме з огляду на це нами були досліджені електрофізичні характеристики сполук SnO₂, одержаних у вигляді тонкопліткових покриттів методом магнетронного напилення [3].

Методика експерименту. Були одержані значення питомого електричного опору токоплівкової сполуки SnO₂ допованої в діапазоні концентрацій від 0 до 10% домішками Sb. При цьому з'ясовано, що мінімум електроопору припадає на значення концентрації 2% (рис.1, нижня крива), цьому ж значенню відповідає і максимальна рухливість носіїв заряду (рис.2) а максимум концентрації носіїв заряду відповідає значенню 6% (рис.1 верхня крива).

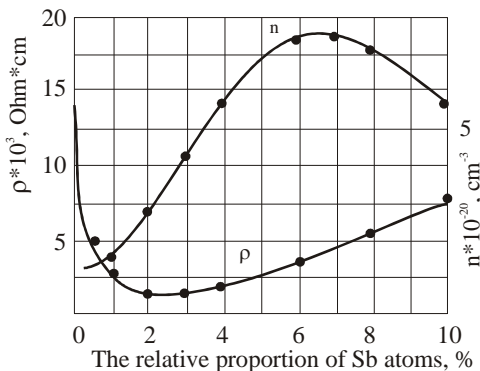


Рисунок 1 – Залежність електроопору ρ та концентрації носії n від вмісту Sb в плівках SnO₂.

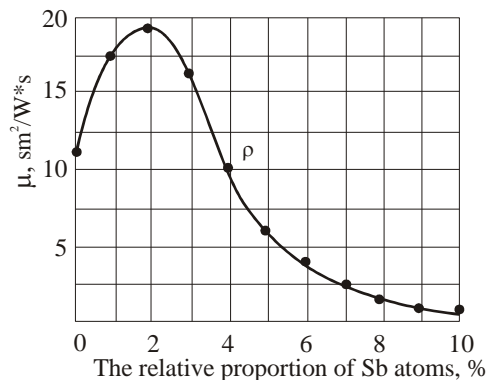


Рисунок 2 – Залежність значення рухливості μ від вмісту Sb в плівках SnO₂.

Одержані також значення залежності електричного опору від парціального тиску кисню в камері магнетронного нанесення, мінімум відповідає 2% концентрації кисню. Після відпалу при температурі 500 °C значення електроопору SnO₂ Sb істотно знижується,

але залишається сталим при зміні температури від 100 до 500 °С, тоді як сполука $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sb}$ не демонструє стабільності опору при зміні температури.

Стабільність параметрів і, перш за все, електроопору при підвищених температурах є однією з основних характеристик для плівок тонких провідних окислів, які можуть використовуватися як оптично прозорі площинні нагрівальні поверхні. Тому плівку оксиду олова вибирали для технологічного осадження. Їх опір вибирається таким чином, щоб площа з нанесеним покриттям розміром $600 \times 1200 \text{ мм}^2$ могла мати опір від 50 до 25 Ом при 220 В. З застосуванням тепловізора з температурним розрізненням 0,05 К нами було встановлено, що покриття мають хорошу рівномірність нагріву, оскільки температурні перепади не перевищували 2 К (рис.3). Засобами РЕМ мікроскопії біло оцінено стан поверхні покриття (рис.4). Як видно, покриття є суцільним, але на поверхні присутні місця локальної кристалізації оксидів у вигляді впорядкованих структур, які не вносять помітних вад в оптичну прозорість покриття, і забезпечують значення коефіцієнту пропускання на рівні 90%.

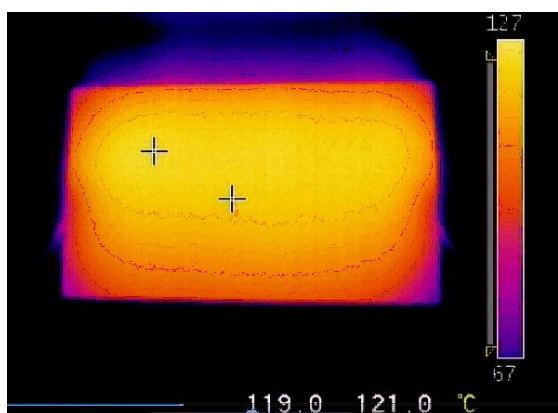


Рисунок 3 – Термограма віконного скла з нанесеним нагрівальним покриттям SnO_2

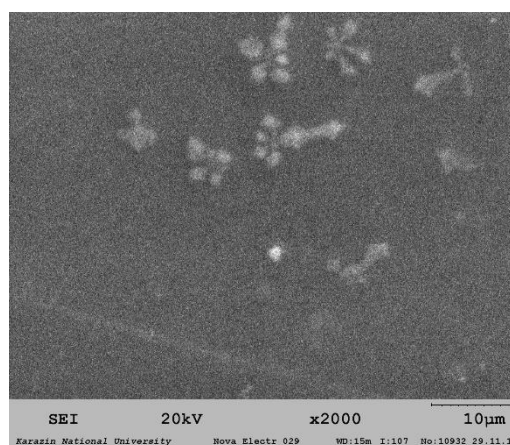


Рисунок 4 – РЕМ зображення поверхні покриття SnO_2

Висновки. Таким чином комплексний підхід до впровадження технології магнетронного нанесення покриттів на основі оксиді олова на скляні оптично прозорі поверхні дозволяє вирішити проблему енергозбереження, створення комфортних умов побуту та роботи на транспорті а також запобігання поширенню вірусних хвороб.

ЛІТЕРАТУРА

1. В.М. Хороших, В.А. Белоус / Пленки диоксида титана для фотокатализа и медицины.// Фізична інженерія поверхні, т. 7, № 3, 2009 С. 223–238
2. S. M. Amininezhad, A. Rezvani, M. Amouheidari, S. M. Amininejad, S. Rakhshani / The Antibacterial Activity of SnO_2 Nanoparticles against Escherichia coli and Staphylococcus aureus// Res Med Sci. 2015;17(9):e1053 DOI: 10.17795/zjrms-1053
3. V.V. Lytvynenko, E.V. Rodionov, I.M. Shmidko / Infrared heaters with thin-film conductive layers were synthesized on the glass by the magnetron sputtering // Problems of atomic science and technology.- №5(111), 2017. p. 98-102.

RESEARCH OF RADIATION PROTECTIVE MATERIALS FOR NUCLEAR REACTORS

Prokhorenko E.M.¹, Manuilenko O.V.^{2,4}, Pavlii K.V.², Zajtsev B.V.², Dubniuk S.M.², Prokhorenko T.G.³

¹*Institute of Electrophysics and Radiation Technologies NAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

²*NSC "Kharkov Institute of Physics and Technology", Kharkiv, Ukraine;*

³*Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine*

⁴*V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine*

Introduction. When operating nuclear power installations, it is necessary to comply with a number of regulations. It is important to comply with radiation safety requirements. Even minor disturbances in the operation of nuclear reactors can cause significant emergencies. An increase of radiation background is extremely dangerous for the operating personnel. It is also possible to contaminate the environment with long-lived radioactive elements. Therefore, the issue of materials for the first wall of a thermonuclear reactor and radiation-shielding materials is important. The materials of the first wall are subjected to thermal action (>1200 K), the action of charged particle beams, and radiation action by nuclear fusion products [1–3]. Exposure to high temperature leads to tempering of the material and softening of the surface layer. Tungsten melts in some areas. These areas are microscopic in size.. From these areas of molten metal, dispersion into the interaction chamber occurs. All this leads to the destruction of the surface of the first wall. Also, during the operation of a thermonuclear reactor, the surface of the first wall is irradiated with fast neutrons (14.2 MeV, ~ 2 dpa) and nuclear fusion products.

In addition, during the operation of the reactor, helium flows of various intensity appear, which also change the structure of the crystal lattice of the material of the first wall. Therefore, when choosing the material of the first wall, they are guided by the melting temperature of the material. The second parameter for determining the material of the first wall is the change in the material as a result of exposure to nuclear fusion products.

Purpose of work. We need to select a promising material for use as the material of the first wall and determine its main thermal characteristics, radiation-protective characteristics and strength characteristics.

Experimental part. After studying various materials, it was proposed to use tungsten. Tungsten has a high melting point. Tungsten is strong at high temperatures. Tungsten has a high residual strength after cooling. Tungsten has a high thermal conductivity and a low erosive spray coefficient. Tungsten weakly retains tritium. All these characteristics are important when using tungsten as a divertor or first wall material in a fusion reactor. Both thermal characteristics of material and mechanical properties change in the process of exploitation (hardness, plasticity et cetera). The characteristics of flecking and blistering on the surface of the material also change. There is also a change in the characteristics of sputtering material from the surface.

Simulation modeling was used to study the tungsten surface. For this, a helium ion accelerator was used [1]. The accelerator has the following parameters: pulse current 700 μ A, pulse length 500 μ s, average current 0.7 μ A, repetition frequency 2...5 imp./s, current density $(0.15...0.44)\times 10^{13}$ part./cm². The beam energy is 0.12 MeV (in the injection mode) and 4 MeV (in the acceleration mode). Simulation modeling makes it possible to obtain the required radiation dose in a short time. Thus, in a week of accelerator operation we can obtain a radiation dose that, under real conditions, would be received in at least five years.

As a result of the performed experiments, several interesting conformities to law were found. The flecking and blistering effects occur with different intensities for samples that were irradiated with ions with different energies. Photographs of the surface of the samples are shown in Fig. 1 [2].

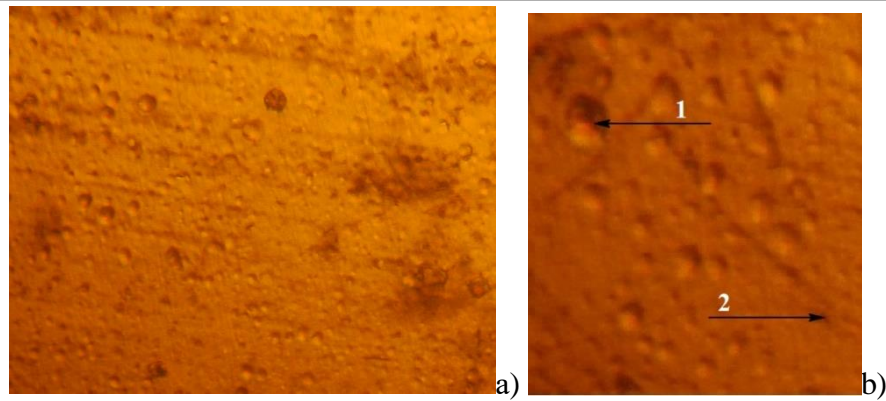


Figure 1 – Sample surface after irradiation with helium ions with energies:
a) 0.12 MeV, b) 4 MeV.

It was found that structural changes occurred on the surface layer of the samples [3]. Craters (blistering) and bubbles (flecking) were found on the surface. For the case of 4 MeV (Fig. 1b) we have the number of bubbles four times less than the number of craters. Ionization effects appear on the surface of the sample, which was irradiated with helium ions with an energy of 0.12 MeV (Fig. 1a). Tungsten fuzz appears on the surface of the sample. This "fuzz" has the form of thin threads that are located on the edges of the craters. The amount of "fuzz" grows as the radiation dose increases. It also increases its length. In the microscopic aspect, the cause of the formation "fuzz" is the extrusion of tungsten. It takes place from the presence of forces of surface-tension on the surface of crater.

To determine the degree of damage to the surface of the sample, it is necessary to know several characteristic parameters. These characteristics were calculated using the SRIM program code. Energy losses and damage depths were determined [2]. The structure of the target material changes along the path of the helium ions. In this case, tungsten is ionized, phonons are formed, vacancies appear, and segregation (redistribution) of atoms occurs. Graphs of changes in these characteristics are shown in (Fig. 2).

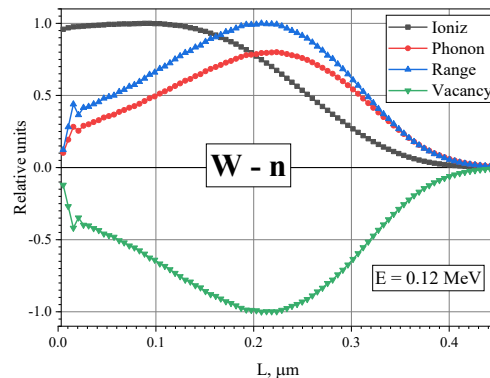


Figure 2 – Graphs of changes in ionization, photons, vacancies depending on depth.

The maximum of ionization is located at a depth of up to 0.15 μm . The maxima of the zones where vacancies are formed and photons are located at a depth of 0.2 μm . All basic processes take place in the surface layer. All processes decrease, when a depth grows. At depths of 0.5 μm , the processes become small and make little contribution to the results.

The surface of the samples is sputtering when irradiation is in progress. Helium ions transfer their energy to tungsten atoms. Energy transfer occurs at different depths in the sample. Sputtering depends on the depth of the interaction point. It was found how much the different layers of the sample contribute to the sputtering coefficient (Fig. 3).

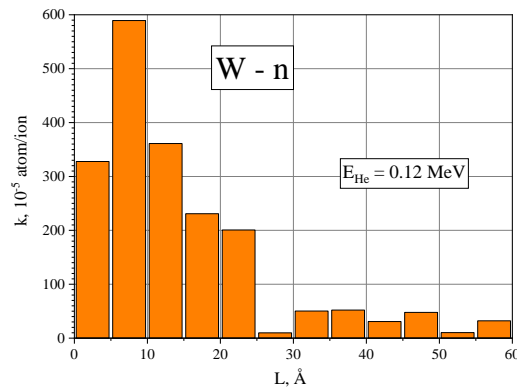


Figure 3 – Change of total coefficient of sputtering (Σ) on the depth of sample (tungsten of type of W -n). Irradiation with helium ions with an energy of 0.12 MeV.

Helium ions make the main contribution to the sputtering efficiency. Helium ions interact with tungsten in thicknesses up to 25 μm . Integral sputtering characteristics were obtained to study the sputtering coefficient (Fig. 4).

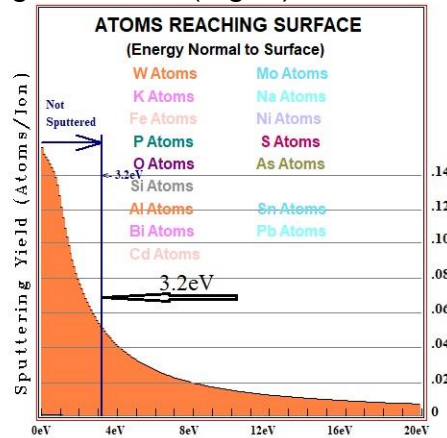


Figure 4 – Integral sputtering characteristics: (tungsten type W-1). Irradiation with helium ions with an energy of 0.12 MeV.

The graphs represent the energy of each recoil atom that reaches the surface of the sample. The number of these atoms, in terms of a helium ion, is given along the vertical axis. That is, on the vertical axis, we have a sputtering coefficient. The straight lines 3.2 eV (W-1) and 3.8 eV (W-n) represent the average surface binding energies for these samples. To the left of these straight lines (the Not Sputtered region) are atoms that have an energy below the surface binding energy. Accordingly, these atoms are not sputtered from the surface. To the right of these straight lines are atoms that have reached the surface with energies higher than the surface binding energy. That is, these are the atoms that contribute to the sputtering coefficient. The coefficients of sputtering are presented on Fig. 5.

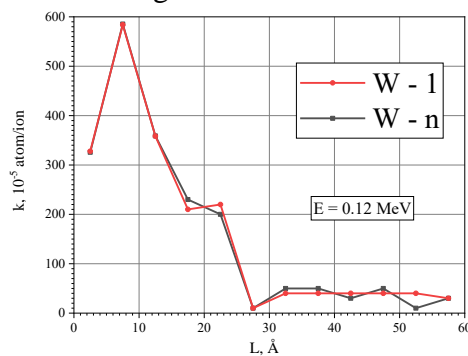


Figure 5 – Dependence of the sputtering coefficient on the helium ion range.

The graph (Fig. 5) shows the sputtering coefficients of a tungsten sample. Tungsten has a high purity (99.5%). Irradiation was carried out with helium ions with an energy of 0.12 MeV. The maximum contribution is made by ions at a range depth of 0.03 – 0.18 μm . The degree of wear of the tungsten surface is found using the numerical value of the sputtering coefficient. It allows to give a prognosis on the terms of exploitation of the first wall of thermonuclear reactor

Conclusion.

1. The losses of energy are determined on the depth of location of damages in a tungsten.
2. The coefficients of sputtering of surface of tungsten are calculated. Thus coefficients are found taking into account a depth and thickness of superficial layer.
3. It is found that the sputtering coefficient is affected by tungsten with a thickness of layers of no more than 60 angstroms.
4. The presence of tungsten fuzz was found on the edges of craters, which were formed as a result of irradiation with helium ions.

REFERENCES

1. V.I. Butenko, S.N. Dubniuk, A.F. Dyachenko, A.P. Kobets, O.V. Manuilenko, K.V. Pavlii, V.A. Soshenko, S.S. Tishkin, B.V. Zajtsev. Constructional materials experimental researches on the helium ions linear accelerator. // *Problems of atomic science and technology*. 2021, № 4, v. 134, p. 85-89.
<https://doi.org/10.46813/2021-134-085>.
2. 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/10.46813/2022-139-0836>.
3. V. Tarel'nyk, I. Konoplianchenko, N. Tarel'nyk, A. Kozachenko. Modeling technological parameters for producing combined electrospark deposition coatings. // *Materials Science Forum*. 2019, 968 MSF, p. 131–142.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.968.131>.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОСТІЙКОСТІ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ, НАПОВНЕНИХ ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ ЗА МЕТОДОМ БРОЙДО

¹Сапронов О.О., ¹Вороненко С.В., ²Шаранов В.Д., ¹Сапронова А.В., ¹Сметанкін С.О.

¹Херсонська державна морська академія, Україна

²Дунайський інститут національного університету

«Одеська морська академія», Україна

Вступ. Використання полімерних матеріалів, наповнених вуглецевими нанотрубками (ВНТ), дозволяє підвищити показники адгезійної, механічної міцності та ряд інших властивостей [1]. Це дозволяє використовувати наповнені нанорозмірними частками полімери для захисту і ремонту транспортної техніки. Однак, при експлуатації полімерних матеріалів необхідно враховувати робочі температури, при яких працює технологічне устаткування і деталі транспорту.

Постановка задачі. Дослідити динаміку зміни теплових ефектів залежно від вмісту нанонаповнювача.

Результати досліджень. Для створення полімерних матеріалів використовували епоксидний зв'язувач, полімеризацію якого проводили з використанням твердника амінного типу (ПЕПА). Додатково використовували вуглецеві нанотрубки, дисперсністю 5 нм. Для точного визначення теплових ефектів, які відбуваються у полімерних матеріалах доцільним є поєднання термогравіметричного (ТГА) аналізу і математичного методу визначення енергії активації за методом Бройдо. Це дозволяє визначити надлишок теплової енергії, необхідної для руйнування хімічних зв'язків в умовах теплового впливу. Отже, за ТГА кривими визначали втрату маси композитів, наповнених ВНТ при зростаючій температурі. На основі цього графічно будували пряму, у якій енергію активації (E) визначали за тангенсом кута нахилу логарифмічної залежності Δm від зворотної температури T . При цьому теплові ефекти визначали за методом Бройдо згідно праці [2]. На основі комплексної оцінки теплових ефектів встановлено, що для термічного розкладання розробленого композиту, що містить у своєму складі $q = 0,075$ мас.ч. нанонаповнювача, необхідна найбільша енергія активації, що становить – $E_a = 132,2$ кДж/моль. Це у свою чергу вказує на термічну стабільність таких полімерних матеріалів.

Висновки. Проведення комплексних досліджень впливу вуглецевих нанотрубок на динаміку зміни термостійкості полімерних матеріалів, дозволяють констатувати, що максимальним значенням надлишку теплової енергії, необхідної для руйнування хімічних зв'язків в умовах впливу температури характеризуються композити, наповнені вуглецевими нанотрубками за вмісту $q = 0,075$ мас.ч., позаяк енергія активації є найбільшою серед досліджуваних матеріалів і становить – $E_a = 132,2$ кДж/моль.

Публікація містить результати досліджень, проведених у рамках НДДКР молодих вчених «Спрямоване керування структуроутворенням нановуглецевовмісних полімерних композитів для підвищення експлуатаційних характеристик транспорту» (№ д.р. 0121U107610).

ЛІТЕРАТУРА

1. Sapronov, OO, Buketov, AV, Maruschak, PO, Panin, SV, Brailo, MV., Yakushchenko, SV, Sapronova, AV, Leshchenko, OV., Menou, A 2019, Research of crack initiation and propagation under loading for providing impact resilience of protective coating, *Funct. Mater.*, 26(1), pp. 114–120.

2. Broido, AA 1969, Simple sensitive graphical method of treating thermo gravimetric analyze data. *J. Polym. Sci. - Part A*, 7, pp. 1761–1773.

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ, НАПОВНЕНИХ ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ ДЛЯ РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТУ

*Сапронов О.О., Якущенко С.В. Сапронова А.В., Соценко В.В.,
Юренін К.Ю., Кухтіна В.П.*

Херсонська державна морська академія (Україна)

Вступ. Епоксикомпозитні матеріали використовуються в різних галузях промисловості, зокрема і у транспортній. Однією з переваг епоксикомпозитних матеріалів є можливість регулювання їх властивостей шляхом підбору системи «полімер-наповнювач». Таким чином за рахунок зміни складу полімеру та типу наповнювача можна забезпечити широкий спектр властивостей, а, отже, і використовувати їх у різних цілях. Так, наприклад, матеріали на основі епоксидних зв'язувачів використовуються для розроблення герметизуючих, тепло- і електроізоляційних матеріалів, покриттів різного функціонального призначення, клеїв та ін [1-7].

Постановка задачі. Встановити оптимальний вміст вуглецевих нанотрубок у епоксидному зв'язувачі для підвищення показників теплофізичних характеристик епоксикомпозитних матеріалів.

Результати досліджень. Для формування епоксикомпозитних матеріалів використовували епоксидну смолу ЕД-20, яку затверджували при кімнатній температурі з використанням твердника холодного тверднення поліетиленполіаміну (ПЕПА). Для підвищення теплофізичних властивостей композитних матеріалів використовували вуглецеві нанотрубки (дисперсність 5 нм), за вмісту $q = 0,010 \dots 0,500$ мас.ч. Формування матеріалів проводили з дотриманням температурно-часових режимів, наведених у попередніх працях [1, 6, 8].

Однією із значущих теплофізичних характеристик епоксикомпозитних матеріалів є теплопровідність, що дозволяє використовувати такі матеріали при ремонті теплообмінних апаратів транспорту. Тому, проводили дослідження впливу нанонаповнювача на динаміку зміни теплопровідності епоксидних композитів. Встановлено, що теплопровідність епоксидної матриці становить – $\lambda = 0,22$ Вт/м·К (табл. 1).

Таблиця 1 – Динаміка зміни теплопровідності залежно від вмісту вуглецевих нанотрубок у полімері

		Вміст вуглецевих нанотрубок у епоксидному зв'язувачі, q , мас.ч.							
Матриця		0,010	0,025	0,050	0,075	0,100	0,300	0,500	
Значення теплопровідності, λ , Вт/м·К		0,22	0,23	0,24	0,25	0,40	0,58	0,70	0,78

Введення нанонаповнювача у кількості $q = 0,010 \dots 0,050$ мас.ч. суттєво не впливає на теплопровідність, позаяк коефіцієнт теплопровідності становить – $\lambda = 0,22 \dots 0,25$ Вт/м·К, за рахунок мінімального контакту між наночастками, що не забезпечує ефективної передачі теплової енергії у об'ємі полімеру. Підвищення кількості наповнювача до $q = 0,075 \dots 0,100$ мас.ч. забезпечує монотонне підвищення значення теплопровідності (табл. 1), що пов'язано з впорядкованістю структури епоксикомпозитного матеріалу, а це

у свою чергу забезпечує утворення проникаючих скупчень нанокластерів, які переносять теплову енергію через фазу наночасток. При цьому комплексна оцінка значення теплопровідності і структури наповнених епоксикомпозитних матеріалів дозволяє констатувати, що введення нанодобавки понад $q = 0,100$ мас.ч., хоча забезпечує підвищення теплопровідності (табл. 1), однак призводить до утворення дефектів у структурі полімеру. Це у свою чергу негативно впливає на показники механічної міцності полімеру.

Висновки. Проведення комплексних досліджень впливу вуглецевих нанотрубок дисперсністю 5 нм, на динаміку зміни теплопровідності епоксидних композитів, дозволяють констатувати, що оптимальний вміст нанонаповнювача становить $q = 0,075 \dots 0,100$ мас.ч. При цьому полімерні матеріали характеризуються теплопровідністю, що становить $\lambda = 0,40 \dots 0,58$ Вт/м·К. Додатково встановлено, що морфологічні особливості структури не дозволяють використовувати епоксикомпозитні матеріали з вмістом вуглецевих нанотрубок понад $q = 0,100$ мас.ч., позаяк спостерігали значні дефекти їх структури.

Публікація містить результати досліджень, що фінансувалися у рамках іменної стипендії Верховної Ради України для молодих учених – докторів наук за 2022 рік (Постанова Верховної Ради України від 01 грудня 2022 року № 2791-IX).

ЛІТЕРАТУРА

3. Panda, A, Dyadyura, K, Valíček, J, Harničárová, M, Kušnerová, M, Ivakhniuk, T, Hrebenyk, L, Sapronov, O, Sotsenko, V, Vorobiov, P, Levytskyi, V, Buketov, A, Pandová, I 2022, Ecotoxicity Study of New Composite Materials Based on Epoxy Matrix DER-331 Filled with Biocides Used for Industrial Applications, *Polymers*, 14(16):3275.

4. Demchenko, VL, Kobylinskyi, SM, Riabov, SV, Shtompel VI, Iurzhenko, MV, Rybalchenko, NP 2020, Novel approach to the formation of silver-containing nanocomposites by thermochemical reduction of Ag⁺ ions in interpolyelectrolyte-metal complexes, *Applied Nanoscience (Switzerland)*, 10(12), pp. 5409–5419.

5. Kuzhir, P, Paddubskaya, A, Plyushch, A, Volynets, N, Maksimenko, S, Macutkevich, J, Kranauskaite I, Banys J, Ivanov E, Kotsilkova R, Celzard A, Fierro V, Zicans J, Ivanova T, Merijs Meri R, Bochkov I, Cataldo A, Micciulla F, Bellucci S, Lambin P 2013, Epoxy composites filled with high surface area-carbon fillers: Optimization of electromagnetic shielding, electrical, mechanical, and thermal properties, *Journal of Applied Physics*, 114(16), 164304.

6. Dunne, LJ., Sarkar, AK., Kroto, HW, Munn, J, Kathirgamanathan, P, Heinen, U, Fernandez J, Hare J, Reid DG, Clark, AD 1996, Electrical, magnetic and structural characterization of fullerene soots, *Journal of Physics: Condensed Matter*, 8(13), pp. 2127–2141.

7. Burya, A, Kuznetsova, O, Konchits, A, & Redchuk, A, 2011, The Influence of Nanocluster Carbon Materials on the Structure and Properties of Polyamide Nanocomposites, *Materials Science Forum*, 674, pp. 189–193.

8. Sapronov, O, Buketov, A, Sapronova, L, Vorobiov, P 2022, Development of epoxy composites resistant to impact loads. Advanced polymer materials and technologies: recent trends and current priorities: multi-authored monograph / edited by V Levytskyi, V Plavan, V Skorokhoda, V Khomenko, *Lviv: Lviv Polytechnic National University*. pp. 41–47.

9. Khun, NW, Troconis, BCR, & Frankel, GS 2014, Effects of carbon nanotube content on adhesion strength and wear and corrosion resistance of epoxy composite coatings on AA2024-T3. *Progress in Organic Coatings*, 77(1), pp. 72–80.

10. Sapronov, OO, Buketov, AV, Maruschak, PO, Panin, SV, Brailo, MV., Yakushchenko, SV, Sapronova, AV, Leshchenko, OV., Menou, A 2019, Research of crack initiation and propagation under loading for providing impact resilience of protective coating, *Funct. Mater.*, 26(1), pp. 114–120.

PROSPECTS OF IMPLEMENTATION OF THE HYBRID COMBUSTION PROCESS IN SHIP ENGINES

Topuria R.¹, Shubladze Z.², Lezhava M.²

¹*Akaki Tsereteli State University (Georgia)*

²*Batumi State Maritime Academy (Georgia)*

Introduction. Climate change caused by global warming poses a grave threat to humanity. Delays in reducing emissions of “greenhouse gases” causing global warming will significantly increase the risks of the worst impacts of climate change. According to thorough research by the world's leading experts, 15% of the main “greenhouse gas” of anthropogenic origin in the Earth's atmosphere - carbon dioxide - is released from the transport sector, and the road transport (cars, buses, motorcycles, etc.) is responsible for the largest share of these emissions.

On October 1, 2021, the world leaders' summit (the 26th conference) held in the city of Glasgow, Great Britain, was focused on this issue, where the problems of a warming environment were discussed. Particular attention was given to the issues of reduction of greenhouse gases and released thermal energy in the environment. All participants noted that by 2030, the parameters mentioned above should be at least halved. From this point of view, partial gradual replacement of internal combustion engine vehicles with hybrid and electric drive vehicles will significantly contribute to the reduction of “greenhouse gas” and heat energy emissions from the road transport sub-sector. The creation and use of electric cars - i.e. “decarbonization” of road transport is the first priority for the governments of many countries.

The use of electric motors is particularly effective in the case when its power supply is generated from “clean” renewable energy, or when environmentally “clean” organic fuels are used for its generation, where various combinations provide the so-called “hybrid combustion” process while maintaining the effective parameters of the engine, which will significantly reduce the quantities of “greenhouse gases” in exhaust gases.

Three main conceptual approaches are distinguished when predicting the prospects for the development of modern transport engine building sector:

1. Introduction of alternative energy sources (Stirling engines, steam engines, air turbine engines, Wankel engines, electric engines, engines on solar batteries, etc.);
2. Use of alternative fuels (natural gas and other gaseous carbon fuels, fuel shales, synthetic fuels, coal dust and suspensions, alcohols, ethers, hydrogen, biofuels, etc.);
3. Improvement of the existing piston internal combustion engines, especially improving their operation process.

The advantages and disadvantages of the above directions are analyzed in the papers [1,2]. Here we only note that the last two conceptual approaches directly depend on the improvement and development of the piston internal combustion engines. It is clear that it's time to answer the question: does the piston internal combustion engine have an alternative and will it maintain its monopoly position in transport energy use? To answer this question, we must start from the fact that the piston engine is a widespread source of energy that has practically covered almost all areas of human activity and, as already mentioned above, it is directly related to two global problems of civilization - energy and environmental problems. Therefore, in order to answer the question, in addition to the above-mentioned problems, the acceptable social aspect is also taken into account [1,3].

Preconditions and means for resolving the problem. The piston internal combustion engines emit harmful substances into the atmosphere such as: nitrogen oxides [NO_x], solid particles (the main component of which is soot), carbon monoxide [CO] and hydrocarbon compounds [C_mH_n]. The so-called “engine with zero harmful emissions” running on traditional fuels remains a source of carbon dioxide [CO₂], which is limited by the so-called “greenhouse effect” law. Therefore, the creation and implementation of such an engine cannot completely

solve the environmental problems. A clear example of the conflict of goals in the realization of these tasks is the expansion of the temperature limits of the cycle, which, according to the Carnot cycle, is followed by an increase in the efficiency and a decrease in fuel consumption.

There are two main ways to simultaneously solve the environmental and energy problems of the piston engine-powered vehicle engines:

1. It is possible to reduce fuel consumption and toxic emissions by limiting the number of moving vehicles, that is, by reducing the number of engines in operation or by using low power engines;

2. Replacement of piston engines by alternative power equipment that does not use polluting petroleum products (fuels).

On the other hand, an electric motor can be successfully used to improve the piston internal combustion engine. Hybridization of these engines make it easier to avoid the well-known disadvantage of the piston internal combustion engine, the existence of a relatively low efficiency at low loads, which can practically be increased when driving at low speeds by using an electric motor.

An alternative is homogeneous self-ignition, known as homogeneous charge compression ignition (HCCI). Sometimes the term "controlled auto ignition (CAI) is used. Such an alternative engine is a combination of a diesel engine and an Otto thermodynamic cycle engine [3]. The intense competition between the diesel and gasoline engines has contributed to the fact that there were and are many attempts (including many successful ones) to organize new, alternative operation processes that could combine the positive properties of these fundamentally different engines in a single engine. From the characteristics of the operating cycles of the diesel and gasoline engines, it is clear that the engine with the HCCI process is a hybrid of these two types of engines. The need for such clarification is clear, because the hybrid engines are usually called the car's power unit, which consists of a piston engine and an electric motor [5]. Naturally, there are other possibilities of organizing the operating cycle with parallel signs, recently the A2CD version has attracted attention. It is practically an engine with the HCCI process, for the creation of which there are different approaches. For example, the DaimlerBenz company created a diesel engine with a homogeneous mixture in the combustion chamber. Hybrid engines created on the basis of diesel and Otto engine operation processes are called "Diesotto".

The comprehensive analysis given above allows us to conclude that the piston internal combustion engines still remain the most economical, but environmentally unreliable devices. It should also be noted here that the further development of internal combustion engines depends primarily on the use of such alternative fuels that will significantly improve environmental pollution processes, although it is possible that the engine's economic performance for these conditions will be less or close to that of the base engine (fuel consumption will increase). At the modern stage, key findings from the study show that fuel gasoline-methanol mixture gives good results in this regard, in particular, environmental and power indicators are improved, but specific fuel consumption increases.

By analogy with the gasoline-methanol fuel mixture combustion, the possibility of implementing the combustion process of compressed natural gas and methanol mixture (hybrid combustion) is considered, which will improve both the engine's environmental and efficiency indicators compared to gaseous fuel consumption. The effect can be achieved by the fact that the gas-methanol mixture is more stable, its density is higher, and the burning rate increases significantly, which is distributed almost evenly in the entire volume of the combustion chamber, because the methanol fuel mixture is placed layer by layer in the volume, thus ensuring a stable hybrid combustion process. Implementation of such a process will improve the efficient operation of the positive-ignition engines. Figure 1 illustrates how the mixing process should be implemented in the case of using gaseous and methanol fuels. Here, the spraying of methanol in the intake manifold, the beginning of gaseous fuel entry, and the process of external mixing are taking place simultaneously until the end of the compression process. A spark is then supplied with some advancing and the hybrid combustion process takes place, as is done in the Otto cycle.

Figure 2 illustrates the theoretical representation of the indicator diagram, from which it can be clearly seen that in the case of the hybrid combustion process, the pressure value is higher than in the case of using direct gas fuel, and it approaches the case of using high octane gasoline. It should also be noted that the fuel mixture of natural gas and methanol makes it easier to increase the compression ratio by 3-5 points and to compensate fully the efficient indicators.

From an extensive literature review, it appears that in the near future it is planned to convert the water transport diesel engines to run on compressed or liquefied gas. In this case, if the working mixture consisting of liquid gas-and-methanol or hydrogen-and-methanol is prepared, as discussed above, that is, the gas-diesel process is implemented, where the selection of explosive

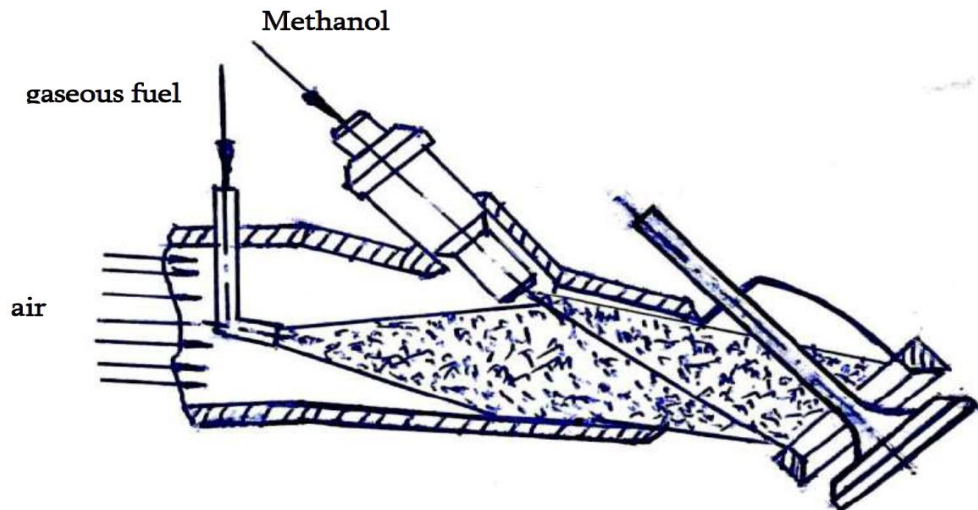


Figure 1 – Scheme of the formation of gas-methanol or hydrogen-methanol working mixture

fuel is important, for this purpose, methanol can be used, because it reduces the period of delay of self-ignition, the duration of fuel combustion, and the combustion limits of the working mixture are expanded (hybrid combustion), resulting in improving the mixture formation process, and the cycle implemented in the engine approaches the Otto cycle, which increases environmental and efficiency indicators of diesel engine in comparison with that of a gas-diesel engine, where diesel fuel is used as an explosive one.

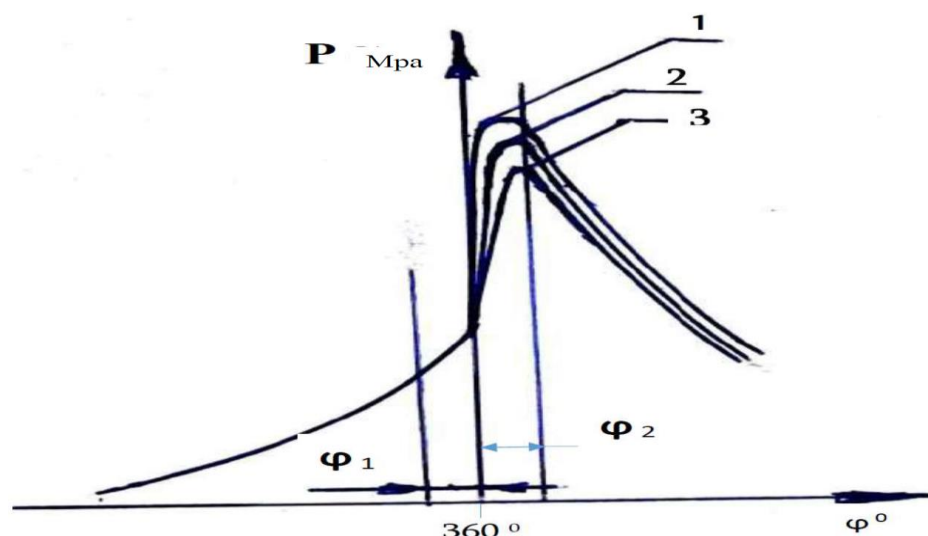


Figure 2 – The theoretical indicator diagram: 1-Hydrogen-liquid gas fuel mixture; 2-Natural gas-methanol fuel mixture; 3- Natural gas fuel mixture.

Conclusion. Based on the analysis, it can be concluded that the use of methanol (hybrid combustion) improves the environmental and efficient indicators of the engine with forced ignition compared to that of the engines running on a gas fuel. It should also be noted that the diesel engine operation is closer to the Otto cycle, where the heat losses are reduced, which ensures the improvement of the environmental and efficient characteristics of engines.

REFERENCES

1. Кавтарадзе Р.З. Теплофизические процессы в дизелях, конвертированных на природный газ и водород. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.- 238 с.
2. Merker G., Schwarz Ch., Teichmann R. (Hrsg.) Grundlagen Verbrennungsmotoren. Funktionsweise, Simulation, Messtechnik. 3. Auflage. Vieweg Teubner-Verlag/Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. 2012.
3. Basshuysen R., Schäfer F. (Hrsg.). Handbuch Verbrennungsmotor. Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven. 4.aktualisierte und erweiterte Auflage. Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden.-2014.-1040 S.
4. Kavtaradze R.Z., Natriashvili T.M., Zelentsov A.A. Ignition Delay and Emission of the Noxious Substances in Double-Fuel Engines Working on the natural Gas and Syngases//Chahter 15 (p. 109-120) in the Book: Innovative Methods for Improvement of Technical, Economic and Ecological Efficiency of Motor Cars (ISBN:978-1-63463- 671-1). NOVA-Publishers. New-York. 2015. -138 p.
5. Stan C. Alternative Antriebe für Automobile – Hybridsysteme, Brennstoffzellen, alternative Energieträger. Springer Verlag. 2008. ISBN: 978-3-540-76372-7

ІМЕННИЙ ПОКАЗЧИК

A

Abramov G.S., 244

B

Bazaleev M.I., 296

Ben A., 37

Bryukhovensky V.V., 296

C

Cherniavskiy V.V., 56, 61

D

Demchenko I.S., 9

Donets S.E., 296

Dubniuk S.M., 318

G

Golovko T.V., 9

Grosheva O.O., 13

K

Kalashnyk G.A., 142, 285

Kalashnyk-Rybalko M.A., 142, 285

Konon N.M., 107

Konon V.V., 124

Koretsky O.A., 56, 61

Kosolapov A.A., 145

Krasnozhon V., 77

Kyrychenko K.V., 13

L

Lazarieva N.M., 26

Leshchenko A., 290

Lezhava M., 325

Lytvynenko V.V., 296

M

Makarchuk D.V., 244

Mamenko P.P., 153

Manuilenko O.V., 318

Melyakova O.A., 296

N

Nosov P., 37, 56, 61

O

Onyshko D.M., 56

P

Pavlii K.V., 318

Paziak A., 290

Plotnikov V.I., 244

Polishchuk V.O., 13

Prokhorenko E.M., 318

Prokhorenko T.G., 318

Prokorchuk Y., 37, 56

S

Savchuk V.D., 124

Shubladze Z., 325

Sokol I.V., 61

Solovey O.S., 61

Syroizhka I., 77

T

Tanzer Satir, 269

Topuria R., 325

V

Vorokhobin M.I., 107

Y

Yurzhenko A., 290

Z

Zajtsev B.V., 318

Zhmur I., 111

Zhmur V., 111

Zinchenko S.M., 13, 37

A

Авдюнін Р.Ю., 133

Акіменко О.В., 160

Андрєєв А.А., 167

Андрєєва Н.Б., 167

Антончик М.Ю., 81

Б

Бабій М.В., 252

Бєнь А.П., 6, 101, 104

Біда І.М., 250

Блінцов В.С., 6, 70

Богдан Ю.О., 187, 281

Богомолова І.В., 281

Бондар С.А., 173

Борчик Є.Ю., 33

Братченко П.В., 177

Брюховецький В.В., 300

Букетов А.В., 22, 298

В

Варбанець Р.А., 177

Воїнов О.П., 131, 181, 285

Воїнова С.О., 131, 258

Вороненко С.В., 322

Ворохобін І.І., 127

Врублевський Н. Р., 30, 229

Врублевський Р. Є., 183

Г

Голотенко О.С., 22

Гонгарчук Я.Ю., 81

Гордідан Д.С., 250

Горобець В.Г., 187

Гриценко Н.В., 192

Грицук І.В., 87

Гупалова В.О., 167

Д

Данилян А.Г., 269

Діденко В.І., 136

Є

Єрмошкін М.Г., 196, 201, 210, 213

З

Запара В.М., 136

Запара Я.В., 138

Землянський А. В., 49, 53

Зінченко А.В., 140, 160

Зінченко С.М., 17, 91, 233

І

Ігнатенко О.А., 210

Іонідій К.Ю., 276

К

Калашник Г.А., 74

Калініченко Є.В., 220, 223

Калініченко Т.В., 119

Камишин В.В., 46

Кириченко К.В., 17, 46, 91

Кім К.В., 250

Клевцов К.М., 22

Кобалава Г.О., 131, 258

Коваленко В.О., 177

Коваленко О.П., 49, 53

Ковальчук Д.В., 303

Коляда К.Ю., 167

Корбан Д.В., 225

Корнелюк О.М., 17, 91, 233

Король Ю.М., 233

Кохан В.В., 74

Крашенінін О.С., 24, 167

Кулик І.О., 138

Кухтіна В.П., 323

Кучеренко Ю.М., 177
Кучеров М.Ю., 276

Л

Лагерєва О.В., 24
Лебедь Н. І., 229
Лебідь Є.М., 288
Лебідь І.Г., 288
Левківська О. О., 30
Литвиненко В.В., 300, 316
Лонін Ю.Ф., 300
Лошкарєв О.Г., 233
Лужанська Н.О., 288
Луста Ю. Р., 149
Лугій О.В., 278

М

Мадей В.В., 238
Малащенко В.О., 252
Мацегора Д.О., 24
Мельник І.В., 303
Мила Д.Є., 300
Мінчев Д.С., 177
Місенг Д.В., 133
Моїсеєнко С.В., 160
Мущенко П.В., 220

Н

Надточий А.В., 70
Надточій В.А., 70
Настасенко В.О., 252, 312

П

Павлов В.І., 192
Перегибенко В.І., 241
Передерій В.І., 33
Пирисунько М.А., 81, 84, 241
Погорлецький Д.С., 87
Поліщук В.О., 17, 91
Поліщук О.В., 87
Польовий О.Б., 160
Поляков В.О., 156
Полянський А.В., 133
Пономарєв А.Г., 300
Починок А.В., 303
Продащук С.М., 250
Прохоренко Є.М., 316
Проценко В.О., 252
Псарюк С.П., 177

Р

Рева О.М., 46
Редчиць Д.О., 140, 160
Рехтик Я.В., 136

Родіонов В.Є., 316
Родіонов Є.В., 316

С

Сагайдак О.І., 223
Сагановська Л.А., 46
Сагін А.С., 254
Сагін С.С., 127
Самохвалов В.С., 131, 181, 258
Самохвалов І.Є., 181
Самохвалова О.В., 181
Сапронов О.О., 322, 323
Сапронова А.В., 322, 323
Сарксян М.Ю., 276
Сатулов А.І., 281
Свиридов В.І., 261
Сметанкін С.О., 322
Соколов А.В., 101
Соловей О.С., 104
Сорока М.Ю., 49, 53
Сохацький А.В., 162
Соценко В.В., 323
Степанчиков Д.М., 96
Столярик Т.О., 265
Стрельченко В.Ю., 298
Суглоб Д.В., 84

Т

Тарасов С.В., 160
Терновський В.Б., 42
Тірон-Воробйова Н.Б., 269
Троханяк В.І., 187
Трояк К.Ю., 42

У

Урсуленко І.М., 241

Ф

Фурс Т.В., 292

Х

Хоменко В.С., 133
Худяков І.В., 87

Ч

Чимшир В.І., 94

Ш

Шалапай В.В., 273
Шалапко Г.Г., 84, 278
Шалапко Д.О., 276, 278
Шапатіна О.О., 24, 167
Шаранов В.Д., 322
Шарко А.О., 96
Шарко О.В., 96

Шаров Р.А., 213
Шпілєвая Т.М., 104
Шульга Ю.М., 298

Ю

Юренін К.Ю., 298, 323

Я

Якущенко С.В., 323

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
FOREWORD	5
ПРОФЕСОР КАЗАК ВАСИЛЬ МИКОЛАЙОВИЧ: ВНЕСОК У НАУКУ Й ОСВІТУ УКРАЇНИ	6
Бень А.П., <i>Херсонська державна морська академія</i> <i>(Україна)</i>	
Блінцов В.С. <i>Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова</i> <i>(Україна)</i>	
СЕКЦІЯ:	
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ	8
A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF INTERMODAL FREIGHT TRANSPORTATION DEFINITIONS THROUGH A MORPHOLOGICAL APPROACH	9
Golovko T.V., Demchenko I.S. <i>Ukrainian state university of railway transport</i> <i>(Ukraine)</i>	
APPLICATION OF THE METHOD OF RESETTING THE KINETIC ENERGY OF THE COLLISION ALONG THE GRADIENT	13
Zinchenko S.M., Kyrychenko K.V., Grosheva O.O., Polishchuk V.O. <i>Kherson State Maritime Academy</i> <i>(Ukraine)</i>	
МІНІМІЗАЦІЯ ВИТРАТ ПАЛИВА ПРИ ВИКОНАННІ ОПЕРАЦІЙ ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ	17
Зінченко С.М., Кириченко К.В., Поліщук В.О., Корнелюк О.М. <i>Херсонська державна морська академія</i> <i>(Україна)</i>	
ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА РИЗИКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИ УПРАВЛІННІ ВОДНИМ ТРАНСПОРТОМ	22
Клевцов К.М., Букетов А.В. <i>Херсонська державна морська академія</i> <i>(Україна)</i>	
Голотенко О.С. <i>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя</i> <i>(Україна)</i>	
ВИБІР ВАРІАНТІВ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОКОМОТИВІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ	24
Крашенінін О.С., Шапатіна О.О., Мацегора Д.О., Лагерєва О.В. <i>Український державний університет залізничного транспорту</i> <i>(Україна)</i>	
MODEL OF CONTROL WITH HIERARCHICAL FUZZY LOGIC INFERENCE	26
Lazarijeva N.M. <i>Kharkiv National University of Radio Electronics</i> <i>(Ukraine)</i>	
СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЗА КІЛЬКІСТЮ МЕТАЛЕВИХ ДОМШОК У ЦИЛІНДРОВОМУ МАСЛІ	30

Левківська О. О., Врублевський Н. Р.

*Відокремлений структурний підрозділ «Морський фаховий коледж
Херсонської державної морської академії»
(Україна)*

**ОЦІНКА ТА КОРЕКЦІЯ ОПЕРАТИВНОГО СТАНУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ
СТІЙКОСТІ КЕРУВАННЯ МОРСЬКИМ СУДНОМ 33**

Передерій В.І.

*Херсонський національний технічний університет
(Україна)*

Борчик Є.Ю.

*Миколаївський національний аграрний університет
(Україна)*

**BIO-HOLONIC APPROACH TO THE CREATION OF NATURALLY RELIABLE
AND SAFE TRANSPORTATION SYSTEMS 37**

Prokopchuk Y.

*Institute of Technical Mechanics of NASU
(Ukraine)*

Nosov P., Zinchenko S., Ben A.

*Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)*

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ЯК ІНСТРУМЕНТ ЕФЕКТИВНОГО НАВЧАННЯ 42

Терновський В.Б., Трояк К.Ю.

*Національний університет «Одеська морська академія»
(Україна)*

СЕКЦІЯ:

ТРЕНАЖЕРНІ СИСТЕМИ ТА ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР НА ТРАНСПОРТІ 45

**ОПЕРАТОРИ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ-«АВАРІЙНИКИ»:
ПОМІТНЕ ГАСЛО, ЧИ ОБ'ЄКТИВНА РЕАЛЬНІСТЬ 46**

Рева О.М.

*Національний авіаційний університет,
(Україна)*

Рева О.М., Камишин В.В.

*Український інститут науково-технічної експертизи та інформації
(Україна)*

Кириченко К.В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Сагановська Л.А.

*Льотна академія Національного авіаційного університету
(Україна)*

**МОДЕЛЬ РЕАЛІЗАЦІЇ ВПЛИВУ НЕБЕЗПЕЧНИХ МЕТЕОФАКТОРІВ НА
ПРИКЛАДІ ОБЛЕДЕНІННЯ ПОВІТРЯНОГО СУДНА В ПРОЦЕСІ
ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ 49**

Сорока М. Ю., Коваленко О. П., Землянський А. В.

*Льотна академія Національного авіаційного університету
(Україна)*

**ПОЕТАПНІСТЬ ВИРІШЕННЯ ПОТЕНЦІЙНО-КОНФЛІКТНИХ СИТУАЦІЙ
АВІАДИСПЕТЧЕРАМИ З ПОГЛЯДУ СВОЄЧАСНОСТІ 53**

Сорока М.Ю., Коваленко О.П., Землянський А.В.

*Льотна академія Національного авіаційного університету
(Україна)*

APPROACHES TO AUTOMATION OF PROCESSES OF IDENTIFICATION OF 56

SEAFARER'S PHYSIOLOGICAL PARAMETERS

Cherniavskiy V.V., Nosov P.S., Koretsky O.A., Onyshko D.M., Prokopchuk Yu. O.
Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)

MODELING OF THE RISKS DUE TO THE STRESS BASED ON A FORMAL ANALYSIS OF THE NAVIGATOR'S WORK WITH ECDIS

61

Cherniavskiy V.V., Nosov P.S., Sokol I.V., Koretsky O.A., Solovey O.S.
Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)

СЕКЦІЯ:

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

69

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ІНІЦІАЦІЇ ПРОГРАМИ ПРОЕКТІВ «МОРСЬКА РОБОТОТЕХНІКА УКРАЇНИ»

70

Блінцов В.С., Надточій А.В., Надточій В.А.
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)

ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ПОЛЬОТОМ ТРАНСПОРТНОГО ЛІТАКА

74

Кохан В.В., Калашник Г.А.
Льотна академія Національного авіаційного університету
(Україна)

ANALYSIS OF IMPROVEMENT OF DIAGNOSIS NON-DESTRUCTIVE TESTING METHODOLOGY OF AIRCRAFT SYSTEMS

77

Krasnozhon V., Syroizhka I.
Flight Academy of the National Aviation University
(Ukraine)

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОВОЇ НАПРУЖЕНОСТІ В КАТАЛІТИЧНИХ ФІЛЬТРАХ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ В МОРСЬКИХ СИЛОВИХ УСТАНОВКАХ

81

Пирисунько М.А., Антончик М.Ю., Гонтарчук Я.Ю.
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)

МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ СУДНОВОГО ДВИГУНА

84

Пирисунько М.А., Шалапко Г.Г., Суглоб Д.В.
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ДВИГУНА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ, ПЕРЕОБЛАДНАНОГО ДЛЯ РОБОТИ НА ГАЗОВОМУ ПАЛИВІ

87

Погорлецький Д.С., Грицук І.В., Худяков І.В., Поліщук О.В.
Херсонська державна морська академія
(Україна)

АВТОМАТИЗАЦІЯ МАНЕВРУ СУДНА «ЛЮДИНА ЗА БОРТОМ»

91

Поліщук В.О., Зінченко С.М., Кириченко К.В., Корнелюк О.М.
Херсонська державна морська академія
(Україна)

ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА НАДІЙНОСТІ АВТОНОМНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ НА ПРИКЛАДІ СУДНА

94

Чимшир В.І.

*Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»
(Україна)*

ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ШВИДКІСНОГО ПІДШИПНИКА ТУРБИНИ НА ПІДСТАВІ АНАЛІЗУ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ 96

Шарко О.В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Степанчиков Д.М.

*Херсонський національний технічний університет
(Україна)*

Шарко А.О.

*Технічний університет в Ліберці
(Чехія)*

СЕКЦІЯ:

БЕЗПЕКА СУДНОПЛАВСТВА 100

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ВАНТАЖНОГО ПЛАНУ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ 101

Бень А.П., Соколов А.В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ НА СУДНАХ ТИПУ HEAVY LIFT 104

Бень А.П., Соловей О.С., Шпілєвая Т.М.

*Херсонська державна морська академія
(м. Херсон)*

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE PROSPECTS FOR IMPROVING NAVIGATION SAFETY 107

Vorokhobin M.I., Konon N.M.

*National university "Odesa maritime academy"
(Ukraine)*

THE WAYS OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE SHIP SYSTEMS 111

Zhmur V.

*Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)*

Zhmur I.

*Kherson Maritime College of Fishing Industry
(Ukraine)*

РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН НА НЕЗНАЧНИХ ДИСТАНЦІЯХ ЗА НАЯВНОСТІ ТОЧКОВОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ 119

Калініченко Т. В.

*Державний університет інфраструктури та технологій
(Україна)*

DATA PROCESSING ALGORITHM WITHIN CARGO TEMPERATURE CONTROL ON CONTAINERSHIPS 124

Konon V.V., Savchuk V.D.

*National university "Odesa maritime academy"
(Ukraine)*

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МАНЕВРУ УХИЛЕННЯ ПІД ЧАС ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОГО РОЗХОДЖЕННЯ МОРСЬКИХ СУДЕН 127

Сагін С.С., Ворохобін І.І.

*Національний університет «Одеська морська академія»
(Україна)*

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОПУЛЬСИВНИХ КОМПЛЕКСІВ МОРСЬКИХ БОЙОВИХ ДРОНІВ	131
Самохвалов В.С., Воїнов О.П., Кобалава Г.О. <i>Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)</i>	
Воїнова С.О. <i>Одеський національний технологічний університет (Україна)</i>	
КІБЕРБЕЗПЕКА НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ	133
Хоменко В.С., Авдюнін Р.Ю., Місенг Д.В., Полянський А.В. <i>Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (Україна)</i>	
СЕКЦІЯ	
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ	135
ВЗАЄМОДІЯ ПУНКТУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ОБРОБКИ ПЕРЕВІЗНИХ ДОКУМЕНТІВ ТА ПРИКРІПЛЕНИХ ДО НЬОГО ВАНТАЖНИХ СТАНЦІЙ	136
Запара В.М., Діденко В.І., Рехтик Я.В. <i>Український державний університет залізничного транспорту (Україна)</i>	
УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОМЕРЦІЙНОГО ДЕПАРТАМЕНТУ АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ»	138
Запара Я.В., Кулик І.О. <i>Український державний університет залізничного транспорту (Україна)</i>	
МОДЕЛЮВАННЯ ТУРБУЛЕНТНИХ ТЕЧІЙ У ПРОТОЧНІЙ ЧАСТИНІ РАДІАЛЬНИХ ВЕНТИЛЯТОРІВ	140
Зінченко А.В., Редчиць Д.О. <i>Інститут транспортних систем і технологій НАН України (Україна)</i>	
PROSPECTIVE MULTI-LEVEL SYSTEM OF OPERATIONAL HYPERSPETRAL MONITORING OF UKRAINE	142
Kalashnyk G.A., Kalashnyk-Rybalko M.A. <i>Flight Academy of the National Aviation University (Ukraine)</i>	
THE SYSTEM-FORMING ROLE OF ENTERPRISES IT-INFRASTRUCTURES IN INDUSTRY AND TRANSPORT	145
Kosolapov A.A. <i>Ukrainian State University of Science and Technology (USUST) (Ukraine)</i>	
ВИКОРИСТАННЯ ПРИНЦИПУ СУПЕРПОЗИЦІЇ СИЛ ДЛЯ ОКРЕСЛЕННЯ МЕЖ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В ЗАДАЧАХ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЛІСОВИХ МАШИН З ОПОРНОЮ ПОВЕРХНЕЮ РУХУ ТА ДЕРЕВИНОЮ	149
Луґа Ю. Р. <i>Національний лісотехнічний університет України (Україна)</i>	
AUTOMATIC ROUTE PLANNING OF THE SHIP'S MOVEMENT TAKING INTO	153

ACCOUNT THE DANGER LEVEL FUNCTION	
Маменко Р.Р. <i>Kherson State Maritime Academy</i> <i>(Ukraine)</i>	
КОНСТРУКТИВНА ПОБУДОВА РУХУ МАГНІТОЛЕВІТУЮЧОГО ПОЇЗДА	156
Поляков В.О. <i>Інститут транспортних систем і технологій НАН України</i> <i>(Україна)</i>	
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОГО ОБТІКАННЯ РОТОРІВ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК	160
Редчиць Д.О., Зінченко А.В., Тарасов С.В., Польовий О.Б., Акіменко О.В. <i>Інститут транспортних систем і технологій НАН України</i> <i>(Україна)</i>	
Моїсеєнко С.В. <i>Херсонський національний технічний університет</i> <i>(Україна)</i>	
ДО ПРОБЛЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РУХУ НАДВОДНИХ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ АПАРАТІВ	162
Сохацький А.В. <i>Університет митної справи та фінансів</i> <i>(Україна)</i> <i>Інститут транспортних систем та технологій Національної академії наук України</i> <i>(Україна)</i>	
ОЦІНКА КРИТЕРІЮ ЕФЕКТИВНОСТІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	167
Шапатіна О.О., Крашенінін О.С., Коляда К.Ю., Гупалова В.О. <i>Український державний університет залізничного транспорту</i> <i>(Україна)</i>	
СЕКЦІЯ	
ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ Й ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ	169
АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ІНТЕГРУВАННЯ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРА ДО ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ НАДДУВУ СУДНОВИХ МАЛООБОРОТНИХ ДИЗЕЛІВ	170
Андрєєв А.А., Андрєєва Н.Б. <i>Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна)</i>	
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ДВИГУНІВ МОРСЬКИХ ТА РІЧКОВИХ СУДЕН	173
Бондар С.А. <i>Національний університет «Одеська морська академія»</i> <i>(Україна)</i>	
ПЕРЕДБАЧЕННЯ ВПЛИВУ НЕРЕГУЛЯРНОСТІ ПАЛИВОПОДАЧІ НА ПАРАМЕТРИ РОБОТИ ГОЛОВНОГО СУДНОВОГО ДВИГУНА З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА	177
Варбанець Р.А., Мінчев Д.С., Псарюк С.П., Братченко П.В., Кучеренко Ю.М., Коваленко В.О. <i>Одеський національний морський університет</i> <i>(Україна)</i>	
ПРО ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК	171
Воїнов О.П., Самохвалов В.С., Самохвалов І.Є., Самохвалова О.В.	

*Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова
(Україна)*

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ДИЗЕЛЯ, СИСТЕМОЮ
ОХОЛОДЖЕННЯ MGO ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ SO_x** 183

Врублевський Р. Є.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

**ОПТИМІЗАЦІЙНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПАКТНОГО
ПОПЕРЕЧНООБТІЧНОГО ПУЧКА ТРУБ МАЛОГО ДІАМЕТРУ В
ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ANSYS Workbench** 187

Горобець В.Г., Троханяк В.І.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України
(Україна)*

Богдан Ю.О.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

**ТЕОРЕТИЧНО ОГЛЯДОВИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ
ПРОБЛЕМ ВПЛИВУ ТРАНСПОРТУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ** 192

Гриценко Н.В, Павлов В.І.

*Український державний університет залізничного транспорту
(Україна)*

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ МОРСЬКОГО ФЛОТУ 196

Єрмошкін М.Г.

*Інститут Військово-Морських Сил Національного університету “Одеська морська академія”
(м.Одеса)*

**ІСТОРІЯ БУДІВНИЦТВА ЛЕГКИХ КРЕЙСЕРІВ НА КОРАБЕЛЬНІ В
М. МИКОЛАЄВІ** 201

Єрмошкін М.Г.

*Інститут Військово-Морських Сил Національного університету
“Одеська морська академія”
(м.Одеса)*

**СУЧАСНІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ КОРАБЛІВ ТА СУДЕН,
ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ РОЗВИТКУ** 210

Єрмошкін М.Г., Ігнатенко О.А.

*Інститут Військово-Морських Сил Національного університету
“Одеська морська академія”
(Україна)*

**ІСТОРІЯ СТВОРЕННЯ ПЕРШОЇ ПОВОЄННОЇ СУДНОБУДІВНОЇ ВЕРФІ НА
ПІВДНІ УКРАЇНИ** 213

Єрмошкін М.Г., Шаров Р.А.

*Інститут Військово-Морських Сил Національного університету
“Одеська морська академія”
(м.Одеса)*

**ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ЯК КЛЮЧОВА ТЕХНОЛОГІЯ
ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ СУДНОВИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ** 220

Калініченко Є.В., Мущенко П.В.

*Одеський національний морський університет
(Україна)*

**НАВІГАЦІЙНІ РИЗИКИ У ПОРТАХ ТА МОДЕЛІ ЇХ КОНТРОЛЮ І
ЗМЕНШЕННЯ** 223

Калініченко Є.В., Сагайдак О.І.

*Одеський національний морський університет
(Україна)*

**МОДЕЛЬ ОСНОВНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОТОКУ В СУДНОВОМУ
РАДІОЛОКАЦІЙНОМУ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОМУ КОМПЛЕКСІ** 225

Корбан Д.В.

*Національний університет «Одеська морська академія»
(Україна)*

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСУ ЦИЛІНДРОВИХ ВТУЛОК СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ 229

Лебедь Н. І., Врублевський Н. Р.

*Відокремлений структурний підрозділ «Морський фаховий коледж
Херсонської державної морської академії»
(Україна)*

**ОПТИМАЛЬНИЙ ДИФЕРЕНТ СУДНА: РОЗКІШ ЧИ НЕОБХІДНІСТЬ В
УМОВАХ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДЕН** 233

Лошкар'єв О.Г., Корнелюк О.М., Зінченко С.М.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Король Ю.М.

*Національний університет кораблебудування
(Україна)*

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ
ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ** 238

Мадей В.В.

*Національний університет «Одеська морська академія»
(Україна)*

**ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОТИ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ГАЗІВ
ТЕПЛОВИКОРИСТОВУЮЧИМИ МАШИНАМИ ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ
ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВОГО ДВИГУНА** 241

Пирисунько М.А., Урсуленко І.М, Перегібенко В.І.

*Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова
(Україна)*

**ANALYSIS OF THE STABILITY OF MARINE NAVIGATION COMPLEX
SYSTEMS FROM THE POINT OF VIEW OF THE QS** 244

Plotnikov V.I., Abramov G.S., Makarchuk D.V.

*Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)*

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В
СУЧАСНИХ УМОВАХ** 250

Продашук С.М., Кім К.В., Гордідан Д.С., Біда І.М.

*Український державний університет залізничного транспорту
(Україна)*

**УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ МУФТ З ПАКЕТАМИ
ГІЛЬЗОВИХ ПРУЖИН** 252

Проценко В.О., Настасенко В.О., Бабій М.В.

*Херсонська державна морська академія
(Україна)*

Малащенко В.О.

*Національний університет «Львівська політехніка»
(Україна)*

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ВПОРСКУВАННЯ ПАЛИВА
З НАДНИЗЬКИМ ВМІСТОМ СІРКИ** 254

Сагін А.С. <i>Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)</i>	
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙНОГО КУРСУ ЯК ІНСТРУМЕНТ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ В ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ	258
Самохвалов В.С., Воїнов О.П., Кобалава Г.О. <i>Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна)</i>	
Воїнова С.О. <i>Одеський національний технологічний університет (Україна)</i>	
ЗАСТОСУВАННЯ АДДИТИВНО-МУЛЬТИПЛІКАТИВНОЇ МОДЕЛІ ВІБРАЦІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДОВИХ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ	261
Свиридов В.І. <i>Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна)</i>	
АНАЛІЗ ЗМІНИ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНОГО МАСТИЛА ЗА РІЗНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ	265
Столярик Т.О. <i>Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)</i>	
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ – СКЛADOVA СТАНДАРТУ ЯКОСТІ БАЛАСТНИХ ВОД D-2: УКРАЇНА/ТУРЦІЯ – МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД	269
Тірон-Воробійова Н.Б., Данилян А.Г. <i>Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія» (Україна, Ізмаїл)</i>	
Tanzer Satir <i>Istanbul Technical University (Турція, Стамбул)</i>	
ВСТАНОВЛЕННЯ ПЕРІОДУ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ ГІДРОЦИЛІНДРА ГІДРОПРИВОДУ ІЗ УРАХУВАННЯМ ПРОЦЕСУ ЗНОШЕННЯ УЩІЛЬНЕНЬ	273
Шалапай В. В. <i>Національний Лісотехнічний Університет України (Україна)</i>	
ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ КОМПАКТНОГО СУДНА, ВИКОРИСТОВУЮЧИ МЕТАЛОГІДРИДНИЙ ПАЛИВНИЙ ЕЛЕМЕНТ	276
Шалапко Д.О., Кучеров М.Ю., Іонідій К.Ю., Сарксян М.Ю. <i>Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна)</i>	
ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ТАНКЕРА ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕХНОЛОГІЙ ДОДАВАННЯ ВОДНЮ	278
Шалапко Д.О., Лутій О.В., Шалапко Г.Г. <i>Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова (Україна)</i>	

СЕКЦІЯ

КОМПЕТЕНТІСНИЙ ПІДХІД В ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ 280

РЕЗУЛЬТАТИВНІСТЬ ПІДГОТОВКИ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІРТУАЛЬНИХ ТА ІМЕРСИВНИХ ТРЕНАЖЕРІВ МАШИННОГО ОБЛАДНАННЯ 281

Богдан Ю.О., Богомолова І.В., Сатулов А.І.
Херсонська державна морська академія
(Україна)

INTENSIFICATION OF PROFESSIONAL-ORIENTED ENGLISH TRAINING OF FUTURE AVIATION SPECIALISTS BY TEACHING SPECIAL DISCIPLINES IN ENGLISH 285

Kalashnyk-Rybalko M.A., Kalashnyk G.A.
Flight Academy of the National Aviation University
(Ukraine)

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ВЗАЄМОДІЇ СУБ'ЄКТІВ РИНКУ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ ТА ФАХІВЦІВ МИТНОЇ СЛУЖБИ 288

Лебідь Є.М., Лебідь І.Г., Лужанська Н.О.
Національний транспортний університет
(Україна)

THE SPECIFICS OF TRAINING SPECIALISTS IN THE TRANSPORT INDUSTRY UNDER MARTIAL LAW 290

Leshchenko A., Paziak A., Yurzhenko A.
Kherson State Maritime Academy
(Ukraine)

ФОРМУВАННЯ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ 292

Фурє Т.В.
Луцький національний технічний університет
(Україна)

СЕКЦІЯ

ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ «ЗЕЛЕНОГО» ТРАНСПОРТУ: ДЖЕРЕЛА Й НАКОПИЧУВАЧІ ЕНЕРГІЇ, НОВІТНІ МАТЕРІАЛИ, БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ 295

APPLICATION OF THE RADIATION METHODS FOR CONTROL THE CONDITION OF COMPRESSOR EQUIPMENT 296

Bazaleev M.I., Donets S.E., Bryukhovensky V.V., Lytvynenko V.V., Melyakova O.A.
Institute of Electrophysics and Radiation Technologies NAS of Ukraine

ЕПОКСИДНИЙ АДГЕЗИВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ 298

Букетов А.В., Стрельченко В.Ю., Юренін К.Ю.
Херсонська державна морська академія
(Україна)

Шульга Ю.М.
Дунайський інститут національного університету «Одеська морська академія»
(Україна)

ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АА6111 СИСТЕМИ Al-Mg-Si В РЕЗУЛЬТАТІ ДІЇ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРОННОГО ОПРОМІНЕННЯ 300

Брюховецький В.В., Литвиненко В.В., Мила Д.Є.
Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України

- (Україна)
Лонін Ю.Ф., Пономарьов А.Г.
ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України
(Україна)
- ІНТЕРПОЛЯЦІЯ ТА АПРОКСИМАЦІЯ ГРАНИЧНОЇ ТРАЄКТОРІЇ ЕЛЕКТРОННОГО ПУЧКА З ВИКОРИСТАННЯМ КОРЕНЕВО-ПОЛІНОМІАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ З ДРУГОГО ДО П'ЯТОГО ПОРЯДКУ** 303
- Мельник І.В., Починок А.В.**
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
(м. Київ, Україна)
- Ковальчук Д.В.**
Приватне Акціонерне Товариство «НВО «Червона Хвиля»»
(м. Київ, Україна)
- МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГРАВІТАЦІЇ НА БАЗІ ВИКРИВЛЕННЯ ПРОСТОРУ ТА ЙОГО АНАЛІЗ** 312
- Настасенко В.О.**
Херсонська державна морська академія (Україна)
- СИНТЕЗ ОПТИЧНО ПРОЗОРИХ НАГРІВАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ПОТРЕБ ТРАНСПОРТУ** 316
- Родіонов В.Є.**
Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України
(Україна)
- Литвиненко В.В., Прохоренко Є.М.**
Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України
(Україна)
- Родіонов Є.В.**
НТУ «Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського
(Україна)
- RESEARCH OF RADIATION PROTECTIVE MATERIALS FOR NUCLEAR REACTORS** 318
- Prokhorenko E.M.**
Institute of Electrophysics and Radiation Technologies NAS of Ukraine
(Kharkiv, Ukraine)
- Manuilenko O.V., Pavlii K.V., Zajtsev B.V., Dubniuk S.M.**
N S "Kharkov Institute of physics and Technology"
(Kharkiv, Ukraine)
- Prokhorenko T.G.**
Kharkiv National Automobile and ighway University
(Kharkiv, Ukraine)
- Manuilenko O.V.**
V.N. Karazin Kharkiv National University
(Kharkiv, Ukraine)
- ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОСТІЙКОСТІ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ, НАПОВНЕНИХ ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ ЗА МЕТОДОМ БРОЙДО** 322
- Сапронов О.О., Вороненко С.В., Сапронова А.В., Сметанкін С.О.**
Херсонська державна морська академія
(Україна)
- Шаранов В.Д.**
Дунайський інститут національного університету «Одеська морська академія»
(Україна)
- ТЕПЛОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ,** 323

**НАПОВНЕНИХ ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ ДЛЯ РЕМОНТУ
ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТУ**

Сапронов О.О., Якущенко С.В. Сапронова А.В., Соценко В.В.,

Юренін К.Ю., Кухтіна В.П.

Херсонська державна морська академія

(Україна)

**PROSPECTS OF IMPLEMENTATION OF THE HYBRID COMBUSTION
PROCESS IN SHIP ENGINES**

325

Topuria R.

Akaki Tsereteli State University

(Georgia)

Shubladze Z., Lezhava M.

Batumi State Maritime Academy

(Georgia)

ІМЕННИЙ ПОКАЗЧИК

329

ЗМІСТ

330

ДЛЯ НОТАТОК:

Збірка матеріалів
XV Міжнародної науково-практичної конференції

**СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ
ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
НА ТРАНСПОРТІ**

MINTT-2023

Відповідальний за випуск *Врублевський Р. Є.*
Технічний редактор, комп'ютерна верстка *Якущенко С.В.*
Друк, фальцювальню-палітурні роботи *Удов В. Г.*

Підписано до друку 19.05.2023. Формат 60x84/16.
Папір офсетний. Друк цифровий. Гарнітура Times New Roman.
Умов. друк. аркушів 22,5. Тираж 120 прим.

Херсонська державна морська академія
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 4319 від 10.05.2012
73000, м. Херсон, пр. Ушакова, 20