

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Одеська морська академія»
Одеське відділення Інституту морської техніки, науки і технології Великобританії (IMarEST)
Морський інститут України (Nautical Institute of Ukraine).

МАТЕРІАЛИ

XII Міжнародної науково-технічної конференції

«СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І АВТОМАТИКА»

22.11.2022 – 23.11.2022



SHIPS' ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONICS AND
AUTOMATION

www.femire.onma.edu.ua

Одеса – 2022

**СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І
АВТОМАТИКА**

**SHIPS' ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONICS AND
AUTOMATION**

SEEEA-2022

Збірка матеріалів конференції

**22-23 листопада
2022 року
Одеса, Україна**

**November 22-23
2022
Odessa, Ukraine**

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Захарченко В. М. – д.т.н., професор (Україна);
Голіков В.А. – д.т.н., професор (Україна);
Будашко В.В. – д.т.н., доцент (Україна);
Романюк В.В. – д.т.н., професор (Україна);
Петрушин В.С. – д.т.н., професор (Україна);
Муха М. Й. – д.т.н., доцент (Україна);
Бушер В.В. – д.т.н., професор (Україна);
Космас Здрозис – к.т.н., (Греція);

Михайлов С. А. – д.т.н., професор (Україна);
Гвоздева І. М. – д.т.н., професор (Україна);
Кошевий В. М. – д.т.н., професор (Україна);
Попов В. Г. – д. ф-м. наук, професор (Україна);
Хандакжи Камаль – к.т.н., (Йорданія);
Базил Шафик – к.т.н., (Сирія).
Раджендер Трехан – професор (Сполучені Штати Америки);
Філін В.М. – к.т.н., доцент (Бельгія).

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

<i>Голова:</i>	Міюсов М. В. – ректор НУ «ОМА», д.т.н., професор.
<i>Заступник голови оргкомітету:</i>	Захарченко В. М. – проректор з науково-педагогічної роботи НУ «ОМА», д.т.н., професор.
<i>Члени оргкомітету:</i>	Будашко В. В. – директор ННІ АтаЕМ; Савчук В. Д. – начальник НДЧ; Чимшир В. І. – Голова Одеського відділення IMarEST; Торський В. Г. – Почесний секретар Морського інституту України.
<i>Відповідальний секретар:</i>	Глазєва О. В. – заступник директора Навчально-наукового інституту автоматики та електромеханіки.

У збірнику матеріалів конференції розміщено тези доповідей XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», що відбулась 22-23 листопада 2022 року у Національному університеті «Одеська морська академія».

Тематика конференції охоплює наступні науково-методичні напрямки: енергозбереження в судновій енергетиці, технічна експлуатація сучасного електрообладнання та систем управління суден, енергоефективність та надійність електромеханічних систем, математичне моделювання процесів і явищ в енергетичних установках та радіотехніці, інформаційна безпека, автоматизація суднових технічних засобів, освітні та професійні стандарти.

Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – 204 с.

Матеріали публікуються згідно з поданими авторами оригіналами, які є відповідальними за їх зміст.

ЗМІСТ

Секція 1. СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

<i>Рябцов О.В.</i>	8
Альтернативний спосіб транспортування електроенергії	
<i>Рябцов О.В., Дмухайлов Д.Д.</i>	10
Оптична комутація сигналів в судових інформаційних системах	

Секція 2. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

<i>Самонов С. Ф., Дубовик В.О., Кульбацький А.А., Смазнова Г. В.</i>	14
Автоматизація контролю технічного стану судових електрогідравлічних пристроїв	
<i>Швидкий О.С., Бушер В.В., Ду Сін</i>	17
Валовий генератор-двигун з широтно-імпульсною модуляцією низької напруги	

Секція 3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

<i>Самонов С.Ф., Власов В.Б., Дубовик В.О.</i>	21
Явища ферорезонансу на об'єктах морської індустрії	

Секція 4. СУЧАСНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, КОМПОНЕНТИ ТА ДІАГНОСТИКА

<i>Шестака А.І., Мельнікова Л.В.</i>	24
Питання модернізації портального крана порту Ізмаїл	

Секція 5. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ І ЯВИЩ В ЕЛЕМЕНТАХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

<i>Попов В.Г.</i>	28
Застосування інтегральних рівнянь при математичному моделюванні теплового стану втулки циліндру судового дизелю	

<i>Кирилова О.І., Попов В.Г.</i>	32
Точний розв'язок задачі моделювання хвильових полів у скінченному пружному циліндрі	
<i>Мішарін А.С., Попов В.Г.</i>	36
Вплив розміру тріщини, що виходить з жорсткого включення, на напружений стан навколо неї при гармонійному зсувному навантаженні	
<i>Кривий О. Ф., Міусов М.В., Кривий М.О.</i>	40
Вплив зміни фазових координат руху судна на характеристики роботи гребного гвинта	
<i>Кривий О.Ф., Морозов Ю.О.</i>	44
Математичне моделювання впливу структурних неоднорідностей на міцність зварних з'єднань	
<i>Налева Г. В., Онищенко О. А.</i>	48
Побудова математичних моделей безконтактних електродвигунів суднових електроприводів на основі структурних схем	
<i>Демидов О.В., Попов В.Г.</i>	53
Застосування модифікованого методу скінченних різниць за часом при математичному моделюванні нестационарних хвильових полів у скінченному циліндрі	

Секція 6. РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ ТА ЗВ'ЯЗОК

<i>Шишкін О.В.</i>	57
Виявлення підроблених повідомлень в автоматичній ідентифікаційній системі	
<i>Купровський В.І.</i>	60
Особливості використання суднової станції супутникового зв'язку SAILOR 250 FLEETBROADBAND у випадках лиха	
<i>Пашенко О.Л.</i>	64
Особливості ретрансляції лиха в ГМЗЛБ	

Секція 7. МОРСЬКА ЕЛЕКТРОНІКА ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА

<i>Mikhailov S., Veretennik O., Kulyeshov I., Mikhailov N.</i>	67
Methodology of testing and adjusting for computers information systems	
<i>Михайлов С.А., Шевцов Ю.С., Таранов О.О.</i>	75
Вимоги до архітектури, програмного та апаратного забезпечення кіберзахисених суднових комп'ютерних мереж	

<i>Михайлов С.А., Шевцов Ю.С., Ходос В.В., Баєв М.С.</i>	79
Ієрархія цілей та мотивів кіберзлочинів на морському транспорті	
<i>Шевцов Ю.С., Гах Н.С., Денисов М.С., Андрієвський Д.Р.</i>	81
Суднові інформаційні автоматизовані системи, вразливі для кібератак	

Секція 8. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА ПРИСТРОЇВ В ЕЛЕКТРО- ТА РАДІОТЕХНІЦІ

<i>Kharchenko R.Yu., Zavadskiy V.A., Kochetkov A. V.</i>	85
Methods for automated research of dc voltage converters	
<i>Малявін І.П.</i>	89
Математична модель електричних процесів багатофазних імпульсних перетворювачів постійної напруги при граничних струмах дроселів силових каналів	
<i>Баландін С., Бушер В.В., Космас Здрозис</i>	91
Удосконалення учбового макету та системи дистанційного керування причального контейнерного перевантажувача	
<i>Бушер В.В., Ду Синь, Глазева О.В.</i>	95
Узагальнене аналітичне рішення для методу балансування лінійної напруги в каскадних перетворювачах частоти	

Секція 9. АВТОМАТИЗАЦІЯ СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

<i>Горб С.І., Будуров М.І.</i>	101
Вибір режимів перевантаження головного дизеля на судні із гвинтом, крок якого регульований	
<i>Процевич П.З., Миргород В.Ф., Гвоздева І.М.</i>	108
Дослідження процесів у судновій системі регулювання рівня води у допоміжному котлі з нечітким регулятором.	
<i>Процевич П.З., Миргород В.Ф., Гвоздева І.М.</i>	112
Дослідження процесів керованої зміни стану температури води у системі охолодження головного двигуна	
<i>Михайленко В.С., Лещенко В.В., Зеленюк С.О.</i>	115
Огляд методів адаптації в системах управління судновими об'єктами	
<i>Дубовик В.О., Дудко С.А., Бондаренко А.В.</i>	118
Системний аналіз режимів роботи та стану головного двигуна з електронною системою управління за допомогою навантажувальної діаграми реального часу	

<i>Mukha Mykola, Drankova Alla</i>	124
On approach and principle of technical implementation of the ship electric power system monitoring parameters	
<i>Гвоздева І.М., Миргород В.Ф., Петков І.В., Круц В.А.</i>	132
Трендові статистичні моделі та їх комп'ютерна реалізація в суднових системах діагностики	
<i>Миргород В.Ф., Гвоздева І.М., Рашков В.В.</i>	136
Дослідження процесів у судновій системі регулювання тиску пари у допоміжному котлі засобами математичного моделювання	
<i>Щербінін В.А., Гвоздева І.М.</i>	140
Аналіз підходів до вирішення проблеми демпфування крутильних коливань у суднових комбінованих енергетичних установках	

Секція 10. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

<i>Удолатій В.Б.</i>	146
Огляд методів зниження токсичності газових викидів суднових енергетичних установок від оксидів сірки	
<i>Будашко В.В., Нікольський В.В., Хнюнін С.Г., Сандлер А.К.</i>	150
Використання примусової вентиляції подвійної дії в азимутальній гвинто-рульовій колонці на низьких швидкостях	
<i>Сандлер А.К., Кузнецова Г.О., Глазєва О.В.</i>	155
Автоматизована система запобігання забруднення суднових утилізаційних котлів	
<i>Данчук Д.П., Долманжи Г.Д., Сандлер А.К.</i>	160
Волоконна оптика в задачах технічного діагностування суднових компресорних машин	
<i>Сандлер А.К., Дрозд О.В.</i>	165
Засіб протидії перевантаженню електропривода стрічкового конвеєра	
<i>Опришко М.О., Карпілов О.Ю., Сандлер А.К.</i>	169
Застосування новітніх матеріалів для створення елементів комбінованих електроенергетичних установок з вітрорушієм	
<i>Сандлер А.К., Дрозд О.В.</i>	174
Автоматизований засіб підвищення безпеки суднових вантажних операцій	
<i>Фрізюк Є.І., Долманжи Г.Д., Сандлер А.К.</i>	179
Волоконно-оптичний засіб контролю властивостей вуглеводневих палив	

Секція 11. ОСВІТНІ ТА ПРОФЕСІЙНІ СТАНДАРТИ

<i>Медведева Ю.С., Коновалова К.С.</i>	191
Особливості підготовки магістрів за спеціальністю «Менеджмент в галузі морського та річкового транспорту в НУ «ОМА»	
<i>Медведева Ю.С., Шепель В.В.</i>	194
Нормативно-правова база академічної доброчесності НУ «ОМА»	
 БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС	 199

Секція 1. СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

УДК 629.359

АЛЬТЕРНАТИВНИЙ СПОСІБ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

О.В. Рябцов, к.т.н., доцент
Національний Університет «Одеська Морська Академія»

***Анотація:** Стаття присвячена питанню можливості створення нового типу суден для транспортування електроенергії на відстань від місця генерації для кінцевих споживачів.*

***Ключові слова:** Електроенергетика, водний транспорт, електроакумуляуючі станції*

ALTERNATIVE WAY OF ELECTRICITY TRANSPORTATION

O.V. Ryabtsov, Ph.D., Associate Professor
Odesa Maritime Academy National University

***Abstract:** The article is devoted to the issue of the possibility of creating a new type of vessels for the transportation of electricity at a distance from the place of generation for end consumers.*

***Key words:** Electric power industry, marine and river transport, electric storage stations*

Протягом останніх 200 років однією з галузей техніки, що найбільш динамічно розвивається, була і залишається електроенергетика. Головною метою всіх попередніх етапів її розвитку було безперервне збільшення потужностей, що генеруються, і підвищення економічної ефективності споживачів. В даний час галузь орієнтована на розробку нових способів одержання енергії та вдосконалення вже існуючих енергетичних систем. Але деякі особливості сучасної енергетики залишалися без належного розвитку.

Одним з факторів, що істотно впливає на загальну ефективність світових енергосистем, є те, що місця, де виробляється електроенергія, та місця, де розташовуються її кінцеві споживачі, здебільшого знаходяться на значній відстані один від одного.

Найбільш поширеними є теплові електростанції, що працюють на вуглеводневому паливі, яке, у міру зростання попиту, доводиться видобувати у дедалі більш віддалених районах, що супроводжується постійним збільшенням вартості палива та витрат на його транспортування. Відповідно це призводить до безперервного зниження загальної ефективності енергосистем, що працюють на невідновлюваних джерелах енергії.

Не є винятком і сучасна альтернативна енергетика. Більшість моделей вітрогенераторів ефективно працюють лише при великих швидкостях вітру, що робить їхню установку доцільною в основному в прибережних районах, або в таких областях, де сильний вітер дме цілий рік. Сонячні електростанції, як фотогенераторні, так і теплоакумуляуючі, ефективно працюють лише при високої

щільності світлової енергії, що характерно, в основному, для пустель і високогір'я, звідки отримана енергія повинна транспортуватися до місць зосередження її споживачів.

Таким чином, очевидно, що існує проблема доставки енергії, тобто переміщення її на значну відстань із мінімальними витратами.

Традиційна передача електроенергії по дротам вирішує це лише у межах прийнятних витрат. До того ж, будь-який тип провідних ліній електропередач (ЛЕП) має свої особливості та недоліки, що стримують їх розвиток.

У той же час добре відомо, що найбільш економічним засобом переміщення є водний транспорт. За його використання витрати на транспортування вантажу, як і тоннах, і у об'ємних одиницях, є мінімальними проти інших видів наземного чи повітряного транспорту.

Цей фактор може виявитися вирішальним для застосування морського та річкового транспорту як одного з можливих способів переміщення електроенергії в «законсервованому вигляді» на великі відстані.

Цілком зрозуміло, що сучасний морський транспорт є досить складною розгалуженою техніко-економічною системою, охопленою величезною кількістю різноманітних зв'язків, що регулюється великою кількістю міжнародних та національних нормативних документів. Зміни у морській сфері донедавна відбувалися досить повільно. Проте, функціонування морського транспорту, як із найважливіших галузей світової економіки, визначається нині, переважно, принципами економічної доцільності. Тому, якщо вдасться довести на практиці позитивну ефективність перевезення електроенергії водним шляхом, то, можливо, незабаром судна-перевізники електроенергії (E-carriers) стануть поряд з танкерами та газовозами.

Можна запропонувати досить багато варіантів розв'язання цієї технічної задачі. Вочевидь, що перевезення «вантажу електроенергії» у вигляді великої кількості заряджених окремих акумуляторів (типу традиційних автомобільних) виявиться економічно не вигідним через невеликі питомі ємності та високу вартість таких АКБ. Можливо, ефективнішим рішенням буде використання невеликих несамохідних барж-ліхтерів, переобладнаних під плавучі електроакумуляуючі станції. Одна або кілька таких станцій можуть бути доставлені ліхтеровозом та пришвартовані біля узбережжя, наприклад, у порту великого міста. Така станція може бути використана як резервне джерело живлення або буферний акумулятор для компенсації добових коливань міського енергоспоживання. Перетворення виду енергії, що перевозиться, з постійного струму в змінний необхідної частоти може здійснюватися як електронними перетворювачами частоти, так і реверсивними електромеханічними агрегатами «двигун/генератор постійного струму - генератор/двигун змінного струму», синхронно працюючими в паралель.

Зрозуміло, що при використанні плавучих електроакумуляуючих станцій слід врахувати всі фактори техногенних ризиків і передбачити всі можливі заходи запобігання забруднення водних басейнів хімічно активними речовинами,

що перевозяться. Можливо, вдасться використовувати вже готові сталеві корпуси типу double bottom, в яких краще розміщувати лужні акумулятори, оскільки, як відомо з хімії, залізо спочатку реагує з розчином лугу, але покривається плівкою гідроксиду, який гальмує подальшу реакцію. Можливо, ще більш економічним та надійним рішенням буде виготовлення корпусів плавучих станцій з пластику.

Крім того, в даний час існує досить великий парк морських суден, обладнання яких технічно зношене або морально застаріло, корпуси яких досить легко поділити на відсіки та переобладнати під акумуляторні станції надвеликої ємності для трансконтинентальних перевезень енергії в місця її гострої нестачі.

Якщо при цьому живлення пропульсивних приладів таких суден здійснювати від альтернативних джерел енергії, ефективність запропонованої інновації досить швидко проявиться на практиці.

Підсумовуючи сказане вище, можна припустити, що в найближчому майбутньому дослідження в даній галузі повинні визначити найбільш ефективні конструкції та хімічні структури «вантажних акумуляторів», які повинні бути ємними, безпечними та надійними, з тим, щоб економічно ефективно перевозити електроенергію високої щільності на великі відстані. мінімальними втратами.

УДК 621.391.6

ОПТИЧНА КОМУТАЦІЯ СИГНАЛІВ В СУДНОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

О. В. Рябцов, к.т.н., доцент

Д. Д. Дмухайлов, курсант

Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:** У роботі розглянуто можливість використання оптичних приладів, керованих оптичними сигналами, у якості базових елементів структури повністю оптичних комутаторів для оптичних каналів зв'язку у суднових інформаційних системах.*

***Ключові слова:** суднові інформаційні системи, повністю оптичні комутатори, оптичні прилади, керуючі оптичні сигнали.*

OPTICAL SWITCHING OF SIGNALS IN SHIP'S INFORMATION SYSTEMS

O.V. Ryabtsov, Ph.D., Associate professor

D.D. Dmukhailov, cadet

National University «Odesa Maritime Academy»

***Abstract:** The paper is considered to the possibility of using optical devices controlled by optical signals as basic elements of the structure of all-optical switches for optical communication channels in ship's information systems.*

***Keywords:** ship's information systems, fully optical switches, optical devices, optical control signals.*

З огляду на зростаючі вимоги до економічності морських перевезень, основним питанням стає підвищення ефективності та надійності суднових інтегрованих систем, і зокрема системних каналів обміну інформацією.

Поступове збільшення лінійних розмірів сучасних суден призвело до значного збільшення довжини ліній зв'язку між блоками розподілених суднових систем управління, а безперервне збільшення потужностей сучасного електрообладнання, що застосовується на суднах, збільшує вплив усіх видів електромагнітних перешкод і наведень на інформаційні сигнали, що передаються по лініях зв'язку впродовж усіх приміщень судна.

Повсюдне і повсякденне використання суднових автоматизованих систем управління викликає необхідність акцентувати увагу на питаннях підвищення стійкості систем до різноманітних перешкод під час передачі великих обсягів інформації між судовими системами. Енергоозброєність сучасних суден може досягати декількох кіловат на тонну водотоннажності, при цьому рівень електромагнітних перешкод у лініях зв'язку може перевищити сотні мілівольт. На цьому етапі традиційні методи захисту від перешкод стають неефективними. Тому підвищення стійкості ліній зв'язку суднових систем до електромагнітних перешкод стає одним із головних завдань.

Вирішити цю проблему дозволяє використання на суднах волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ), які забезпечують швидку передачу великих обсягів даних, надійність, довговічність, а найважливіше мають високу захищеність від зовнішніх електромагнітних перешкод. Використання ВОЛЗ, теоретично, дозволяє повністю виключити вплив суднових електромагнітних перешкод на передану інформацію завдяки тому, що діапазони частот оптичних інформаційних сигналів та електромагнітних перешкод не збігаються. ВОЛЗ вже широко застосовуються на великих судах для забезпечення магістрального обміну інформацією між мостиком та машинним відділенням.

Більшість комутованих оптичних систем передачі виконуються за гібридним принципом. Цей принцип включає волоконно-оптичні канали і оптико-електронно-оптичні (ОЕО) комутатори.

ОЕО-комутатори приймають вхідні сигнали у оптичному вигляді, перетворюють їх на електричні сигнали, та здійснюють процес комутації за допомогою електронних компонентів. Потім вихідні електричні сигнали ОЕО комутатора перетворюються його електронними елементами знову на оптичні сигнали.

Однак при двократному перетворенні сигналу (з оптичного в електричний і назад), він завжди частково спотворюється, тому при передачі в системі неминуче відбудеться втрата інформації. Найліпше рішення проблеми полягає у використанні повністю оптичних комутаторів (ПОК). ПОК отримують світлові імпульси з вхідних оптоволоконних кабелів і перенаправляють їх на потрібний вихід за допомогою дефлекторів, які відхиляють світловий потік без перетворення оптичних сигналів в електричні.

Основним недоліком усіх відомих ПОК є використання електричних керуючих сигналів для зміни оптичних властивостей комутатора, які визначають траєкторію оптичного променя в ньому.

В наш час постійно відбуваються розробки нових оптичних технологій, і це дозволяє сподіватися на швидке рішення цього питання. Наприклад, дослідники з Georgia Institute of Technology та NASA Ames Research Center, мають певні обнадіюючі результати у створенні оптично керованих елементів, параметри яких змінюються під впливом специфічного лазерного випромінювання. Можна припустити, що найближчим часом з'являться оптично керовані дзеркала зі змінною відбиваючою здатністю.

У роботі [1] автори запропонували новий підхід до побудови оптично керованих ПОК, якій базується на використанні «трансфлекторів». Трансфлектор - це термін, використаний авторами для позначення такого типу модуляторів, оптичні властивості яких можуть змінюватися під дією зовнішнього керуючого оптичного проміння від повної прозорості до дзеркального відображення.

Властивості одиничного трансфлектора, як основі базового елемента (БЕ) для побудови структури ПОК, вже були розглянуті у [1]. Але доцільно їх нагадати тут ще раз.

Даний БЕ, представлений на рисунку 1, являє собою симетричну структуру з чотирьох відрізків світловодів, що взаємно перетинаються, де в точці перетину розміщений трансфлектор. В даному БЕ два з чотирьох відрізків світловодів використовуються, як входи оптичного комутатора, а два інших, відповідно, як виходи. Оптичне з'єднання світловодів із робочими поверхнями трансфлектора на рисунку показано умовно, для оптичного узгодження елементів системи можна скористатися відомими засобами: імерсійними рідинами або градієнтними мікролінзами. Для забезпечення малих оптичних втрат у комутаторі можна також використовувати спеціальні коліматори, або виконати трансфлектор у вигляді елемента, що вбудовано в матеріалі оптоволокна.

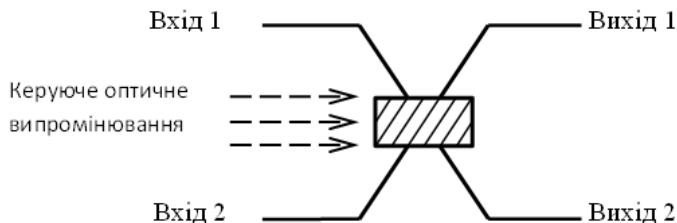


Рисунок 1 – Одиничний трансфлектор

Пояснення роботи трансфлектора дано на рисунку 2, де показано, що він може приймати два стану: прозорий (зображений у вигляді білого прямокутника), та віддзеркалюючий (у вигляді чорного прямокутника). У про-

зором стані трансфлектор пропускає вхідний оптичний сигнал наскрізь (хід 1-2 на рис.2). А у другому стані він віддзеркалює сигнал від поверхні на вихід 2 (хід 1-1 на рис.2)

Основні переваги ПОК такого типу полягають у простоті масштабування комутатора (тобто нарощуванні його розрядності без застосування додаткових пристроїв) та забезпеченні властивості неблокованості (тобто можливості забезпечення нових комутаційних з'єднань без розриву вже встановлених) [2].

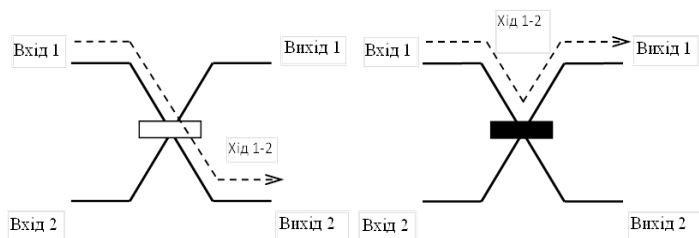


Рисунок 2 – Принцип дії базового елемента ПОК

Використання трансфлекторів дозволяє будувати ПОК з великою розмірністю і при цьому зменшити кількість елементів комутації, що використовуються. Додаючи в структуру комутатора нові трансфлектори, і розташовуючи їх у вузлах перетинів оптичних світловодів, легко побудувати при необхідності комутатори з розрядністю 3×3 , 4×4 , 5×5 , 6×6 і так далі.

Покажемо, що можна побудувати повністю неблокований оптичний комутатор, використовуючи попарне з'єднання трансфлекторів, як зображено на рис.3. Нагадаємо, що комутатор називається строго неблокуючим, якщо для будь-якої вільної пари входних-вихідних полюсів і за будь-яких попередньо встановлених з'єднань інших пар полюсів завжди можна побудувати з'єднання, не перебудовуючи (не розриваючи) вже існуючі з'єднання.

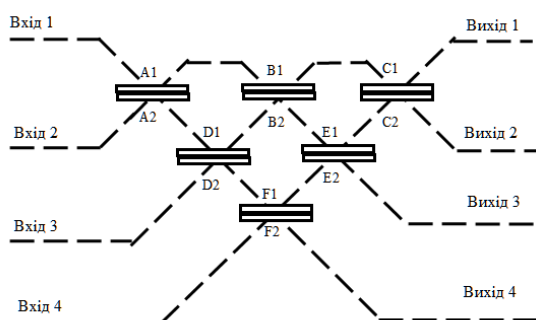


Рисунок 3 – ПОК з розмірністю 4×4

Як видно з рис.3 взаємно-протилежне попарне поєднання кожних з двох трансфлекторів дозволяє отримати вже не 2, а 4 оптичних хода (по кількості можливих траєкторій оптичних сигналів, які проходять скрізь чи віддзеркалюються від кожної з двох поверхонь цих поєднаних трансфлекторів). Припустимо, що в ПОК вже встановлено з'єднання між Входом 1 та Виходом 1, і для цього верхні трансфлектори першого рядку (A1, B1, C1) переведені в віддзеркалюючий стан. Методом перебору варіантів можна довести, що існує можливість встановлення з'єднання між будь-якою іншою парою Вхід X - Вихід Y без розриву вже встановленого з'єднання Вхід 1-Вихід 1. Причому у більшості варіантів таких можливих шляхів для нових з'єднань більш ніж один.

Аналогічний аналіз можна провести для ПОК з розмірністю 5×5 , 6×6 , та більших. Таким чином, очевидно, що ПОК на основі трансфлекторів є неблокуючим комутатором.

Підводячи підсумок, можна стверджувати, що використання базових елементів на основі оптично керованих трансфлекторів дає можливість створення повністю оптичних комутаторів будь-якої необхідної розмірності. Скоріше за все, швидкодія таких оптично керованих пристроїв набагато перевищуватиме швидкодію всіх відомих оптичних комутаторів з електричним управлінням, що дозволить впритул наблизитися до теоретичної межі пропускної спроможності оптоволоконних систем передачі інформації [3].

ЛІТЕРАТУРА

1. Гайворонська Г.С., Рябцов А.В. Феноменологічна модель повністю оптичного комутатора з оптичною адресацією // Вісник ДУІКТ, 2012. – №1. - С. 50-54
2. Гайворонська Г.С., Рябцов А.В. Проблема побудови повністю оптичних мереж // Збірник тез VI МНТК «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології». – Київ. - 2010. - С.33
3. Фріман Р. Волоконно-оптичні системи зв'язку. М: Техносфера. 2003.

Секція 2. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

УДК 629.5-523 (045)

АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

С. Ф. Самонов, к.т.н., доцент

В.О. Дубовик, ст. викладач

А.А. Кульбацький, к.т.н., ст. викладач

Г. В. Смазнова, зав. лабораторіями

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Незважаючи на обширні теоретичні дослідження проблем діагностування, методики контролю технічного стану і відповідні технічні засоби суднових електрогідравлічних пристроїв ще не розроблені на достатньому рівні. Регулярне оцінювання технічного стану і своєчасне відновлення працездатності таких суднових пристроїв як: кермовий, якірно-швартовий, вантажопідіймний – забезпечує зниження інтенсивності відмов та експлуатаційних втрат. Розглянуті приклади автоматизованих систем діагностування рульового електрогідравлічного приводу фірми Rolls-Royce і комплексу вантажопідіймного крану фірми MacGregor.

Ключові слова: автоматизація, система діагностики, електрогідравлічні пристрої, технічний стан, оператор, інтерфейс.

AUTOMATED MONITORING OF A SHIP'S ELECTROHYDRAULIC APPLIANCES TECHNICAL CONDITION

S. Samonov, Ph.D., Associate Professor

V. Dubovyk, Senior Lecturer

A. Kulbatsky, Ph. Dr, Senior Lecturer

G. Smaznova, Ch. Laboratories

National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract: Despite extensive theoretical studies of Ch. Laboratories diagnostic problems, methods for monitoring the technical condition and the corresponding technical means of ship's electrohydraulic appliances have not been developed at a sufficient level. Regular assessment of the technical condition and operability timely restoration of such ship devices as: steering, anchor-mooring, cargo-lifting – reduces the intensity of failures and operational losses. Examples of automated diagnostic systems for the Rolls-Royce steering electro-hydraulic drive and the MacGregor cargo crane complex are considered.

Key-words: automation, diagnostic system, electrohydraulic appliance, technical condition, operator, interface.

Регулярне оцінювання технічного стану і своєчасне відновлення працездатності таких суднових пристроїв як: кермовий, якірно-швартовий, вантажопідіймний – знаходиться в прямій залежності від оснащення їх технічними засобами діагностування (ТЗД) і забезпечує зниження інтенсивності дефектів та експлуатаційних втрат [1].

Незважаючи на обширні теоретичні дослідження проблем діагностування, методики автоматизованого контролю технічного стану (КТС) і ТЗД суднових електрогідравлічних пристроїв не розроблені на достатньому рівні. Подекуди

діагностування обмежується моніторингом стану елементів і декількох параметрів, виводом контрольних точок в інформаційній частині, здійсненням перевірок в ручному режимі, що потребує високої кваліфікації обслуговуючого персоналу і витрат часу. Існуючі пристрої тестового і функціонального діагностування використовуються для окремих частин або блоків обладнання, а не для пристрою в цілому. Для пошуку дефектів виробники надають таблиці (діагностичні словники, набори кодів, списки дій) найбільш вірогідних дефектів з рекомендаціями по їх усуненню, що не вирішує проблему в цілому.

Тому розробку і впровадження розвинутих автоматизованих ТЗД для перелічених та подібних судових пристроїв слід вважати актуальними.

Розглянемо один з варіантів реалізації та поліпшення системи діагностування, на прикладі відповідального електрогідравлічного приводу керма судна. До складу такого приводу, що розроблений компанією Rolls-Royce, входить електрогідравлічна рульова машина (РМ) з лопатним актуатором і насосними агрегатами [2]. Гідравлічна частина РМ може бути виконана як з нереверсивними насосами, що працюють з постійною частотою обертання, і гідравлічними маніпуляторами з соленоїдними клапанами, так і з реверсивними електроприводними насосами, електродвигуни яких живляться від перетворювачів частоти. Особливістю електрогідравлічного приводу керма є наявність інтегрованої системи діагностування, яка в ранніх варіантах виконання забезпечувала вахтовому і обслуговуючому персоналу видачу сигналів тривоги згідно з правилами Регістру та додаткових специфічних сигналів в залежності від конфігурації СУ. Для індикації сигналів тривоги використовується пульта панель (alarm panel) зі світлодіодними індикаторами стану і пояснюючими надписами.

З накопиченням досвіду експлуатації в систему діагностики додатково були введені показники: несправність системи управління приводом по ряду дефектів, несправність електричних кіл соленоїдних клапанів гідравлічного маніпулятора, високий перепад тиску в фільтрі та висока температура робочої рідини, в деяких варіантах системи додатково – зниження опору ізоляції обладнання і таке інше.

В подальшому виробник приводу значно вдосконалив систему шляхом впровадження компонентів моніторингу рухів актуатору з накопиченням і обробкою даних по швидкості перекладань керма [3]. Визначення ситуації, що призводить до виходу з ладу рульового механізму, здійснюється порівнянням за кількома критеріями поточних параметрів з параметрами, які отримані при налаштуванні для повністю справного приводу. Таким чином, видача сигналів тривоги системою діагностики супроводжується деталізацією причин, що призвели до відхилення контрольованих параметрів за встановлені межі, з розшифровкою їх змісту за допомогою окремого набору світлодіодних індикаторів (рис.1). До функцій моніторингу також відноситься виявлення системою ситуації, коли актуатор не реагує на команду на перекладання керма від системи управління, тобто - гідравлічного блокування актуатору.

Слід зазначити, що поряд з активацією сигналів тривоги, що пов'язані з відмовами електрогідравлічного рульового приводу, система діагностики дозволяє оператору стежити за зміною рівню його технічного стану в період експлуатації і своєчасно вживати заходів щодо відновлення надійності.



Рисунок 1 - Інтерфейс системи діагностики з оператором

Іншим прикладом розвинутого автоматизованого діагностування електрогідравлічного комплексу є система, що реалізована в суднових кранах фірми MacGregor моделі GLB [4]. Функції діагностики технічного стану та дефектів комплексу здійснюються мікропроцесорною системою управління CC3000,

яка отримує інформацію з периферійних та внутрішніх датчиків.

Інтерфейс з оператором виконаний в вигляді панелі в кабіні крану з оптичними індикаторами звичайного для вантажопідйомних пристроїв набору тривоги, таких як: перевантаження при підйомі вантажу; спрацьовування кінцевих вимикачів кожного з рухів крану і таке інше. Додатково на панель виведені два індикатори узагальнених тривоги: «робота заборонена» та «несправність системи управління». Перша з них активується після пуску двигуна під час підготовки до роботи гідравлічної системи та самодіагностики мікропроцесорної частини. Друга - активується за різними причинами, ознаки яких сприймаються мікропроцесорною частиною, і призводить до припинення роботи крану. Для визначення таких ознак призначений додатковий інтерфейс на лицевих панелях чотирьох електронних карт в окремому боксі електричного обладнання (рис. 2).

Стан та взаємодія електричних, електронних і програмних компонентів, відмови у вигляді помилок (error) і їхні послідовності відображаються світлодіодними індикаторами та у вигляді кодів на дисплеї в нижній частині кожної карти. Процедури отримання і розшифровка кодів надаються в документації виробника та дозволяють підготовленому судновому або береговому персоналу знаходити і виправляти дефекти або зорієнтуватись у напрямку їхнього пошуку.

На шляху подальшого розвитку системи діагностування фірма – виробник оснащує крани додатковим дисплеєм і програмним забезпеченням для побудови інтерфейсу, який дозволяє: обирати режим відображення інформації, відслідковувати в реальному часі параметри технологічних процесів, проводити тестування і налаштування, отримувати текстову інформацію відносно спрацьовування захистів, попереджень і появ збоїв та дефектів (рис. 3).

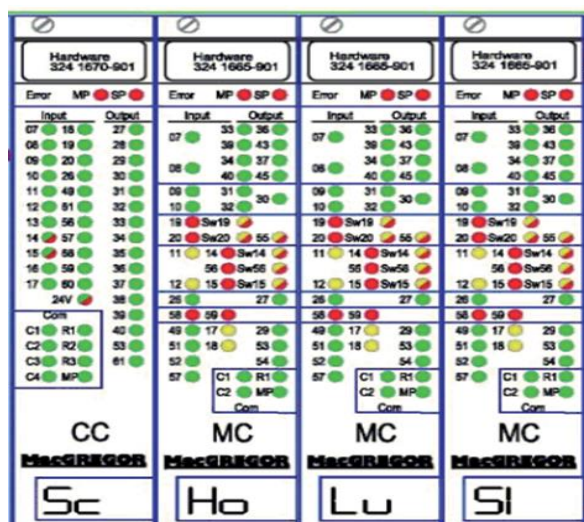


Рисунок 2 - Мікропроцесорна система управління CC3000 з діагностичним інтерфейсом

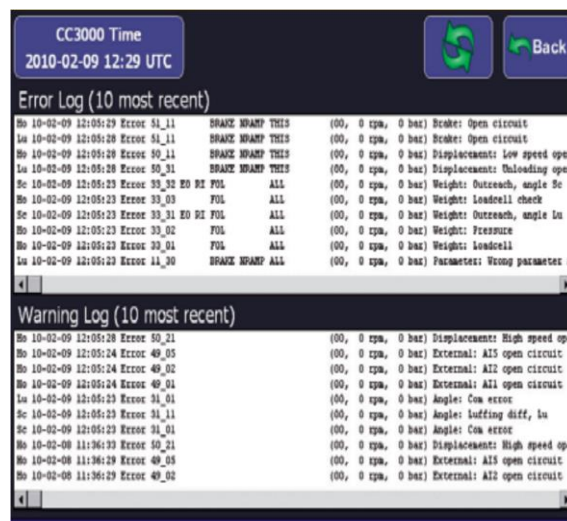


Рисунок 3 - Вигляд протоколу системи діагностики крану

Висновки.

Розглянуті недоліки визначення показників технічного стану відповідальних суднових пристроїв.

На прикладах сучасних суднових електрогідравлічних пристроїв показані шляхи розвитку автоматизованих систем діагностики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Калявін В.П., Мозгалецький А.В., Галка В.Л. Надійність і технічна діагностика суднового електрообладнання та автоматики. - Л.: Елмор, 1996. - 246 с.
2. Самонов С.Ф., Дубовик В.А. Вдосконалення моніторингу суднового стернового електропривода з перетворювачем частоти фірми «Роллс-Ройс». Матеріали науково-методичної конференції «Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки, 15.12.17 – 16.12.17. – Одеса: НУ ОМА, 2017. – с. 60.
3. www.rolls-royce.com
4. www.macgregor.com

УДК 621.33

ВАЛОВИЙ ГЕНЕРАТОР-ДВИГУН З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

О.С. Швидкий, студент
В.В. Бушер, д.т.н., професор
Ду Сін, аспірант

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: розглянуто принцип роботи валового генератора в судновій високовольтній електроенергетичній установці та підвищення ефективності роботи пропульсивної установки за рахунок використання валового генератора в режимі двигуна.

Ключові слова: Валовий генератор-двигун, широтна-імпульсна модуляція, конвертор, компенсація реактивного струму, центральний процесор.

SHAFT GENERATOR MOTOR WITH LOW VOLTAGE PULSE WIDTH MODULATION

O. Shvydkyi, Student

V. Busher, Dr. of Science, Professor

Ду Сінь, Post graduate student

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: the article is about principle of the shaft generator, used in the high voltage ship electrical system and increasing efficiency of the main propulsion system using the shaft generator in the motor mode.

Key words: Shaft generator/motor, Pulse width modulation, converter, reactive current compensation, central processing unit.

The low voltage SHAFT GENERATOR / MOTOR SYSTEM **SISHIP SGM LV** supplies the shaft with additional power (PTI mode) or operates as a shaft generator (PTO mode) within the main engine revolution range of 33 to 75 rpm.

Supply of reactive power into the grid is always possible, also when the main engine is not in operation or during booster operation (PTI mode).

The system is based on an adapted SINAMICS S120 converter. The described digital open- and closed-loop control is a part of the SGM system. The power section consists of the line connected converter (LCC), the motor connected converter (MCC) and the excitation converter (Exciter). All these converter parts are connected by the DC-voltage-link.

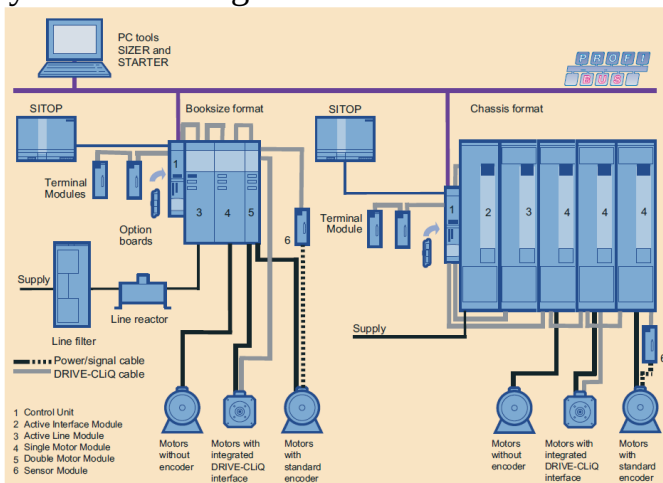


Figure 1 – SINAMICS S120 System overview

In generator operation (PTO mode), the LCC output frequency is adjusted by the internal controller to a value equal or above the grid frequency. The higher the output frequency is adjusted, the more power the converter supplies into the grid. The MCC ensures control of the intermediate DC link voltage and transfers the active power from the shaft line via the shaft machine and the MCC into the DC link. As the LCC output voltage amplitude is

kept constant, the grid is automatically supplied with the requested reactive power of the consumers. An implemented voltage droop function in the controller ensured proper reactive load sharing of the generators operation in parallel at the grid. Proper active load sharing is ensured by an implemented frequency droop function.

In booster operation (PTI mode), the internal controller to a value equal or below the grid frequency adjusts the LCC output frequency. The lower the output frequency is adjusted, the more power the converter feeds into the intermediate DC link and thus via the MCC and the shaft machine into the shaft line as additional propulsion power. By increasing the output, amplitude of the LCC additional reactive power can be supplied into the grid during booster operation.

If the main engine is not in operation or the main engine revolutions are below the minimum limit of generator or booster operation, the converter can still be operated to supply reactive load into the grid. This operation mode is called Reactive Current Compensation RCC. In pure RCC mode, only the LCC is in operation. MCC and Exciter are not in operation to avoid losses of the system. Communication between the converters and their common central processing unit (CU) is done by Drive CLiQ bus.

Between minimum and rated speed of the shaft machine the AC voltage of the machine will increase up to nominal voltage at rated speed. Thus, the power of the machine and of the entire system in this range increases from minimum power up to rated power, as the current is limited of the entire range up to rated current. Between rated speed and maximum speed of the shaft machine, the AC voltage of the machine will be constant (field weakening). Thus, the power of the machine and of the entire system in this range is constant at rated power, as the product of voltage and current is constant.

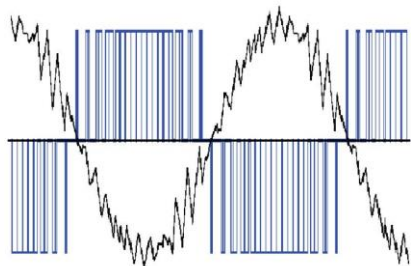


Figure 2 – Pulse width modulation

lution – PWM (figure 2).

For a proper sine wave voltage, filters smooth the AC voltage form and the modulation frequency is higher than for standard AFE solutions. The control adapts frequency and amplitude of the AC output voltage to the demands of the machine at the MCC and to the demands of the mains at the MCC.

The closed-loop control of this system is designed for Motor mode PTI operation and Generator mode PTO operation (figure 3).

Motor mode operation (PTI): In PTI mode the system acts like a slave drive receiving a torque set point. The torque set point can be set via up and down signals from the switchboard panel or from the PGS system. With steady signal the set point ramp function allows a run up from 0 – 100% within 20 seconds, same time as decreasing the set point from 100 – 0%. Further, it is possible to supply additional reactive current into the mains and to support the diesel generators to feed the mains with reactive load.

The set point for reactive current can be set via up and down signals from the switchboard panel or from the PGS system. With steady signal the set point ramp function allows a run up from 0 – 100% within 20 seconds, same time as decreasing

The excitation of the shaft machine will be adjusted according to load and speed requests.

The semiconductors used in the power section are Isolated Gate Bipolar Transistors (IGBT's). These devices are self-commutated and thus able to form an AC output voltage by switching on and off with variable time.

This procedure is called Pulse Width Modulation – PWM (figure 2).

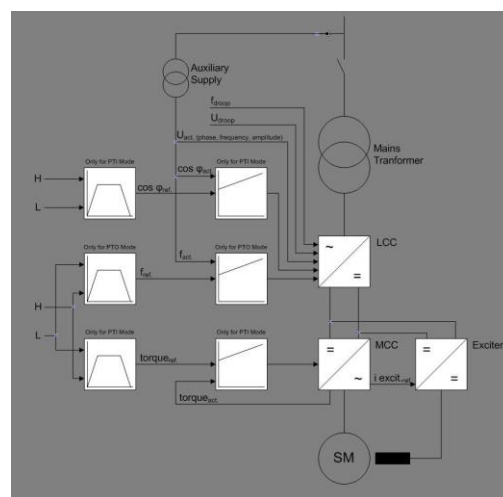


Figure 3 – Closed-loop control principle

the set point from 100 – 0%. The system monitors the reactive current and limits or decreases it automatically if necessary (for example due to higher demand of active current for boost operation).

Reactive Current Compensation (RCC): In RCC mode, the converter can still be operated to supply reactive load into the grid, even if the main engine is not in operation or the main engine revolutions are below the minimum limit of generator or booster operation. In this pure RCC mode, only the LCC is in operation. MCC and Exciter are not in operation to avoid losses of the system.

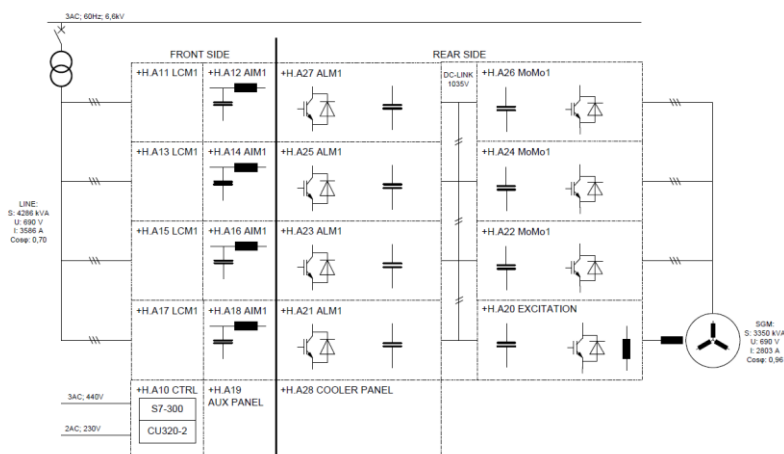


Figure 4 – SGM Single line diagram

Generator mode (PTO): In PTO mode the system acts like a Diesel engine receiving up and down signals for the speed set point (Frequency control with droop function). The speed (frequency) set point can be set via up and down signals from the switchboard panel or from the PGS system (For this the same hardwire signals

as for the torque set point from switchboard / PGS are used). For load, sharing with other generators the Frequency set point can be adjusted with these up and down signals. The droop Function of the frequency controller allows the active load sharing with other generators. As the LCC output voltage amplitude is kept constant, the grid is automatically supplied with the requested reactive power of the consumers. An implemented voltage droop function in the controller ensured proper reactive load sharing of the generators operation in parallel at the grid.

Conclusions. Since environmental legislations have been pressing the ship owners to minimize CO2 emission and increase efficiency, Shaft Generator is now the game changer. Once regarded as cost ineffective solution, Shaft Generator combined with SINAMICS S120 Liquid Cooled drive system can achieve efficiency level never seen before. The system provides flexibility to the vessel grid and propulsion power allowing the operator to easily handle different situations that one may face while operating the vessel.

REFERENCES

1. S. Nishikata, A. Odaka, Y. Koishikawa, T. Kataoka, "Performance Analysis of Shaft Generator Systems", Electrical Engineering in Japan, Vol. 131, No. 3, pp. 70-79, 2000.
2. D.A. Cooper, "Exhaust emissions from ships at berth", Atmospheric Environment, Vol. 37, Issue 27, September 2003.
3. SIEMENS Low Voltage Engineering manual Version 6.7 – June 2020, Supplement to Catalogs D 11 and D 21.3., pp. 18-36, 2020.
4. Manitoba HVDC Research Center, "PSCAD v4.1 User's Manual", July 2004.
5. B. Clegg, H.R. Griffiths, D.J. Hall, P.N. Tavner, "The Application of Drives and Generator Technology to a modern Container Ship", Proceedings of 9th International Conference on Electric Machines and Drives, IEE, pp. 312-316, 1999.

Секція 3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

УДК 621.314

ЯВИЩА ФЕРРОРЕЗОНАНСУ НА ОБ'ЄКТАХ МОРСЬКОЇ ІНДУСТРІЇ

С.Ф. Самонов, к.т.н, доцент

В.Б. Власов, асистент

В.О. Дубовик, ст. викладач

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. До складу суднових електроенергетичних систем змінного струму входять елементи та їхні групи з суттєво нелінійними електричними характеристиками, що в процесах перетворення енергії може спричиняти деструктивні явища резонансного характеру, такі як: самозбудження, електромагнітний або ферорезонанс. Аварія в електричній пропульсивній установці на пасажирському судні “Queen Mary” із зруйнуванням потужного фільтру гармонійних спотворень по всіх відзнаках викликана саме ферорезонансом. Розглянуті причини, види та режими ферорезонансу, моделі та конфігурації елементів, що схильні до ризику виникнення резонансних електромагнітних явищ.

Ключові слова: суднова електроенергетична система, моделі резонансних явищ, режими ферорезонансу.

FERRO-RESONANCE PHENOMENA AT MARINE INDUSTRY FACILITIES

S. Samonov, Ph.D., Associate Professor

V. Vlasov, Assistant

V. Dubovyk, Senior Lecturer

National University «Odesa Maritime Academy»

Annotation: Ship's Electrical Power Alternating Current Systems includes elements and their groups with significantly nonlinear electrical characteristics, which in energy conversion processes can cause destructive phenomena of a resonant nature, such as: self-excitation, electromagnetic or ferroresonance. The accident in the electric propulsive installation of these on the passenger ship "Queen Mary" with the destruction of a powerful filter of harmonic distortion for all insignia is caused precisely by ferroresonance. The causes, types and modes of ferroresonance, models and configurations of elements that are at risk of resonant electromagnetic phenomena are considered.

Key-words: ship electric power system, resonance phenomena models, ferroresonance modes

Для захисту систем електропостачання морських суден використовується апаратура, що дозволяє знижувати амплітудні значення струмів і напруги до допустимих значень. Застосовування деяких засобів запобігання силового деструктивного впливу на системи електроживлення може спричинити небажані резонансні процеси в елементах системи.

Електричні машини, реактори та трансформатори побудовані з феромагнітних матеріалів. Нелінійні характеристики таких матеріалів, як насичення та гістерезис, можуть викликати явища ферорезонансу, самозбудження або електромагнітних резонансів, особливо у комплексі енергосистеми, що складається з значної кількості таких споживачів.

Найбільшим «феноменом» з тих явищ є ферорезонанс – нелінійний резонанс, який може виникати в електричних колах в умовах наявності в контурі ємності та нелінійної індуктивності. Головна особливість ферорезонансу – можливість виникнення в одному і тому ж колі при різноманітних його режимах в відгук на різноманітні збурення. Матеріал магнітопроводу індуктивного елемента, є причиною нелінійної реакції індуктивності на магнітне поле.

Ферорезонанс напруги виникає при послідовному з'єднанні ємності та індуктивності, а ферорезонанс струмів - при паралельному з'єднанні ємності та індуктивності. В розгалужених системах зі складними схемами зустрічаються більш складні випадки ферорезонансу.

Режими ферорезонансу: основний - напруги і струми з періодом системи; субгармонійний - напруги і струми з періодами, кратними періоду системи. Зустрічаються також квазіперіодичний і хаотичний режими.

Характер практично виникаючого режиму залежить від початкових умов та параметрів системи. Ферорезонанс може виникати в суднових колах електроенергетики як деструктивне явище, що може привести до серйозних аварій обладнання.

Аварія в схемі живлення пропульсивної установки на англійському пасажирському електроході “Queen Mary” по всім відзнакам викликана саме ферорезонансом. Часті виходи з ладу та несправності тормозних пристроїв на багатьох судах також можуть вірогідно бути викликані саме цим явищем.

Найбільш небажані режими з періодом системи, а також субгармонійні режими на $1/3$ и $1/5$ частоти. Значне число аварій на електроенергетичних об'єктах морської індустрії з неустановленими причинами об'ясняють ферорезонансом.

Точно спрогнозувати ферорезонанс у конкретних ситуаціях дуже складно, тому що це явище демонструє хаотичну поведінку, але ризик виникнення ферорезонансу необхідно враховувати на етапі проектування суднових енергосистем, їх обслуговуванні чи модернізації. Контроль ризиків вимагає знання небезпечних конфігурацій та умови виникнення цього явища.

Декілька прикладів явищ, які можуть викликати ферорезонанс:

- перемикання конденсаторів;
- дефекти ізоляції;
- блискавка;
- перемикання трансформатора.

Декілька конфігурацій, схильних до ризику, що потребують особливої уваги:

- трансформатор напруги (VT) між фазою та землею ізольованої нейтралі системи живлення;
- довгі та/або ємнісні кабелі або лінії, що живлять трансформатор;
- захист плавким запобіжником, коли перегорання призводить до небагатополюсного розриву;

- ненавантажений або злегка навантажений трансформатор напруги або потужності;

- трансформатор напруги, що працює на межі насичення;

- надпотужний трансформатор напруги.

Найбільш вірогідна на практиці причина ферорезонансу в згаданих вище об'єктах – незаземлена (ізолювана) нейтраль в умовах з неповно фазним режимом. Неповно фазний режим може виникати при неповно фазному включенні, при розриві однієї з фаз, або при несиметричному короткому замиканні.

На наш погляд ферорезонанс на об'єктах морської індустрії полягає більш поглибленому вивченню. Бажано провести також виважені експериментальні дослідження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cunyi, Y., Nit, P., Preecha, S., Pradit, F., Arwut, T. Ferroresonance Overvoltages and its Mitigation in PEA Distribution Network. [cit. 2005-06-27].
[online] http://ee.eng.dpu.ac.th/EE_site_data/research paper/PW-34.pdf, 19. 01. 2005
2. Кононов Б.Т., Кононова Е.А., Мушаров А.А. Феррорезонанс в электрических сетях с поперечной и продольной компенсацией потерь напряжения // Збірник наукових праць ХУПС, вип. 1(30). – 2012. – С. 144-146.
3. Теоретические основы электротехники / Под ред. Г.И. Атабекова, ч. 2 и 3. Нелинейные цепи. Электро-магнитное поле. – М. – Л., Энергия, 1966. – 280 с.
4. Кононов Б.Т. Феррорезонанс в электрических цепях с различными схемами соединения активного сопротивления, емкости и катушки с ферромагнитным сердечником / Б.Т. Кононов, А.А. Мушаров // Збірник наукових праць ХУПС, вип. 2 (31). – 2012. – С.110-114.
5. Ferracci, Ph. Ferroresonance. Application Note, [online] Cahier Technique Merlin Gerin no. 190, 1998. http://www.schneider-electric.com/cahier_technique/en/pdf/ect190.pdf, 08.12. 2004

Секція 4. СУЧАСНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, КОМПОНЕНТИ ТА ДІАГНОСТИКА

УДК 62-83.621.01

ПИТАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА ПОРТУ ІЗМАЇЛ

А. І. Шестака¹, ст. викладач

Л. В. Мельнікова², к.т.н., доцент

¹Національний університет «Одеська морська академія»

²Національний університет «Одеська політехніка»

Анотація: Розглянуто модернізацію електроприводу механізму повороту портального крана «Сокол», яка є актуальною і потрібна для забезпечення безперебійної роботи порту Ізмаїл. Проведено аналіз роботи механізму повороту з метою з'ясування причин відмов при існуючій схемі управління. Обґрунтовано необхідність розробки нової схеми керування механізмом повороту з урахуванням недоліків попередньої, яка ускладнювала роботу крана. Запропоновано основні налаштування частотно-регульованого електропривода для реалізації цієї схеми та перевірена правильність запропонованого технічного рішення моделюванням.

Ключові слова: портальний кран, механізм повороту, дводвигуновий електропривод, частотно-керований електропривод.

THE ISSUE OF MODERNIZATION OF THE PORT CRANE OF THE PORT OF ISMAIL

A. Shestaka¹, Senior lecturer

L. Melnikova², Ph.D., Associate Professor

¹National University «Odessa Maritime Academy»

²Odessa Polytechnic National University

Abstract: The modernization of the electric drive of the turning mechanism of the "Sokol" gantry crane is considered. It is relevant and necessary to ensure uninterrupted operation of the Izmail port. An analysis of the operation of the turning mechanism was carried out in order to find out the reasons for failures with the existing control scheme. The need to develop a new control scheme for the turning mechanism, taking into account the shortcomings of the previous one, which complicated the operation of the crane, is substantiated. The basic settings of the frequency-regulated electric drive for the implementation of this scheme are proposed, and the correctness of the proposed technical solution is verified by modeling.

Key words: portal crane, turning mechanism, two-motor electric drive, variable frequency drive.

У теперішній час портальні крани залишаються основним обладнанням причалів універсального призначення. За допомогою портальних кранів перевантажується майже половина усіх вантажів портів. Ринок вантажоперевезень сьогодні характеризується динамічним зростанням. При великих обсягах вантажно-розвантажувальних робіт велике значення набувають надійність і безвідмовність роботи ПТО. Високі вимоги застосовуються як до металоконструкції крана, так і до його електроприводу і систем управління. Одним з напрямків цієї діяльності є модернізація існуючого електрообладнання з метою забезпечення ефективності проведення вантажно-розвантажувальних робіт в портах.

Так, в порту Ізмаїл, була проведена модернізація крану «Сокол», якій мав контакторну апаратуру керування, а електроприводи механізмів були виконані на основі асинхронних електродвигунів з фазним ротором. Була проведена модернізація електроприводів механізмів повороту, механізму зміни вильоту стріли та механізму пересування порталу шляхом заміни релейно-контакторного керування на частотне керування. Була застосована схема: один перетворювач частоти на два електродвигуни механізму зміни вильоту стріли та один перетворювач частоти на два електродвигуни механізму повороту [7]. Після запуску крана в роботу були надані високі оцінки проведеної модернізації. Деякий час модернізовані механізми працювали без нарікань. Механізм зміни вильоту стріли та механізм пересування порталу з моменту модернізації працюють дотепер. Але при подальшій експлуатації механізму повороту крана стали відбуватися відключення перетворювача частоти, і чим дедалі тім частіше. Були зроблені спроби переналаштування частотного перетворювача, але марно. Відмови виникали все частіше кранівники нервувалися, робота механізму повороту іноді не виповідала командам операторів, що могло привести до жахливих наслідків. Намагання модернізувати електропривод повороту зазнали невдач, тому ця проблема потребує більш глибокого дослідження, яке і було зроблено в цієї роботі.

Динамічні навантаження для механізмів горизонтального переміщення мають переважну роль, бо їх двигун працює значну долю циклу у перехідних режимах, особливо це відноситься до механізмів повороту, характерними відносно великими моментами інерції працюючого органу – поворотної колони.

Для аналізу динамічних навантажень взагалі зручно розглянути типову розрахункову схему двомасової механічної частини кранових механізмів (рис.1), де всі величини зведені до обертального руху валу двигуна [1].

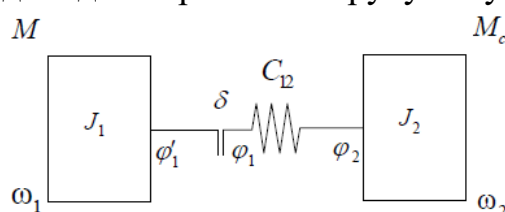


Рисунок 1 – Розрахункова схема двомасової механічної частини механізму повороту

Тут узагальненими координатами вважаються кути повороту мас з моментом інерції J_1 (ротор двигуна) – ϕ'_1 та J_2 (поворотна колона) – ϕ_2 , їх похідні – кутові швидкості ω_1 та ω_2 ; C_{12} – коефіцієнт жорсткості передачі вал-шестерні механізму повороту. До зовнішніх впливів відносяться момент, що розвиває двигун, M та момент статичного навантаження M_c . Крім того, тут показаний еквівалентний зазор у зубчастих передачах механізму повороту δ , саме тому кут повороту валу двигуна ϕ'_1 не рівний куту ϕ_1 – куту повороту тихохідного валу редуктора. Для механізмів з великими моментами інерції робочого органу J_2 дуже важливо дослідити явища, що проявляються при наявності зазору. Це має велике значення для режимів пуску, гальмування та реверсу таких механізмів.

Для аналізу роботи механізму повороту, розглянемо кінематичну схему механізму повороту на рис.2. Два двигуни D1 і D2, що жорстко закріплені на колоні крана, обертаючись в одному напрямку зі швидкістю $\omega_{\text{дв}}$ через зубчастий вінець приводять у рух поворотну колону крана, а разом із нею – стрілу, вантажний пристрій та вантаж.

Швидкість $\omega_{\text{пк}}$ поворотної колони визначається передаточним числом пари «зубчастий вінець – шестерня» редуктора механізму повороту. Очевидно, що двигуни D1 і D2 обертаються з однаковими швидкостями: $\omega_{D1} = \omega_{D2}$ оскільки, крім іншого, це обумовлено механічною конструкцією: поворотна колона має певну швидкість обертання, яка через рівні передаточні числа пар «трансляються» на вал редуктора механізму повороту.

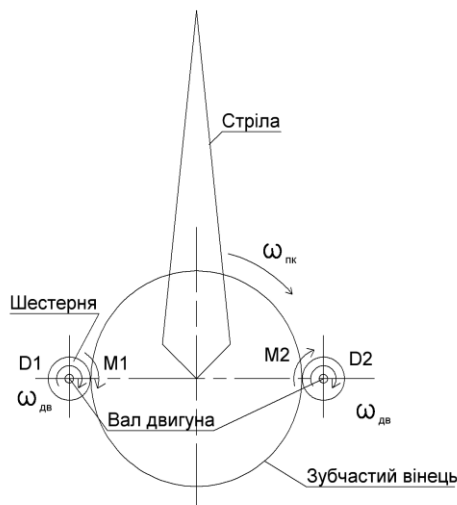


Рисунок 2 – Кінематична схема механізму повороту крана

При цьому моменти на валах двигунів, в загальному випадку не є однаковими. Цьому є кілька причин:

1. Неабсолютна однаковість обмоток двигунів (активний опір, індуктивність статора), параметрів магнітного поля та повітряного зазору приводять до того, що двигуни однієї моделі мають різну жорсткість природної електромеханічної характеристики.

2. Характеристики пар шестерня – зубчастий вінець зовні необов'язково є однаковими. Тому навантаження на валах двигунів будуть різними.

3. Люфти в передачах є причиною того, що одна із шестерень входить у зачеплення із

зубчастим вінцем раніше за іншу, і її двигун приймає на себе повний момент навантаження M_{Σ} , тобто до моменту повного вибору зазору другою шестернею він працює з подвійним моментом навантаження.

Розглянемо можливі технічні методи усунення нерівномірного навантаження двигунів механізму повороту, викликаного різними механічними характеристиками двигунів. Електродвигуни одного робочого органу механізму об'єднані між собою жорстким зв'язком (зубчастий вінець порталу). Особливістю такого об'єднання є однакове і одночасне керування двигунами робочого органу. При об'єднанні кількох двигунів на одне навантаження швидкість всіх двигунів буде однаковою, а момент повинен розподілятися рівномірно між усіма двигунами. Застосування декількох двигунів, об'єднаних на одне навантаження, дозволяє використовувати електродвигуни меншої потужності і менших габаритів, ніж в разі застосування одного двигуна, зменшити сумарний момент інерції і навантаження на зубчасті передачі та інші елементи конструкції, а також спростити кінематичні зв'язки механізму.

В результаті такого управління розбіжності в моментах двигунів принципово зменшуються і не перевищують (синя крива – різниця моментів на валах

двигунів) 15 Нм, що складає $0,05M_{\text{ном}}$ (рис.3) Таким чином, результати моделювання підтвердили і правильність, і ефективність обраного технічного рішення [2].

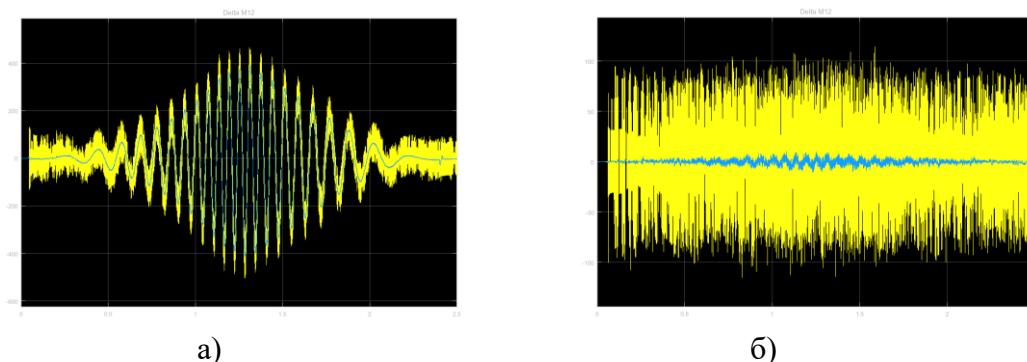


Рисунок 3 – Крива розбіжностей моментів двигунів при
а) – роздільному управлінні; б) – управління приводами в режимі Master-Slave

В результаті проведення критичного аналізу, зазначено, що робота механізмів повороту здатна викликати нерівномірні навантаження на металоконструкцію крана при забіганні одного редуктора перед іншим. Такі навантаження можуть збільшувати робочі навантаження на 30 і більше відсотків. Для поліпшення роботи механізму повороту, зменшення перекісних навантажень та підвищення точності позиціонування вантажу рекомендується застосовувати системи керування механізмом повороту на основі існуючих асинхронних двигунів із замкненим на коротко фазним ротором з частотними перетворювачами, окремими на кожний двигун, зв'язаних в пару «ведучий – відомий». Проведено моделювання запропонованої схеми, яке підтвердило правильність обраної ідеї.

Висновки. При детальному аналізі роботи механізму повороту порталного крана «Сокол» було виявлено, що хоч і швидкість обертання електродвигунів однакова, але моменти на валах двигунів не є однаковими. Були розглянуті можливі причини цього явища, та способи їх усунення. Запропоновано варіант модернізації схеми електроприводу механізму повороту з урахуванням зауважень до роботи крана. Зроблено моделювання процесів вирівнювання навантажень в приводах двигунів механізму повороту крана.

ЛІТЕРАТУРА

1. Герасимyak P. П., Лещев В. А., Анализ и синтез крановых электромеханических систем. – Одесса, СМІЛ, 2008. – 192 с.
2. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, М. Б. Клепиков та ін. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
3. <https://www.se.com/ua/ru/work/products/master-ranges/altivar/>
4. <https://www.se.com/ua/uk/product-range/62317-altivar-process-atv600/>
5. <https://moxa.pro/support-service/faq/shlyuzy-protokolov/kak-oprashivat-v-modbus-tcp-slave/>
6. <https://www.electrocentr.com.ua/products/motion-controls/schneider-electric/altivar/atv900.html>
7. https://chastotnik.com.ua/preobrasovатели/Schneider_Electric;ATV630/

Секція 5. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ І ЯВИЩ В ЕЛЕМЕНТАХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

УДК 621.431

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ПРИ МАТЕМАТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ВТУЛКИ ЦИЛІНДРУ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЮ

В.Г. Попов, д.ф.-м.н, професор
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Запропонована математична модель розподілу температури у втулках циліндрів судових дизелів. Ця модель враховує зміну граничних умов по бічній поверхні втулки і полягає в приведенні крайової задачі для рівняння теплопровідності до системи інтегральних рівнянь. Числовий розв'язок цієї системи може бути знайдений добре відомими методами.

Ключові слова: судовий дизель, втулка циліндру, температура, інтегральні рівняння

APPLICATIONS OF INTEGRAL EQUATIONS IN MATHEMATICAL MODELING OF THE THERMAL STATE OF CYLINDER BUSH A SHIP DIESEL

V. Popov, Dr. of Science, Professor
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: A mathematical model of temperature distribution in cylinder bush a ship diesel is proposed. This model takes into account the change in the boundary conditions along the side surface of the sleeve and consists in reducing the boundary value problem for the heat equation to a system of integral equations. The numerical solution of this system can be found by well-known methods.

Key-words: ship diesel, cylinder bush, temperature, integral equation.

В судових двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) втулка циліндру є однією з найбільш температурно навантажених деталей, оскільки, з одного боку, вона контактує з продуктами згоряння, а з іншого – з охолоджуючою рідиною. Тому для забезпечення надійної роботи ДВЗ необхідно знати і контролювати її тепловий стан. На сьогоднішній час визначення і дослідження теплового стану деталей ДВЗ частіше за все ґрунтується на математичному моделюванні процесів теплообміну. Таке моделювання вимагає розв'язання крайових задач для рівняння теплопровідності в двовимірних або тривимірних областях, які визначаються конструкцією деталей. Для розв'язання цих задач досить часто застосовуються прямі числові методи, зокрема, метод скінченних елементів (МСЕ) [1-4]. Головною перевагою цього методу є його універсальність, яка полягає у можливості його застосування у випадку деталей будь-якої форми, без спрощуваних припущень. Але врахування реальної форми деталі і досягнення необхідної точності вимагає використання розбиття ДВЗ, що досліджується, на велику кількість елементів. Так, в роботі [3], де здійснено дослідження розподілу температури у поршні, використано його розбиття на понад мільйон елементів у вигляді тетраєдрів. Тоді, в залежності від апроксимації невідомої функції, в

кожному елементі виникає необхідність розв'язування лінійних алгебраїчних систем з кількості рівнянь, яка є в декілька разів більша. Побудова розбиття деталі на скінченні елементи і розв'язання таких систем потребує наявності надпотужної обчислювальної техніки і спеціального програмного забезпечення [5] (ANSIS, SALOME), які не завжди доступні. Тому є актуальним і створення більш простих числово-аналітичних моделей розподілу температури в деталях ДВС, зокрема, втулки циліндру. Недолік таких моделей часто полягає в осередненні температури по товщині (метод ефективної стінки) і нехтуванні зміною граничних умов на бічній поверхні втулки [5], [6], які обумовлюються конструкцією і умовами функціонування деталі.

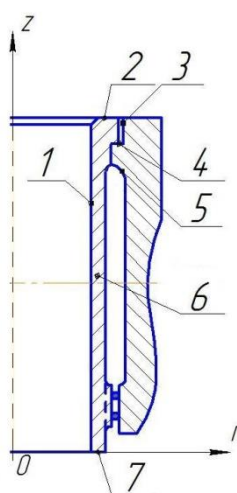


Рисунок 1 – Умови теплообміну на поверхні втулки циліндру

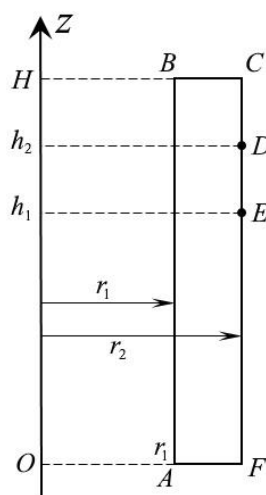


Рисунок 2 – Моделювання втулки циліндром сталої товщини

Далі пропонується розбиття поверхні втулки на області аналогічно до [4], [7], які зображено на Рис.1.

Область 1. Це внутрішня поверхня втулки і тут, як рекомендується в літературі [1-4], задаються граничні умови третього роду.

Область 2. Верхній торець втулки, який ізолюється від головки блоку циліндру прокладкою, що запобігає теплообміну. Це означає рівність нулю теплового потоку.

Рисунок 1 – Умови теплообміну на поверхні втулки циліндру

Область 3. Це зона теплового зазору між втулкою та блоком циліндрів. Тут теж припускається відсутність теплообміну і рівність нулю теплового потоку.

Області 4 і 5. є зонами щільного контакту втулки з блоком циліндру і тут температура втулки T_B вважається рівною до температури блоку циліндра.

Область 6. визначає частину втулки, що контактує з охолоджуючою рідиною та є зоною інтенсивного теплообміну. Тут теж задаються граничні умови третього роду.

Область 7. Торець втулки, який контактує з атмосферою картера ДВЗ і тут теж припускається відсутність теплообміну.

Як показують результати термометрування, температурне поле циліндру практично вісесиметричне і в усталеному режимі роботи дизеля є стаціонарним [4]. Тому розподіл температури у втулці визначається рівнянням:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

При формулюванні граничних умов припустимо наступні спрощення форми втулки, а саме будемо вважати її порожнинним циліндром незмінної товщини, розміри якого визначаються нерівностями $r_1 < r < r_2$, $0 \leq z \leq H$. Переріз цього циліндра осьюовою площиною показано на рис. 2. При такому спрощенні теплообміном в області 4 (рис. 1) нехтуємо з огляду її незначної площі. В інших областях поверхні втулки граничні умови формулюються згідно сказаному вище:

$$AB: \alpha_g (T(r_1, z) - T_g) + \lambda \frac{\partial T}{\partial r}(r_1, z) = 0, \quad 0 < z < h; \quad (2)$$

$$BC: \frac{\partial T}{\partial z}(r, H) = 0; \quad r_1 < r < r_2; \quad (3)$$

$$CD: \frac{\partial T}{\partial r}(r_2, z) = 0; \quad h_2 < z < H; \quad (4)$$

$$DE: T(r_2, z) = T_B; \quad h_1 < z < h_2; \quad (5)$$

$$EF: \alpha_c (T(r_2, z) - T_c) + \lambda \frac{\partial T}{\partial r}(r_2, z) = 0, \quad 0 < z < h_1; \quad (6)$$

$$FA: \frac{\partial T}{\partial z}(r, 0) = 0, \quad r_1 < r < r_2. \quad (7)$$

У (1-7) позначено: T_g – температура середовища в середині циліндра; T_c – температура охолоджуючої рідини; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу втулки; α_g – коефіцієнт теплопередачі від середовища в циліндрі до втулки; α_c – коефіцієнт теплопередачі від втулки до охолоджуючої рідини.

Далі для рівняння (1) розглядається допоміжна крайова задача, де на зовнішній поверхні втулки $r = r_2$ замість (4)-(6) розглядається умова

$$\frac{\partial T}{\partial r}(r_2, z) = \begin{cases} g_1(z), & z \in (0, h_1); \\ g_2(z), & z \in (h_1, h_2); \\ 0, & z \in (h_2, H), \end{cases} \quad (8)$$

де $g_1(z), g_2(z)$ – деякі невідомі функції.

Розв'язок цієї крайової задачі будується шляхом застосування скінченного косинус-перетворення Фур'є по змінній $z \in [0, H]$ [8] і має остаточний вигляд

$$T(r, z) = T_g + \int_0^{h_1} g_1(\eta) (U(r, \eta - z) + U(r, \eta + z)) d\eta + \int_{h_1}^{h_2} g_2(\eta) (U(r, \eta - z) + U(r, \eta + z)) d\eta, \quad (9)$$

де

$$U(r, Y) = \frac{B_0(r)}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{B_k(r)}{\pi k D_k} \cos \frac{\pi k Y}{H}; \quad B_0(r) = \frac{r_2}{2H} \left(\ln \frac{r}{r_1} - \frac{1}{r_1 d_y} \right); \quad B_k(r) = b_k I_0(\alpha_k r) - a_k K_0(\alpha_k r);$$

$$D_k = a_k K_1(\alpha_k r_1) + b_k I_1(\alpha_k r_1); \quad a_k = I_0(\alpha_k r_1) d_g + \alpha_k I_1(\alpha_k r_1); \quad b_k = K_0(\alpha_k r_1) d_g - \alpha_k K_1(\alpha_k r_1);$$

$$\alpha_k = \frac{\pi k}{H}; \quad d_g = \frac{\alpha_g}{\lambda}.$$

Формула (9) подає розподіл температури у втулці через невідомі функції $g_1(z), g_2(z)$. Для їх визначення слід скористатися крайовими умовами (5), (6). В

результаті отримаємо систему двох інтегральних рівнянь, яка після переходу до проміжку $[0,1]$ і вилучення сингулярних складових, має вигляд:

$$\begin{aligned} & \varphi_1(x) + \varepsilon_0 \theta_1 \int_0^1 \varphi_1(t) \left[-\ln \left(2 \sin \frac{\pi \theta_1 |t-x|}{2} \right) - \ln \left(2 \sin \frac{\pi \theta_2 (t+x)}{2} \right) + R_{11}(t, x) \right] dt + \\ & + \varepsilon_c (\theta_2 - \theta_1) \int_0^1 \varphi_2(t) \left[-\ln \left(2 \sin \frac{\pi (\theta_1 (1-x) + (\theta_2 - \theta_1) t)}{2} \right) - \ln \left(2 \sin \frac{\pi (\theta_1 (1+x) + (\theta_2 - \theta_1) t)}{2} \right) + R_{12}(t, x) \right] dt = \\ & = -\varepsilon_c (1 - \tau_c); \\ & \theta_1 \int_0^1 \varphi_1(t) \left[-\ln \left(2 \sin \frac{\pi (\theta_1 (1+t) + (\theta_2 - \theta_1) x)}{2} \right) - \ln \left(2 \sin \frac{\pi (\theta_1 (1-t) + (\theta_2 - \theta_1) x)}{2} \right) + R_{21}(t, x) \right] dt + \\ & + (\theta_2 - \theta_1) \int_0^1 \varphi_2(t) \left[-\ln \left(2 \sin \frac{\pi (\theta_2 - \theta_1) |t-x|}{2} \right) - \ln \left(2 \sin \frac{\pi (2\theta_1 + (\theta_2 - \theta_1)(t+x))}{2} \right) + R_{22}(t, x) \right] dt = -(1 - \tau_\theta), \end{aligned} \quad (10)$$

$$t \in (0;1); \theta_j = \frac{h_j}{H}; \tau_c = \frac{T_c}{T_g}; \tau_\theta = \frac{T_\theta}{T_g}.$$

Функції $R_{ij}(t, x)$, $i, j = 1, 2$ подаються рівномірно збіжними тригонометричними рядами. Отриману систему інтегральних рівнянь можна розв'язати числовим методом, наприклад, механічних квадратур або ортогональних многочленів.

Висновки. Математичне моделювання розподілу температури у втулці циліндру ДВЗ вимагає розв'язання крайової задачі для рівняння теплопровідності зі зміною крайових умов на бічній поверхні втулки. Показано, що подібна задача може бути приведена до системи інтегральних рівнянь, яка може бути розв'язана добре відомими числовими методами. Це, на відміну від МСЕ, не вимагає дискретизації та розбиття на скінченні елементи всього об'єму втулки, спеціального програмного забезпечення і надпотужної обчислювальної техніки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гонторовський П.П. Числове моделювання теплового та напружено-деформівного стану гільзи циліндра форсованого транспортного дизеля / П.П. Гонторовський, Н.М. Гармаш, А.М. Левтеров, А.Ю. Фокін // 36.наукових праць ХДПУ. –1999. – № 7. –С. 255-259.
2. Строков А.П. Розрахункова оцінка теплонапруженого стану гільзи циліндра форсованого транспортного дизеля / А.П. Строков, А.М. Левтеров, А.М. Авраменко // Двигуни внутрішнього згоряння.–2009. – № 2. – С. 53-57.
3. Бабіч А.А. Розрахункова оцінка теплового стану поршня форсованого транспортного дизеля / А.А. Бабіч, С.А. Громов, А.М. Левтеров // Двигуни внутрішнього згоряння.–2016. – № 1. –С. 40-44.
4. Сажанов Б.С. Моделювання теплопередачі в циліндрі поршневого двигуна / Б.С. Сажанов // Вісник АДТУ.–2008. – № 5 (46). –С. 149-152.
5. Єриганов А.В. Розрахунок робочого процесу дизеля з врахуванням нерівномірності температури на поверхні втулки циліндру дизеля / А.В. Єриганов // Науково-технічний збірник «Автоматизація судових технічних засобів». –2001. – № 6. –С. 39-44.
6. Попов В. Г. Математичне моделювання розподілу температури у втулці циліндра судового двигуна / В.Г. Попов // Матеріали міжнародної наукової конференції « Суднова електроінженерія, електромеханіка і автоматика», НУ «ОМА». –2001. – № 6. –С. 60-63.
7. Пахомова Н.В. Модернізація системи охолодження форсованого судового ДВС на основі моделювання процесу теплопередачі / Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук. –2015. –174 с.
8. Попов В. Г. Математичне моделювання енергетичних процесів / В.Г. Попов // Навч.посібник, НУ «ОМА», 2017. – 76 с.

УДК 621.431

ТОЧНИЙ РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ ХВИЛЬОВИХ ПОЛІВ У СКІНЧЕННОМУ ПРУЖНОМУ ЦИЛІНДРІ

О. І. Кирилова, к.ф.-м.н, доцент

В.Г. Попов, д.ф.-м.н, професор

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Розглядається задача математичного моделювання хвильових полів у ізотропному пружному циліндрі скінченної довжини при дії на нього гармонічного навантаження. Показано, що у випадку умов ковзного контакту на бічній поверхні ця задача має точний розв'язок. Після отримання цього розв'язку досліджено особливості хвильових полів переміщень і напружень в циліндрі, зокрема, виявлено резонансні частоти.

Ключові слова: пружний циліндр, гармонічні коливання, резонанси

EXACT SOLUTION OF THE PROBLEM OF MODELING WAVE FIELDS IN A FINITE ELASTIC CYLINDER

O. Kyrylova, Ph.D., Associate Professor

V. Popov, Dr. of Science, Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The problem of mathematical modeling of wave fields in an isotropic elastic cylinder of finite length under the action of a harmonic load is considered. It is shown that in the case conditions of slipping contact on the lateral surface, this problem has an exact solution. After finding this solution, the features of the wave fields of displacements and stresses in the cylinder, in particular, the resonance frequencies were investigated.

Key-words: elastic cylinder, harmonic vibrations, resonances.

Елементи конструкцій енергетичних установок в процесі функціонування знаходяться під дією динамічного гармонічного навантаження, зокрема, вібрації. В таких умовах на працездатність цих деталей суттєво впливають хвильові процеси, що в них відбуваються, особливо резонансні явища. При побудові математичних моделей таких процесів і явищ елементи конструкцій за незначними спрощеннями форми можна вважати скінченими пружними циліндрами. Тому таке моделювання вимагає розв'язання крайових задач для рівнянь руху Ламе для скінчених циліндрів. В загальному випадку ці крайові задачі вдається розв'язувати наближеними методами. Так, поширеним є метод однорідних розв'язків [1,2], який приведе вихідну задачу до нескінченної системи лінійних алгебраїчних рівнянь. До останніх застосовується метод редукції. Також застосовуються прямі числові методи [3,4]. В даній роботі розглянуто випадок, коли задача математичного моделювання хвильових полів у скінченному циліндрі може бути розв'язана точно.

Розглядається пружний ізотропний циліндр радіуса r_0 і висоти h , цілком заглиблений у жорстку основу. За такою схемою здійснюється моделювання елемента кріплення енергетичної установки або іншого обладнання до жорсткої основи.

Вібраційний вплив моделюється дією на верхній торець циліндра гармонічного навантаження $\mu p(r)e^{-i\omega t}$, нижній торець при цьому нерухомий. По всій бічній поверхні припускаються умови ковзного контакту. За таких умов хвильове поле у циліндрі є вісесиметричним, а амплітуди радіальних і осьових переміщень задовольняють рівняння руху Ламе:

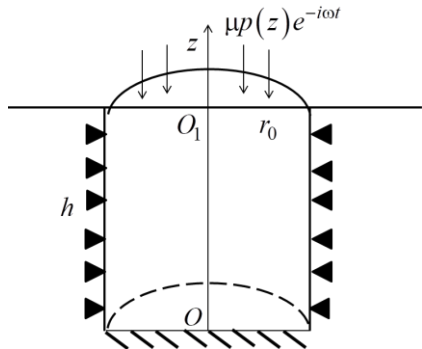


Рисунок 1 – Пружний скінченний циліндр

$$\begin{aligned} \mu \left(\Delta u - \frac{u}{r^2} \right) + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (ru) + \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= -\rho \omega^2 u; \\ \mu \Delta w + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (ru) + \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= -\rho \omega^2 w, \end{aligned} \quad (11)$$

де Δ – двовимірний оператор Лапласа у циліндричній системі координат, ρ – густина матеріалу циліндра, ω – частота коливань.

За умов нерухомості нижнього торця на ньому виконуються рівності:

$$u(r, 0) = 0; \quad w(r, 0) = 0; \quad 0 \leq r < r_0. \quad (12)$$

На завантаженому верхньому торці циліндра мають місце умови:

$$\sigma_{zz}(r, h) = \mu p(r), \quad \tau_{zr}(r, h) = 0, \quad 0 \leq r < r_0. \quad (13)$$

Ковзний контакт на бічній поверхні циліндра забезпечується рівностями:

$$u(r_0, z) = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial r}(r_0, z) = 0, \quad 0 \leq z < h. \quad (14)$$

Граничні умови (14) дозволяють застосовувати до розв'язання крайової задачі (11)-(14) скінченні інтегральні перетворення Ганкеля [5].

Для зображень з (11) отримаємо систему звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} U_k''(z) - (1 - \xi^2) \gamma_k \xi^{-2} r_0^{-1} W_k'(z) - S_{1k}^2 \xi^{-2} r_0^{-2} U_k(z) &= 0, \\ W_k''(z) + (1 - \xi^2) \gamma_k r_0^{-1} U_k'(z) - \xi^2 S_{2k}^2 r_0^{-2} W_k(z) &= 0, \end{aligned} \quad (15)$$

$$S_{1k} = \sqrt{\gamma_k^2 - \xi^2 \kappa_0^2}, \quad S_{2k} = \sqrt{\gamma_k^2 - \kappa_0^2}, \quad \kappa_0 = \kappa_2 r_0, \quad \kappa_1^2 = \omega^2 \rho (\lambda + 2\mu); \quad \kappa_2^2 = \omega^2 \rho \mu^{-1}; \quad \xi^2 = \kappa_1^2 \kappa_2^{-2}, \quad k = 1, 2, \dots$$

При $k = 0$ $U_0(z) \equiv 0$, а $W_0(z)$ задовольняє рівняння:

$$W_0''(z) + \xi^2 \kappa_0^2 r_0^{-2} W_0(z) = 0. \quad (16)$$

Якщо ввести позначення

$$X_k(z) = (X_{1k}(z), X_{2k}(z), X_{3k}(z), X_{4k}(z))^T = (U_k(z), W_k(z), U_k'(z), W_k'(z)),$$

систему рівнянь (15) можна привести до лінійної однорідної системи диференціальних рівнянь першого порядку:

$$X'_k(z) = A_k X_k(z), \quad A_k = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ S_{1k}^2 \xi^{-2} r_0^{-2} & 0 & 0 & (1-\xi^2) \xi^{-2} r_0^{-1} \gamma_k \\ 0 & \xi^2 S_{2k}^2 r_0^{-2} & -(1-\xi^2) r_0^{-1} \gamma_k & 0 \end{pmatrix}, \quad k=1,2,\dots \quad (17)$$

До (16) і (17) слід додати рівності, що впливають з (12) і (13). Так, при $k=0$ знаходимо

$$W_0(0)=0, W_0'(h)=\xi^2 p_0 \quad (18)$$

У випадку $k \geq 1$

$$X_{1k}(0)=0, X_{2k}(0)=0, X_{4k}(h) + (1-2\xi^2) \gamma_k r_0^{-1} X_{1k}(h) = \xi^2 p_k, X_{3k}(h) - \gamma_k r_0^{-1} X_{2k}(h) = 0, \quad k=1,2,3,\dots \quad (19)$$

У рівностях (18), (19) позначено

$$p_k = \int_0^{r_0} r p(\eta) J_0(\gamma_k \eta / r_0) d\eta, \quad k=0,1,2,\dots$$

Розв'язок рівняння (16), який задовольняє умови (18), знаходиться і дорівнює

$$W_0(z) = \mu^{-1} \kappa_0 \xi^2 p_0 \cos(\xi \kappa_0 z r_0^{-1}) \sec(\xi \kappa_0 h r_0^{-1}). \quad (20)$$

Загальним розв'язком системи (17) є вектор

$$X_k(z) = \Phi_k(z) \cdot C_k, \quad (21)$$

де $\Phi_k(z)$ – фундаментальна матриця розв'язків системи, а

$C_k = (C_{1k}, C_{2k}, C_{3k}, C_{4k})^T$ – вектор довільних сталих. Значення цих сталих знаходяться з системи лінійних алгебраїчних рівнянь, що отримана з (19):

$$Q_k C_k = R_k, \quad R_k = (0, 0, r_0 S_{1k} p_k, 0)^T, \quad (22)$$

Після побудови оберненої матриці

$$Q_k^{-1} = M_k \Delta_k^{-1}; \quad \Delta_k = e_{1k} e_{2k} \det(Q_k)$$

знаходимо розв'язок системи (22) і далі за (21) розв'язок системи диференціальних рівнянь (17), який задовольняє умови (19):

$$X_k(z) = \Delta_k^{-1} \Phi_k(z) M_k R_k. \quad (23)$$

Формула (23) дозволяє в явному вигляді визначити $U_k(z), W_k(z)$, і потім за формулами обернених інтегральних перетворень визначити переміщення в циліндрі:

$$u(r, z) = \frac{2}{r_0} \sum_{k=1}^{\infty} p_k \frac{J_1\left(\gamma_k \frac{r}{r_0}\right)}{J_0^2(\gamma_k) \Delta_k} B_{1k}\left(\frac{z}{r_0}\right); \quad w(r, z) = \frac{2}{r_0} \left(\frac{\xi p_0 \sin\left(\xi \frac{\kappa_0 z}{r_0}\right)}{\kappa_0 \cos(\xi \kappa_0 q)} + \sum_{k=1}^{\infty} p_k \frac{J_0\left(\gamma_k \frac{r}{r_0}\right)}{J_0^2(\gamma_k) \Delta_k} B_{2k}\left(\frac{z}{r_0}\right) \right),$$

$$B_{1k}(zr_0^{-1}) = \gamma_k m_{13k} e^{-\frac{S_{1k}z}{r_0}} + S_{1k} m_{23k} e^{-\frac{S_{2k}z}{r_0}} - \gamma_k m_{33k} e^{-\frac{S_{1k}z}{r_0}} + S_{1k} m_{43k} e^{-\frac{S_{2k}z}{r_0}} ;$$

$$B_{2k}(zr_0^{-1}) = S_{1k} m_{13k} e^{-\frac{S_{1k}z}{r_0}} + \gamma_k S_{1k} S_{2k}^{-1} m_{23k} e^{-\frac{S_{2k}z}{r_0}} + S_{1k} m_{33k} e^{-\frac{S_{1k}z}{r_0}} - \gamma_k S_{1k} S_{2k}^{-1} m_{43k} e^{-\frac{S_{2k}z}{r_0}} .$$

За отриманими формулами здійснено розрахунок переміщень $w(0,h)/r_0$ і напружень $\sigma_{zz}(0,0)/\mu$ за навантаження за законом $\sigma_{zz}(r,h) = \mu(1-r^2/r_0^2)$, а коефіцієнт Пуассона вважався $\nu=0,3$. Результати обчислень наведено на Рис. 2, Рис. 3, де криві показують залежність переміщень та напружень від безрозмірної частоти $\kappa_0 = \kappa_2 r_0$ при різних співвідношеннях між геометричними розмірами циліндру $q = h/r_0$. А саме, криві 1, 2, 3 відповідають значенням $q=1$, $q=2$, $q=4$.

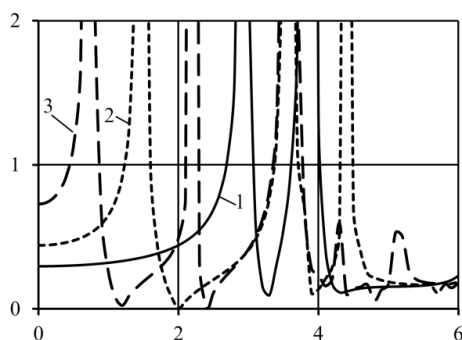


Рисунок 2 – Повздовжні переміщення

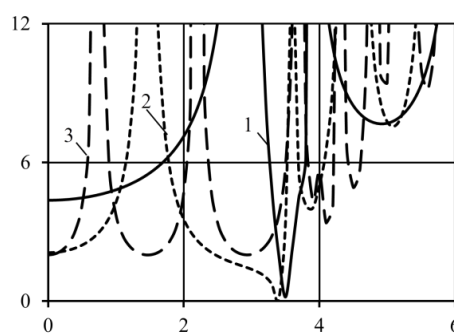


Рисунок 3 – Нормальні напруження

Отримані результати є основою для наступних **висновків**.

1. При умовах ковзного контакту на бічній поверхні задача математичного моделювання хвильових полів і резонансних явищ у пружному циліндрі має аналітичний розв'язок при будь-яких умовах на торцях циліндра.

2. Мають місце дві серії резонансних частот. Перша визначена коренями рівняння $\cos \xi \kappa_0 q = 0$ і є власними частотами повздовжніх коливань пружного циліндричного стержня. Друга пов'язана з рівністю нулю визначника $\Delta_k(\kappa_0)$ і завжди присутня.

3. Збільшення відносної висоти циліндра приводить до зменшення значень частот резонансів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грінченко В.Т. Аналіз коливань кругового циліндру, викликаний кінематичним збудженням його торців / В.Т. Грінченко, Г.Л. Комісарова // Прикладна механіка. –1982. – 18, № 8. –С. 35-40.
2. Якименко М.С. Високоточні коливання циліндрів скінченної довжини / М.С. Якименко, В.В.Мелешко, А.Ф. Улітко, В.Т. Грінченко // Доповіді НАН України.–2009. – С. 40-81.
3. Wang H. Vibrational modes of thick cylinders of finite length / H. Wang, K. Williams // Journal of Sound and Vibration. –1996. – Volume 191, Issue 5. –p. 955-971.
4. Wang.H. A vibrational mode analysis of finite-length thick cylinder using the finite element method / H. Wang, K. Williams, W.Guan // Journal Vibr. and Acoust. –1998. – Volume 120, Issue 2. –p. 371-377.
5. Попов В. Г. Математичне моделювання енергетичних процесів / В.Г. Попов // Навч.посібник, НУ «ОМА», 2017. – 76 с.

УДК 539.3

ВПЛИВ РОЗМІРУ ТРІЩИНИ, ЩО ВИХОДИТЬ З ЖОРСТКОГО ВКЛЮЧЕННЯ, НА НАПРУЖЕНИЙ СТАН НАВКОЛО НЕЇ ПРИ ГАРМОНІЙНОМУ ЗСУВНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

А.С. Мішарін, асистент

В.Г. Попов, д-р фіз.-мат. наук, проф.

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: здійснено визначення і дослідження впливу розміру тріщини, що відходить від жорсткого включення на напружений стан навколо неї. Тріщина під довільним кутом відходить від жорсткого смугового включення, яке знаходиться під дією гармонійного зсувного навантаження. Вихідна задача зведена до розв'язання системи сингулярних інтегро-диференціальних рівнянь з нерухомими особливостями. Для числового розв'язання цієї системи розроблений метод, який враховує реальну асимптотику невідомих функцій і використовує спеціальні квадратурні формули для сингулярних інтегралів

Ключові слова: коефіцієнти інтенсивності напружень, сингулярні інтегро-диференціальні рівняння, гармонічні коливання, нерухома особливість, включення, тріщина.

THE INFLUENCE OF THE SIZE OF THE CRACK THAT EMERGES FROM A RIGID INCLUSION ON THE STRESS STATE AROUND IT UNDER THE SHEARING HARMONIOUS LOADING

A.S. Misharin, Assistant

V. G. Popov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), prof.,

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: the influence of the size of the crack, that emerges from a rigid inclusion, on the stress state around it was determined and studied. The crack at an arbitrary angle emerges from a rigid inclusion, which is under the shearing harmonious loading. The initial problem is reduced to solving the system of singular integral-differential equations with fixed singularities. For numerical solution of the system the method is developed that takes into account the real asymptotic of the unknown functions and uses special quadrature formulas for singular integrals.

Key-words: stress intensity factors (SIF), singular integro-differential equations, harmonic oscillation, fixed singularity, inclusion, crack.

Сучасні технології суднобудування передбачають широке використання композитних матеріалів. Армуючі елементи таких матеріалів мають велику жорсткість і можуть розглядатися як тонкі абсолютно жорсткі включення. З одного боку такі армуючі елементи підвищують загальну міцність конструкції, а з іншого тонкі жорсткі включення викликають значну концентрацію напружень в оточуючому матеріалі [1], яка може привести до утворення тріщин. Оскільки найбільшу інтенсивність концентрації напружень [1] спостерігається навколо країв включень, то тріщини утворюються від них і відходять деяким кутом. Математичне моделювання напруженого стану в околі тонких включень, від країв яких відходять тріщини в умовах динамічного навантаження здійснювалось у роботах [2], [3]. Але питання впливу на значення коефіцієнтів інтенсивності напружень (K_{ІН}) відносної довжини тріщини не досліджувалось. В поданій роботі

здійснено саме таке дослідження. При цьому так же як і у [2] для розв'язання отриманих систем сингулярних інтегро-диференціальних рівнянь використовується числовий метод, що враховує поведінку розв'язків в околі особливих точок і застосовує для сингулярних інтегралів спеціальні квадратурні формули.

Розглядається пружне ізотропне середовище, в якому міститься наскрізний дефект у вигляді жорсткого смугового включення від краю якого під деяким кутом відходить тріщина. У площині Oxy включення і тріщина розташовані як показано на Рис.1.

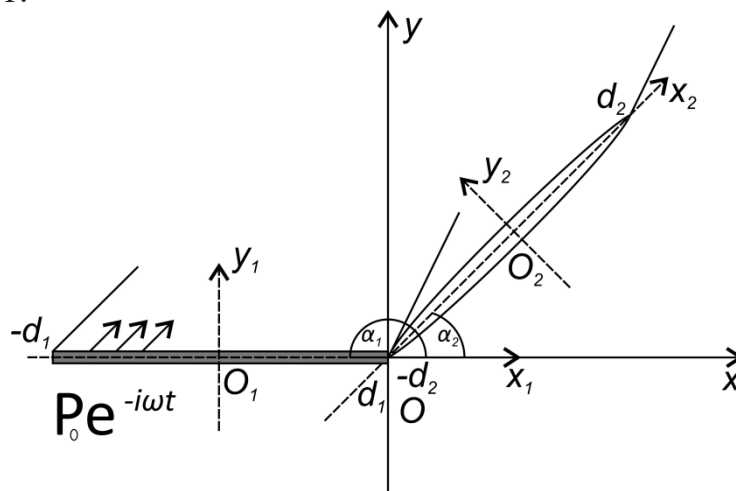


Рисунок1 – Включення, від краю якого відходить тріщина.

В середовищі відбуваються коливання повздовжнього зсуву внаслідок дії на включення зсувної сили $P = P_0 e^{-i\omega t}$, спрямованої вздовж осі Oz , де ω - частота коливань. Множник $e^{-i\omega t}$, який визначає залежність від часу, далі скрізь опущений. За таких умов тіло знаходиться в умовах антиплоскої деформації і єдина відмінна від нуля z - компонента вектора переміщень задовольняє рівнянню Гельмгольца:

$$\Delta w + \kappa_2^2 w = 0, \quad \kappa_2^2 = \frac{\rho \omega^2}{G} \quad (1)$$

де Δ - оператор Лапласа в системі координат Oxy . Для формулювання граничних умов на дефекті з включенням і тріщиною пов'язуються локальні системи координат (рис. 1).

Нехай $w_i(x_i, y_i)$, отримані з $w(x, y)$, в результаті переходу до локальних координатах. Граничні умови на тріщині сформулюємо виходячи з того, що на її берегах відсутні напруження. З цього випливає рівність:

$$\tau_{y_2 z}(x_2, 0) = 0, \quad x_2 \in [-d_2, d_2]$$

На поверхні тріщини переміщення $w_2(x_2, y_2)$ мають розрив з невідомим стрибком, для якого вводиться позначення:

$$w_2(x_2, +0) - w_2(x_2, -0) = \chi_2(x_2), \quad \chi_2(d_2) = 0, \quad x_2 \in [-d_2, d_2]$$

На включенні за умови ідеального зчеплення повинна виконуватися рівність:

$$w_1(x_1, 0) = a, \quad x_1 \in [-d_1, d_1]$$

де a - невідома амплітуда поздовжніх (вздовж вісі Oz) коливань включення.

На поверхні включення напруження $\tau_{y1z}(x_1, y_1)$ мають розрив з невідомим стрибком, для якого вводиться позначення:

$$\tau_{y1z}(x_1, +0) - \tau_{y1z}(x_1, -0) = \chi_1(x_1), \quad x_1 \in [-d_1, d_1]$$

Невідома амплітуда визначається з рівняння руху включення як твердого тіла, яке у випадку гармонійних коливань має вигляд:

$$-m\omega^2 a = P_0 + \int_{-d_1}^{d_1} \chi_1(\eta) d\eta, \quad m = 2d_1 \rho_v h$$

Розв'язок задачі розшукується у вигляді суперпозиції розривних розв'язків [2] рівняння Гельмгольца побудованих відповідно для тріщини і включення. Після цього, внаслідок реалізації граничних умов, отримаємо систему сингулярних інтегро-диференціальних рівнянь відносно стрибків напружень і переміщень на дефектах:

$$\begin{cases} \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_1(\tau) \left[\frac{1}{\tau - \zeta} + R_1(\tau, \zeta) \right] d\tau - \frac{\sin \beta}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_2'(\tau) g_2(1 + \tau, 1 - \zeta) d\tau - \\ - \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_2(\tau) R_2(\tau, \zeta) d\tau = 0, \\ \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_2'(\tau) \left[\frac{1 + \tau}{(\tau - \zeta)(1 + \zeta)} + R_3(\tau, \zeta) \right] d\tau + \frac{\kappa_0^2 \gamma_2^2}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_2(\tau) [\ln |\tau - \zeta| + \\ + R_4(\tau, \zeta)] d\tau - \frac{\sin \beta}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_1(\tau) [g_1(1 - \tau, 1 + \zeta) + R_5(\tau, \zeta)] d\tau = 0, \\ \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_1(\tau) [\ln |1 + \tau| + R_6(\tau)] d\tau + \frac{\gamma_2^2 \sin \beta}{\pi} \int_{-1}^1 \varphi_2(\tau) R_7(\tau) d\tau = -\frac{\pi \bar{\rho} P_1}{2\epsilon \kappa_0^2 \gamma_1^2}. \end{cases} \quad (2)$$

$$g_l(x, y) = \frac{x}{\gamma_l^2 y^2 - 2\gamma_l y x \cos \beta + x^2}, \quad \beta = |\alpha_1 - \alpha_2|, \quad P_1 = \frac{P_0}{d_1}.$$

де $\varphi_1(\tau)$ і $\varphi_2(\tau)$ функції пов'язані з стрибками напружень і переміщень.

Як можна бачити сингулярна складова системи (2) містить нерухомі особливості при $\tau = \pm 1$, $\zeta = \pm 1$. Це визначає наступний вигляд для невідомих функцій

$$(\varphi_2(\tau))' = (1 + \tau)^{-\delta} (1 - \tau)^{-\frac{1}{2}} \psi_2(\tau), \quad \varphi_1(\tau) = (1 + \tau)^{-\frac{1}{2}} (1 - \tau)^{-\delta} \psi_1(\tau),$$

де степеневий показник знаходяться за формулою

$$\delta = \frac{2\beta - 3\pi}{2(\beta - 2\pi)}, \quad \beta = |\alpha_1 - \alpha_2|, \quad 0 \leq \beta \leq \pi.$$

Далі невідомі функції $\psi_l(\tau)$ наближаються інтерполяційними многочленами. Така апроксимація дає можливість отримати для сингулярних інтегралів спеціальні квадратурні формули і застосувати до (2) метод колокації.

Здійснено числові дослідження впливу відносної довжини тріщини $\theta = \frac{d_1}{d_2}$, де d_1 - довжина включення, d_2 - довжина тріщини, на залежність безрозмірних значень КІН від безрозмірного хвильового числа $\kappa_0 = \kappa_2 b$, $b = \max(d_1, d_2)$. Результати розрахунків, при різних значеннях α_2 - кута відхилення тріщини від включення, наведено на рис.2. Кривим під номерами 1, 2, 3, 4, 5 відповідають значення параметра $\theta = 5, 2, 1, \frac{1}{2}, \frac{1}{5}$.

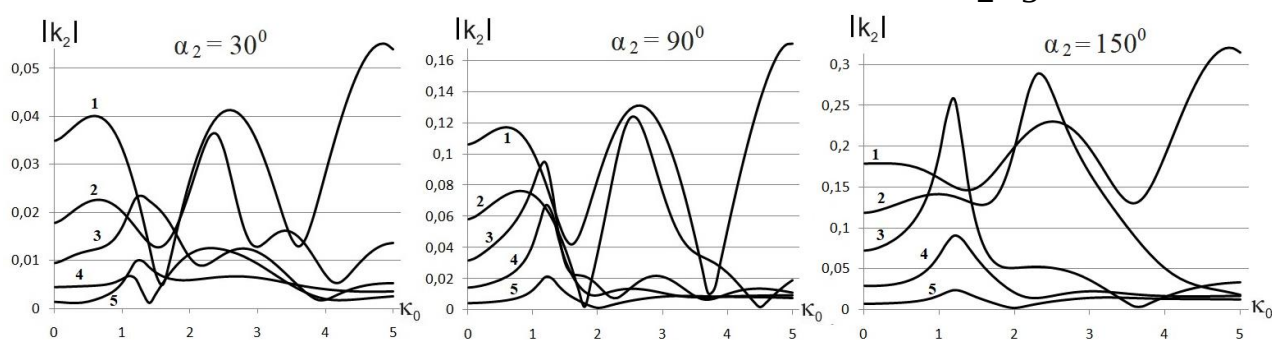


Рисунок 2 – Залежність КІН тріщини $|k_2|$ від хвильового числа κ_0 при різних значеннях відносного розміру тріщини θ при значеннях кута $\alpha_2 = 30^\circ, 90^\circ, 150^\circ$

Висновки.

За результатами числових досліджень встановлений суттєвий вплив відносних довжин тріщини на значення КІН. У області низьких частот $0 \leq \kappa_0 \leq 1.2$ спостерігається зменшення значень КІН при збільшенні відносного розміру тріщини. Далі залежність КІН від хвильового числа приймає осцилюючий характер з великою кількістю максимумів і мінімумів. Причому у точках максимуму спостерігається суттєве перевищення значень КІН при статичному навантаженні $\kappa_0 = 0$. Також в області низьких частот спостерігається зростання значень КІН тріщини при збільшенні кута відхилення тріщини від включення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основи математичної теорії термопружної рівноваги деформівних твердих тіл з тонкими включеннями. Сулим Г. Т.- Львів: Дослід.-видав. центр НТШ. - 2007. - 716 с.
2. Дослідження напруженого стану біля тріщини і включення, що виходять з однієї точки, при дії силою поздовжнього зсуву. А.С. Мішарін, В.Г. Попов / Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка - Серія: фізико-математичні науки, 2017, 3, с. – 147-150.
3. Напружений стан біля довільно орієнтованих тріщин на продовженні жорсткого включення при дії зсувної гармонійної сили. А.С. Мішарін, В.Г. Попов / Збірник наукових праць «Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій» - Дніпро, Ліра, 2018, Випуск 28, с. 120-132.

УДК 656.61.052

ВПЛИВ ЗМІНИ ФАЗОВИХ КООРДИНАТ РУХУ СУДНА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ ГРЕБНОГО ГВИНТА

О. Ф. Кривий, д.ф.м.н, професор

М.В. Міусов, д.т.н., професор

М.О. Кривий, аспірант

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Отримані ефективні математичні моделі роботи суднового гребного гвинта. Проаналізовано вплив криволінійного руху судна на місцевий кут дрейфу, на зміну швидкості натікання потоку на гвинт, на відносний хід гребного гвинта, коефіцієнт навантаження, коефіцієнти упору гребного гвинта та моменту на валу гвинта. Отримані подання для підведеної потужності до гребного гвинта та пропульсивного коефіцієнту. Проведений чисельний аналіз отриманих математичних моделей.

Ключові слова: математичні моделі, судновий гребний гвинт, криволінійний рух, характеристики гребного гвинта.

INFLUENCE OF CHANGES IN THE PHASE COORDINATES OF THE SHIP'S MOTION ON THE OPERATING CHARACTERISTICS OF THE PROPELLER

O.F. Kryvyi, Dr. of Science, Professor

M.V. Miyusov, Dr. of Science, Professor

M.O. Kryvyi, graduate student

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: Efficient mathematical models of the operation of the ship's propeller are obtained. The influence of the ship's curvilinear motion on the local drift angle, the change in the flow velocity on the propeller, the propeller relative advance, the load factor, propeller thrust and torque coefficients are analyzed. Representations are obtained for the power supplied to the propeller and the propulsive coefficient. The numerical analysis of the obtained mathematical models was carried out.

Key-words: mathematical models, ship's propeller, curvilinear movement, characteristics of the propeller.

Побудова адекватних математичних моделей [1-5] роботи пропульсивного комплексу судна має важливе значення для дослідження різних маневрів судна, для розв'язанні задач оптимального управління в судноводінні, для побудови суднових тренажерів. Побудові математичних моделей динаміки пропульсивного комплексу судна присвячено багато робіт, зокрема [1-10], кожна із яких торкається різних аспектів роботи комплексу, зокрема, гідродинамічних і аеродинамічних сил і моментів на корпусі судна, керуючих сил і моментів судна. Наявність математичних моделей роботи суднового гребного гвинта для широких областей зміни фазових координат руху судна, як то: кута дрейфу, лінійних і кутових швидкості, відіграє важливу роль при дослідженні динаміки пропульсивного комплексу судна. Це пов'язано з тим, що сили спричинені роботою гребного гвинта є рушійними силами судна, а їх математичні моделі є невід'ємною складовою загальних математичних динаміки судна. З іншого боку, значення сил і моментів на гребному гвинті є вихідними для розрахунку

підвідної потужності до суднового гребного гвинта та визначення коефіцієнту пропульсивного комплексу. Зауважимо, що не врахування при побудові математичних моделей гребного гвинта впливу на його роботу параметрів руху судна, призводить, зокрема, при різких маневрах до перевантаження суднових енергетичних установок та виникненню аварійних ситуацій. Ця робота присвячена побудові і дослідженню нових адекватних математичних моделей роботи гребного гвинта.

При криволінійному русі судна, яке рухається із швидкістю v , кутом дрейфу β і кутовою швидкістю ω_z , місцевий кут дрейфу і швидкість натікання води на гвинт, визначимо за формулами [5]

$$\beta_p = \kappa_p \arctg(\tg \beta - \tilde{x}_p \frac{\omega}{\tilde{v} \cos \beta}), \quad v_p = (1 - \psi_p) k_p v, \quad (1)$$

де $\tilde{x}_p$ – відносне положення гвинта від центру тяжіння судна; κ_p , ψ_p , k_p – відповідно коефіцієнти скосу, попутного потоку і впливу корпусу [5]. На рисунках 1, 2 наведені залежності місцевого кута дрейфу β_p і відносної швидкості натікання потоку $\tilde{v}_p = v_p / v_0$ на гвинт від фазових координат руху судна: кута дрейфу β і відносної кутової швидкості $\omega = v_0 \frac{\omega_z L}{\tilde{v}}$.

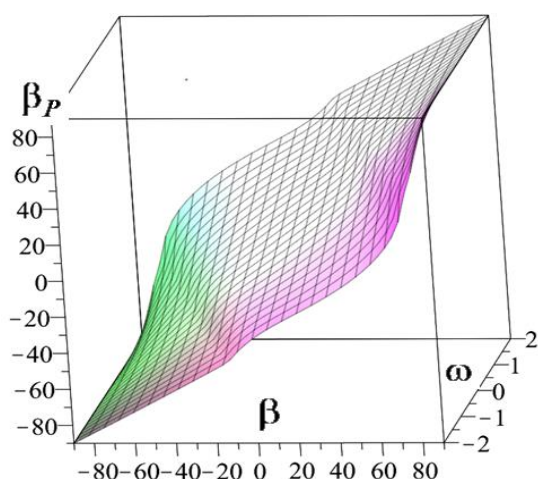


Рисунок 1 – Місцевий кут дрейфу β_p [deg] на гвинті

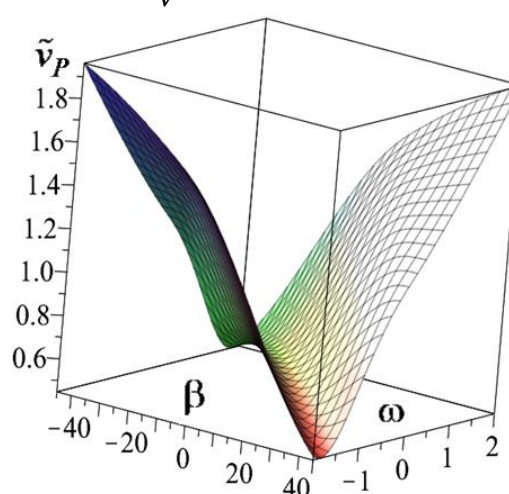


Рисунок 2 – Відносна швидкість натікання потоку $\tilde{v}_p$ на гвинт

Аналіз отриманих результатів показує, що при криволінійному русі, відбувається суттєва зміна місцевого кута дрейфу і швидкості натікання потоку на судовий гвинт, остання може збільшуватись в 2-3 рази. Зазначене впливає на значення відносного ходу гребного гвинта

$$J_p = v_p / n_p D_p, \quad (2)$$

де n_p , D_p – відповідно частота обертання і діаметр гребного гвинта. Що в свою чергу призводить до зміни значень безрозмірного коефіцієнту навантаження σ_p , коефіцієнтів упору гребного гвинта K_p і моменту на валу гвинта K_Q , які можна подати так

$$\sigma_P = \frac{8T_P}{\rho \pi v_P^2 D_P^2}, \quad K_P = \frac{T_P}{\rho n_P^2 D_P^4}, \quad K_Q = \frac{Q_P}{\rho n_P^2 D_P^5} \quad (3)$$

Для коефіцієнтів K_P і K_Q на основі обробки експериментальних даних [11, 12] отримані наступні розвинення [5]

$$K_T = \mu_0 + \mu_1 J_P + \mu_2 J_P^2 + \mu_3 J_P^3, \quad K_Q = \mu_0^* + \mu_1^* J_P + \mu_2^* J_P^2 + \mu_3^* J_P^3, \quad (4)$$

де коефіцієнти μ_k і μ_k^* залежать від дискового відношення a , шагового відношення h і числа лопатей κ_P гребного гвинта. На рисунках 3, 4 наведенні тривимірні залежності коефіцієнтів K_P і K_Q від фазових координат руху судна β та ω . Розрахунки проводились для контейнеровоза DTC, геометричні і технічні параметри якого наведенні в роботі [5], при початковій швидкості $v_0 = 7.7[\text{м/с}] = 14.97[\text{knots}]$ і відносній швидкості $\tilde{v} = 1.2$.

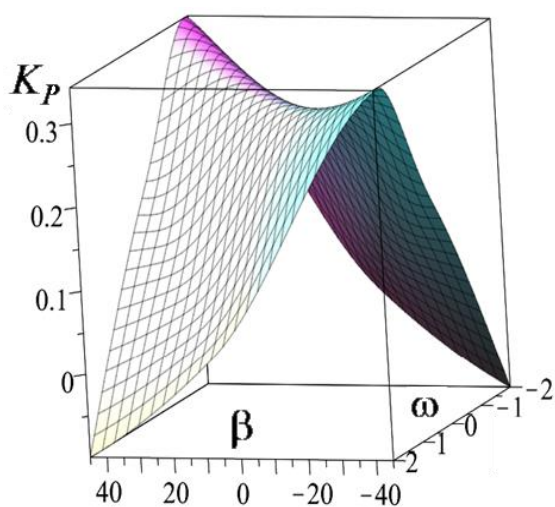


Рис.3 Коефіцієнт K_P

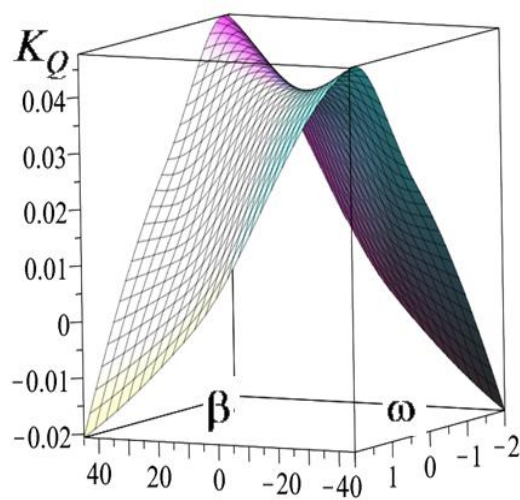


Рис.3 Коефіцієнт K_Q

За допомогою коефіцієнтів (4) можна визначити потужність, яка підводиться до гвинта N_P а також пропульсивний коефіцієнт судна η :

$$N_P = \frac{2\pi}{75} K_Q \rho n_P^3 D_P^5, \quad \eta = \frac{K_P}{K_Q} \frac{J_P}{2\pi} \frac{1 - \zeta_P}{1 - \psi_P}, \quad (5)$$

де ζ_P – коефіцієнт засмоктування при криволінійному русі на гвинті [2,5].

Висновки. Отримані математичні моделі роботи гребного гвинта дозволяють дослідити вплив криволінійного руху судна на характеристики роботи гребного гвинта. Зокрема, вплив швидкості, кута дрейфу та кутової швидкості на значення пропульсивного коефіцієнту і необхідної підведеної потужності до гвинта. За допомогою отриманих графіків визначено діапазон зміни фазових координат криволінійного руху при яких необхідна підведена потужність до гвинта буде зростати а при яких спадати. Крім того знайдені критичні зони при яких обертаються в нуль упор гвинта, коефіцієнт моменту і підведена потужність до гвинта. Зокрема, максимальних значень коефіцієнти K_P і K_Q досяга-

ють при максимальних але різних по знаку значеннях кута дрейфу судна β і відносної кутової швидкості ω . При максимальних значеннях одного знаку вказаних фазових координат руху судна коефіцієнти K_p і K_Q досягають мінімальних значення. Така зміна поведінки коефіцієнтів K_p і K_Q корелюється із зміною значень [5] відносного ходу гребного гвинта J_p і добре узгоджується із результатами, отриманими для прямолінійного руху судна [13,14].

ЛІТЕРАТУРА

1. М. В. Миусов. Режимы работы и автоматизация пропульсивного комплекса теплохода с ветродвижителями. // Одесса: ОГМА, ОКФА, 1996.
2. О. Ф. Кривий, Методи математичного моделювання в задачах судноводіння // ОНМА, Одеса. 2015.
3. O. F. Kryvyi, M. V. Miyusov. Mathematical model of hydrodynamic characteristics on the ship's hull for any drift angles// *Advances in Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. Taylor & Francis Group, London, UK., pp. 111-117, 2019.
4. Kryvyi O., Miyusov M.V. Construction and Analysis of Mathematical Models of Hydrodynamic Forces and Moment on the Ship's Hull Using Multivariate Regression Analysis. // *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 15, No. 4, doi:10.12716/1001.15.04.18, pp. 853-864, 2021.
5. О. Ф. Кривий, М. В. Міусов, М. О. Кривий. Математичне моделювання роботи суднових гвинтів при різних режимах маневрування// *Судноводіння: Зб. наук. праць НУ «ОМА», Вип. 32. 2021. - 71-87. doi: 10.31653/2306-5761.32.2021.71-87.*
6. Кривий О.Ф. Нові математичні моделі гідродинамічних сил на корпусі судна для довільних кутів дрейфу і кутової швидкості // *Матеріали XI між-народної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 64-67.*
7. O. F. Kryvyi, M. V. Miyusov. The Creation of Polynomial Models of Hydrodynamic Forces on the Hull of the Ship with the help of Multi-factor Regression Analysis // *8 International Maritime Science Conference. IMSC 2019*. Budva, Montenegro, pp.545-555 <http://www.imsc2019.ucg.ac.me/IMSC2019>
8. А. Ф. Кривой, М. В. Миусов. Математическая модель плоского движения судна при наличии ветродвижителей // *Судовождение*, вып. 26, С.110-119, 2016.
9. А. Ф. Кривой, М. В. Миусов. Математические модели гидродинамических характеристик пропульсивного комплекса судна для произвольных углов дрейфа // *Судовождение*, вып. 28, С. 88-103, 2018. doi: 10.31653/2306-5761.27.2018.88-102.
10. А. Ф. Кривий, М. В. Міусов. Нові математичні моделі повздовжніх гідродинамічних сил на корпусі судна // *Судноводіння*, 2020, 30. С. 88-98 doi: 10.31653/2306-5761.30.2020.88-98.
11. G. Kuiper, *The Wageningen Propeller Series*. MARIN Publication 92-001, 1992.
12. M.W.C. Osterveld and P. Van Ossanen. Further computer-analyzed data of the Wageningen b-screw series // *Int. Ship. Progress*, v. 22, №251, 1975.
13. А. М. Басин, И.Я. Миниович, Теория и расчет гребных винтов // ГСИСП, Л. 1963.
14. Richard Biven, "Interactive Optimization Programs for Initial Propeller Design" University of New Orleans Theses and Dissertations. 1009. 2009. <https://scholarworks.uno.edu/td/1009>.

УДК 536.24

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ СТРУКТУРНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ НА МІЦНІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

О.Ф. Кривий¹, д. ф.-м. н., проф.

Ю.О. Морозов², к. ф.-м. н., доц.

¹Національний університет «Одеська морська академія»,

²Державний університет «Одеська політехніка»

Анотація: Наявність міжфазних дефектів типу тріщин або жорстких включень у зварних з'єднаннях суттєво знижують термін експлуатації конструкцій а при певних умовах призводять до їх руйнування. Для визначення міцності зварних з'єднань і встановлення вимог, що пред'являються до їх якості, побудована математична модель, яка дозволяє дослідити вплив вказаних дефектів на міцність з'єднань. В якості критерія руйнування вибрана поведінка узагальненого коефіцієнта інтенсивності напружень в околі дефектів. Проведено чисельний аналіз поведінки коефіцієнтів інтенсивності в околі кругових абсолютно жорстких міжфазних включень для деяких комбінацій трансверсально-ізотропних матеріалів.

Ключові слова: міцність зварного з'єднання, дефектність, математична модель, коефіцієнт інтенсивності напружень.

MATHEMATICAL MODELING OF THE INFLUENCE OF STRUCTURAL INHOMOGENEITIES ON THE STRENGTH OF WELDED JOINT SO.

O. F. Kryvyi¹, Dr. of Science, Professor

Yu. O. Morozov², Ph.D., Associate Professor

¹National University «Odessa Maritime Academy»

²Odessa Polytechnic State University

Abstract: The presence of interfacial defects such as cracks or hard inclusions in welded joints significantly reduces the service life of structures, and under certain conditions leads to their destruction. To determine the strength of welded joints and establish the requirements for their quality, a mathematical model has been built that allows one to investigate the effect of these defects on the strength of joints. The behavior of the generalized stress intensity factor in the vicinity of defects is chosen as a failure criterion. A numerical analysis of the behavior of the intensity coefficients in the near of circular absolutely rigid interfacial inclusions for some combinations of transversally isotropic materials.

Key-words: weld strength, defect, mathematical model, stress intensity factor.

Вплив дефектів на механічні властивості зварних сполучень визначається величиною та формою дефектів, частотою їх повторення, матеріалом конструкції, умовами експлуатації та характером навантаження, тому наявність дефектів у зварних з'єднаннях ще не означає втрату їхньої працездатності. Однак дефекти можуть суттєво знижувати працездатність конструкцій, та, за певних умов, призвести до їх руйнування. Для визначення надійності зварних конструкцій та встановлення вимог, що пред'являються до якості зварних з'єднань, необхідно мати інформацію про вплив дефектів на міцність з'єднань. Для визначення міцності зварних з'єднань і отримання критеріїв руйнування побудована математична модель [1-24], яка дозволяє досліджувати вплив дефектів типу тріщин включень на міцність з'єднань. Врахування дефектності, що мають

місце у зварювальних з'єднаннях на несучу здатність конструкцій можна реалізувати за допомогою критерію локального руйнування: поведінкою узагальненого коефіцієнта напружень K_z^* в околі дефекту. Для цього отримані вираз для нормальних напружень у площині з'єднання основного матеріалу та матеріалу зварювального шва, коли $\rho > a$.

Використавши сингулярні інтегральні співвідношення [1], та підхід запропонований в роботах [2-24], отримаємо подання для напружень

$$\sigma_z|_{z=0} = -\frac{q_{12}}{2\rho} (e^{-i\varphi} \bar{D}_* K[v_2^- e^{i\varphi}] + e^{i\varphi} \bar{D}_* K[\bar{v}_2^- e^{-i\varphi}]) - q_{12} \frac{e^{i\varphi}}{\rho} D_* \frac{e^{-i\varphi}}{\rho} \bar{D}_* K[v_4^-], \quad (1)$$

$$v_2(\rho, \varphi) = -\frac{1}{\pi\rho} \partial_\rho \int_\rho^a \frac{\eta_1^-(t)}{\sqrt{t^2 - \rho^2}} dt - \frac{1}{\pi} e^{i\varphi} \partial_\rho \frac{1}{\rho^2} \int_\rho^a \frac{\eta_2^-(t) t dt}{\sqrt{t^2 - \rho^2}} - \frac{1}{\pi\rho^2} e^{-i\varphi} \partial_\rho \int_\rho^a \frac{\bar{\eta}_2^-(t) t}{\sqrt{t^2 - \rho^2}} dt$$

Якщо враховувати тільки вплив температурного навантаження, то нормальні напруження в площині з'єднання матеріалів подамо так

$$\sigma_z^+|_{z=0} = q_{15} v_5^-(\rho, \varphi) - \frac{q_{12}}{2\rho} \left\{ \cos \varphi \operatorname{Re} \left[\int_0^a 2\eta_{21}^*(t) dt + \int_0^a \frac{\eta_{21}^*(t)}{(\rho^2 - t^2)^{3/2}} dt \right] - 2\rho \int_0^a \frac{t\eta_{20}^*(t)}{(\rho^2 - t^2)^{3/2}} dt + \right. \\ \left. + \sin \varphi \operatorname{Im} \left[\int_0^a 2\eta_{21}^*(t) dt + \int_0^a \frac{\eta_{21}^*(t)}{(\rho^2 - t^2)^{3/2}} dt \right] - 2\rho \int_0^a \frac{t\eta_{20}^*(t)}{(\rho^2 - t^2)^{3/2}} dt \right] - q_{14} \frac{2ha}{\rho} {}^2SC_1^0$$

Використовуючи методику викладену в роботах [6, 7], отримаємо асимптотику $\rho \rightarrow a+0$ для нормальних напружень у випадку заданого теплового потоку на включенні

$$\sigma_z^+|_{z=0} \cong \frac{\pi}{2} \frac{q_0}{(2a)^{1/2} \sqrt{\rho - a}} \{ \gamma_{11} \omega_c^a + \gamma_{12} \omega_s^a \}, \quad (3)$$

Згідно результатам робіт [5, 6, 9-16], узагальнений коефіцієнт інтенсивності напружень (УКІН), пов'язаний з інтенсивністю теплового потоку q_0 подамо так

$$K_z^* = q_0 \sum_{k=1}^2 \sqrt{\gamma_{1k}^2}. \quad (4)$$

На рис. 1-4 представлені залежності відносного УКІН: K_z^* / q_0 в полярній системі координат для теплового потоку, який змінюється по лінійному закону: $q/q_0 = b_{00} + b_{01}\rho \cos \varphi + b_{10}\rho \sin \varphi$, при різних значеннях безрозмірних параметрів (b_{00}, b_{01}, b_{10}) . На всіх рисунках штрих-пунктирна лінія відповідає трійці значень $(1, 1/3, 1/7)$, вказаних параметрів; точкова лінія відповідає трійці значень $(1, 1/5, 1/7)$; штрихова відповідно трійці значень $(1, 1/9, 1/5)$; суцільна лінія трійці значень $(1, 1/9, 5/9)$. На рис. 1 наведені розрахунки для комбінації трансверсально ізотропних матеріалів: 1. Cadm. – Magn.; на рис.2 для комбінації Zn - Al₂O₃; на рис. 3 для комбінації 2. Al₂O₃/ Cadm; на рис. 4 для комбінації 4. Zn / Magn. Термодпружні характеристики вказаних матеріалів наведено в роботах [10,11,24].

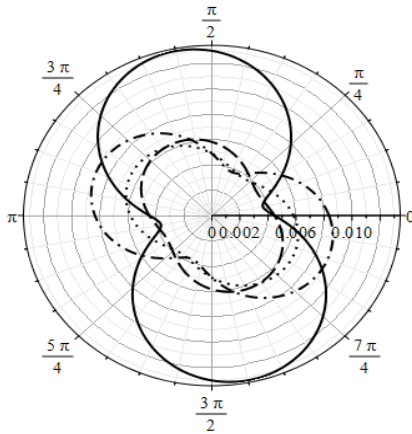


Рисунок 1 – K_z^*/q_0 для комбінації 1.

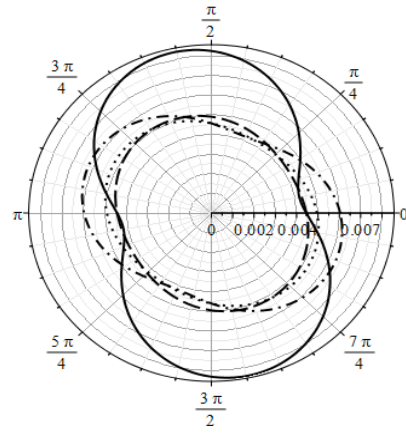


Рисунок 2 – K_z^*/q_0 для комбінації 2.

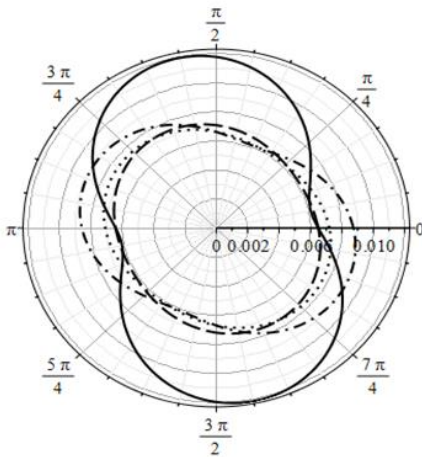


Рисунок 3 – K_z^*/q_0 для комбінації 3.

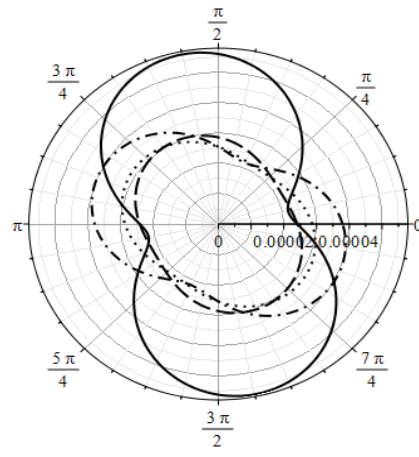


Рисунок 4 – K_z^*/q_0 для комбінації 4.

Висновки. Отримано аналітичні залежності між параметрами лінійного переміщення включення та характеристиками силового та температурного полів. Отримано вирази для коефіцієнта інтенсивності напруги на межі включення, а також чисельні залежності цих коефіцієнтів від полярного кута, температури та навантажень. Встановлені розрахункові залежності визначають вплив спадкових дефектів, сформованих у зварних з'єднаннях конструкцій на їх стійкість до руйнування та створення технологічних вимог до операції зварювання з урахуванням накопичених пошкоджень та неоднорідностей. Визначено напрями максимального зростання напружень в площині з'єднання матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kryvyi O. The discontinuous solution for the piece-homogeneous transversal isotropic medium // Modern Analysis and Applications. – Ser. Operator Theory: Advances and Applications. – Vol. 191. – Basel: Birkhäuser, 2009. – P. 395–406. – https://doi.org/10.1007/978-3-7643-9921-4_25.
2. Efimov V. V., Krivoi A. F., Popov G. Ya. Problems on the stress concentration near a circular imperfection in a composite elastic medium // Mech. Solids. – 1998. – 33, No. 2. – P. 35–49.
3. Kryvyi O. F. Mutual influence of an interface tunnel crack and an interface tunnel inclusion in a

piecewise homogeneous anisotropic space // J.Math. Sci. – 2015. – 208, №4. – P. 409–416. – <https://doi.org/10.1007/s10958-015-2455-9>.

4. Kryvyi O. F. Interface crack in the inhomogeneous transversely isotropic space // Mater. Sci. – 2012. – 47, No. 6. – P. 726–736. – <https://doi.org/10.1007/s11003-012-9450-9>.

5. Kryvyi O. F. Delaminated interface inclusion in a piecewise homogeneous transversely isotropic space // Mater. Sci. – 2014. – 50, No. 2. – P. 245–253. – <https://doi.org/10.1007/s11003-014-9714-7>.

6. Kryvyi O. F. Interface circular inclusion under mixed conditions of interaction with a piecewise homogeneous transversally isotropic space // J. Math. Sci. – 2012. – 184, No. 1. – P. 101–119. – <https://doi.org/10.1007/s10958-012-0856-6>.

7. Kryvyi O. F. Singular integral relations and equations for a piecewise homogeneous transversally isotropic space with interphase defects // J. Math. Sci. – 2011. – 176, No. 4. – P. 515–531. – <https://doi.org/10.1007/s10958-011-0419-2>.

8. Kryvyi O. F. Tunnel internal crack in a piecewise homogeneous anisotropic space // J. Math. Sci. – 2014. – 198, No. 1. – P. 62–74. – <https://doi.org/10.1007/s10958-014-1773-7>.

9. Кривий О. Ф. Тунельні включення в кусково-однорідному анізотропному просторі // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2007. – 50, № 2. – С. 55–65.

10. Kryvyi O. F., Morozov Yu. O. Solution of the problem of heat conduction for the transversely isotropic piecewise-homogeneous space with two circular inclusions // J. Math. Sci. – 2019. – 243, No. 1. – P. 162–182. – <https://doi.org/10.1007/s10958-019-04533-1>.

11. Кривий О. Ф., Морозов Ю. О. Фундаментальні розв'язки для кусково-однорідного трансверсально-ізотропного пружного простору // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2020. – 63, № 1. – С. 122–132. – <https://doi.org/10.15407/mmpmf2020.63.1.122-132>.

12. Кривой А. Ф. Произвольно ориентированные дефекты в составной анизотропной плоскости // Вісн. Одеськ. держ. ун-ту. Сер. Фіз.-мат. науки. – 2001. – 6, Вип. 3. – С. 108–115.

13. Kryvyi O., Morozov Yu. Thermally active interphase inclusion in a smooth contact condition with transversely isotropic half-spaces // Frattura ed Integrita Strutturale. – 2020. – 14, No. 52. – P. 33–50. – doi: 10.3221/IGF-ESIS.52.04.

14. Кривой А. Ф. Фундаментальное решение для четырехсоставной анизотропной плоскости // Вісн. Одеськ. держ. ун-ту. Сер. Фіз.-мат. науки. – 2003. – 8, Вип. 2. – С. 140–149.

15. Кривой А. Ф., Морозов Ю. А. Решение задачи теплопроводности для двух компланарных трещин в составном трансверсально-изотропном пространстве // Вісн. Донецьк. нац. ун-ту. Сер. А. Природн. науки. – 2014. – № 1. – С. 76–83.

16. Krivoi A. F., Popov G. Ya. Interface tunnel cracks in a composite anisotropic space // J. Appl. Math. Mech. – 2008. – 72, No. 4. – P. 499–507. – <https://doi.org/10.1016/j.jappmathmech.2008.08.001>.

17. Krivoi A. F., Popov G. Ya. Features of the stress field near tunnel inclusions in an inhomogeneous anisotropic space // Int. Appl. Mech. – 2008. – 44, No. 6. – P. 626–634. – <https://doi.org/10.1007/s10778-008-0084-4>.

18. Krivoi A. F., Popov G. Ya., Radiollo M. V. Certain problems of an arbitrarily oriented stringer in a composite an isotropic plane // J. Appl. Math. Mech. – 1986. – 50, No. 4. – P. 475–483. – [https://doi.org/10.1016/0021-8928\(86\)90012-2](https://doi.org/10.1016/0021-8928(86)90012-2).

19. Кривой А. Ф., Радиолло М. В. Особенности поля напряжений возле включений в составной анизотропной плоскости // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. – 1984. – № 3. – С. 84–92.

20. Кривой А. Ф., Попов Г. Я. Особенности поля напряжений возле туннельных включений в неоднородном анизотропном пространстве. // Прикл. механика. – 2008. – 44, 36–45.

21. Kryvyi O. F. Tunnel inclusions in a piecewise homogeneous anisotropic space. Mat. Metody Fiz.-Mekh. Polya. 2007. – 50, 55–65

22. Kryvyi O.F. Fundamental solution for a four-component anisotropic plane. //Visn. Odes'k. Derzh. Univ., Ser. Fiz. - Mat. Nauk.-2003. 8 (2), 140–149

23. Kryvyi O. F., Morozov Yu. O. Inhomogeneous transversely isotropic space under influence of concentrated power and temperature sources// J. Phys.: Conf. Ser. – Proc. of the VII Int. Conf. TPCM 2021 «Topical Problems of Continuum Mechanics» (4–8 Oct. 2021, Tsaghkadzor, Armenia). – 2022. – 2231. – Art. 012016. – <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2231/1/012016>.

24. Kryvyi O. F., Morozov Yu. O. The fundamental solution of the problem of thermoelasticity for a piecewise homogeneous transversely isotropic elastic space // Дослідження в математиці і механіці. – 2020. – 25, № 1(35). – С. 16–30.

УДК 519.87:629.5.064.5

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ БЕЗКОНТАКТНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НА ОСНОВІ СТРУКТУРНИХ СХЕМ

Г. В. Налева, к.т.н., доцент,
О. А. Онищенко, д.т.н., професор,
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. Показані основні принципи побудови різного типу математичних моделей безконтактних електричних двигунів на основі структурних схем. Наведені переваги і можливості обрання вентильних безконтактних двигунів постійного струму зі збудженням від високоенергетичних рідкоземельних постійних магнітів для застосування у механізмах і системах електроприводу морських суден і, зокрема, у електрорушійних автономних плавальних апаратів. Наведені структурні схеми безконтактних двигунів, які дозволяють ефективно проводити подальший синтез контролерів струму і швидкості суднових електроприводів.

Ключові слова: електропривод, безконтактний двигун постійного струму, електрорух, автономний плавальний апарат, математичне моделювання, структурні схеми.

CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODELS OF NON-CONTACT ELECTRIC MOTORS OF SHIP ELECTRIC DRIVES ON THE BASIS OF STRUCTURAL SCHEMES

G. V. Naleva, Ph.D., Associate Professor
O. A. Onishchenko, Dr.Tech.Sc., Professor
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. The basic principles of building various types of mathematical models of non-contact electric motors based on structural diagrams are shown. The advantages and possibilities of choosing BLDC motors with excitation from high-energy rare-earth permanent magnets for use in mechanisms and electric drive systems of marine vessels are given, in particular, in the electric propulsion systems of autonomous swimming devices. The structural diagrams of non-contact motors are presented, which allow efficient further synthesis of current and speed controllers of ship electric drives.

Keywords: electric drive, non-contact DC motor, electric propulsion, autonomous swimming device, mathematical modeling, structural schemes.

До теперішнього часу у різних берегових та суднових механізмах набули широкого поширення різного типу безконтактні (безщіткові) двигуни постійного струму (БДПС) або у англomовному варіанті *BLDC* [1]. Таке поширення зумовлено високою надійністю, великою питомою потужністю, високим діапазоном регулювання швидкостей та невеликими витратами на обслуговування.

Слід, також, відзначити, що на морських судах безщіткові двигуни знаходять застосування не тільки у суднових допоміжних механізмах, а також і у системах електроруху, наприклад, у малих автономних (безпілотних) багатоцільових судах [2], у гвинто-рульових колонках суден тощо.

Недостатність апробованих (інженерних) методів керування безщітковими двигунами, недосконалість існуючих методів синтезу, що забезпечують високу енергетичну ефективність синтезованих систем керування продуктивністю

(найчастіше – швидкістю і моментом) суднових машин і механізмів, не дозволяють безщітковим двигунам повністю замінити щіткові та асинхронні електричні двигуни для більшості суднових технічних систем і комплексів, для систем електрорушуд суден [1, 3].

Метою статті є аналіз таких принципів побудови математичних моделей безконтактних електричних двигунів постійного струму на основі структурних схем, який, у подальшому застосуванні, може використовуватися при синтезі контролерів електроприводів із заданими критеріями якості процесів регулювання, урахувати (одночасно) електромагнітні, електромеханічні і енергетичні процеси всієї системи.

Найпростіший підхід ґрунтується на тому, що у режимі БДПС синхронний двигун за своїми характеристиками та принципами управління дуже схожий на традиційний двигун постійного струму із незалежним збудженням, а його математична модель, за аналогією, може бути представлена передавальною функцією (ПФ) [4]:

$$W_{\partial y}(p) = \frac{\omega(p)}{U(p)} = \frac{k_{\partial y}}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1}, \quad (1)$$

де p – комплексна змінна;

$\omega(p)$ – зображення (за Лапласом) швидкості ротора двигуна;

$U(p)$ – зображення керованої напруги;

$k_{\partial y}$ – коефіцієнт передачі двигуна за каналом управління ("напруга – швидкість ротора двигуна");

T_e – електромагнітна стала часу ланцюга статора;

T_m – електромагнітна стала часу двигуна.

Згідно до другого підходу, для опису динамічних режимів роботи синхронного електродвигуна з постійними магнітами на роторі, при будь-якому способі управління його швидкістю, звертаються до моделі узагальненої двофазної машини змінного струму (рис. 1).

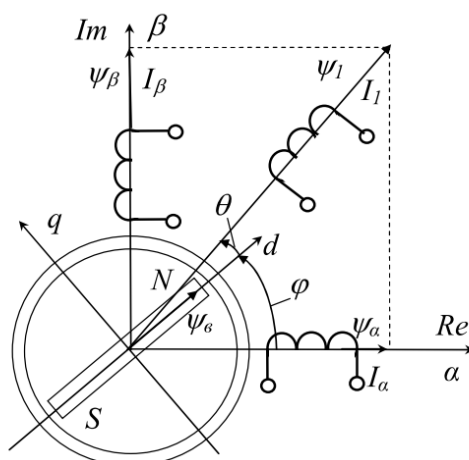


Рисунок 1 – Модель двофазного синхронного електродвигуна з постійними магнітами на роторі, як узагальнена двофазна машина змінного струму

Векторне рівняння для обмотки статора синхронної машини, працюючої у режимі БДПС, у системі координат $0dq$, яка обертається разом з ротором, можна представити наступним чином:

$$\vec{U}_1 = R_1 \vec{I}_1 + \frac{d\vec{\psi}_1}{dt} + j\omega \vec{\psi}_1, \quad (2)$$

де R_1 – активний опір обмотки статора;

$\vec{U}_1$, $\vec{I}_1$ та $\vec{\psi}_1$ – вектори напруги, струму та потокозчеплення статора, відповідно;

ω – швидкість обертання ротора синхронного двигуна;

j – уявна одиниця.

Спроектували рівняння (2) на вісі d і q , та врахувавши основне рівняння руху електроприводу, отримаємо систему нелінійних рівнянь, яка дає повний опис синхронної машини з постійними магнітами на роторі при роботі у режимі БДПС:

$$\begin{cases} \frac{d\psi_{1d}}{dt} = U_{1d} - \frac{R_1}{L_1} \psi_{1d} + \frac{R_1}{L_1} \psi_{1q} + \omega \psi_{1q} \\ \frac{d\psi_{1q}}{dt} = U_{1q} - \frac{R_1}{L_1} \psi_{1q} - \omega \psi_{1d} \\ J \frac{d\omega}{dt} = \frac{m_1 Z_n \psi_{1q}}{2L_1} - M_c \end{cases}, \quad (3)$$

де m_1 – число фаз обмотки статора;

Z_n – число пар полюсів;

J – приведений до валу електродвигуна момент інерції;

M_c – момент сил опору;

L_1 – власна індуктивність еквівалентної обмотки статора;

ψ_{1q} – потокозчеплення збудження від постійних магнітів ротора.

Переходячи у (3) до операторної форми запису, отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} (T_{11}p + 1)\psi_{1d} = T_{11}U_{1d} + \psi_{1q} + T_{11}\omega\psi_{1q} \\ (T_{11}p + 1)\psi_{1q} = T_{11}U_{1q} - T_{11}\omega\psi_{1d} \\ Jp\omega = \frac{m_1 Z_n \psi_{1q}}{2L_1} - M_c \end{cases}, \quad (4)$$

яка дозволяє побудувати математичну модель у вигляді структурної схеми синхронної машини з постійними магнітами на роторі, яка працює у режимі

БДПС (рис. 2). На рис. 2 позначено: $T_{11} = L_1 / R_1$ – електромагнітна стала часу ланцюгу статора.

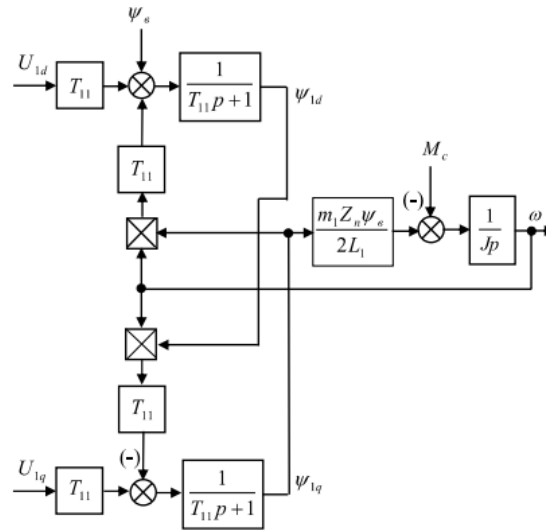


Рисунок 2 – Структурна схема з блоками множення синхронної машини з постійними магнітами на роторі, працюючої у режимі БДПС

При необхідності, після лінеаризації системи (6) в околі деякої робочої точки з координатами ψ_{1d0} та ψ_{1q0} , можна отримати систему рівнянь:

$$\begin{cases} (T_{11}p + 1)\psi_{1d} = T_{11}U_{1d} + \psi_s + T_{11}\omega\psi_{1q0} \\ (T_{11}p + 1)\psi_{1q} = T_{11}U_{1q} - T_{11}\omega\psi_{1d0} \\ Jp\omega = \frac{m_1 Z_n \psi_s}{2L_1} \psi_{1q} - M_c \end{cases}, \quad (7)$$

яка дає можливість побудувати лінеаризовану структурну схему синхронного електродвигуна з постійними магнітами на роторі (рис. 3).

Наприклад, за допомогою отриманої лінеаризованої структурної схеми (рис. 3), легко визначаються передавальні функції синхронного електродвигуна з постійними магнітами на роторі по відношенню до керуючого впливу U_{1q} та до впливу навантаження M_c :

$$W_{\omega y2}(p) = \frac{\omega(p)}{U_{1q}(p)} = \frac{1}{\psi_{1d0} (T_{e1} T_{m1} p^2 + T_{m1} p + 1)}, \quad (8)$$

$$W_{\omega c2}(p) = \frac{\omega(p)}{M_c(p)} = -\frac{T_{m1} (T_{e1} p + 1)}{J (T_{e1} T_{m1} p^2 + T_{m1} p + 1)}. \quad (9)$$

У формулах (8) та (9) введені позначення: $T_{e1} = T_{11}$, $T_{m1} = \frac{2JL_1}{m_1 Z_n \psi_{1d0} \psi_s T_{11}}$.

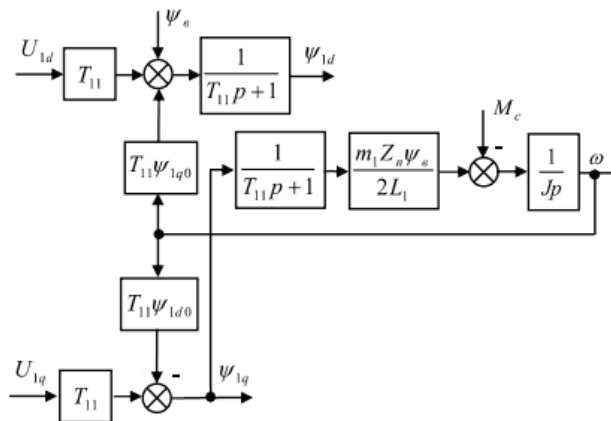


Рисунок 3 – Лінеаризована структурна схема синхронної машини з постійними магнітами на роторі, яка працює у режимі БДПС

Існує також підхід до математичного опису синхронного двигуна з постійними магнітами у вигляді нелінійних рівнянь та структурних схем, аналогічних системі (4) та схемі, зображених на рис. 2, з деякими модифікаціями – обрання систем координат та керуючих впливів. Наприклад, у [2, 5] наведено приклад побудови високоефективних систем керування електрорушійними багатоцільових автономних плавальних апаратів. Принцип побудови електрорушійного заснований на спрощеній моделі вентильного електроприводу (8), (9) на основі БДПС із мінімальною апаратною надмірністю апаратної частини.

Висновки. Збудження від постійних магнітів дозволяє суттєво спростити модель еквівалентної обмотки збудження *BLDC* двигуна у порівнянні з моделлю синхронної електричної машини з електромагнітним збудженням (є достатнім уявити обмотку збудження, як незалежне джерело ЕРС із власним внутрішнім опором). Структурне уявлення електроприводу на основі *BLDC* двигуна з урахуванням прийнятих припущень та спрощень дозволяє легко реалізувати, наприклад, засобами *MatLab/Simulink*, його математичну модель і подальший синтез контролерів струму та швидкості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Jeon H., Hur J., Yoon K. Control Method for Performance Improvement of BLDC Motor used for Propulsion of Electric Propulsion Ship. Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety.
2. Volyanska Ya., Volyanskiy S., Onishchenko O. Brushless valve electric drive with minimum equipment excess for autonomous floating vehicle. Electrical Engineering & Electromechanics, 2017, № 4, pp. 26-33.
3. Niapour S., Garjan G., Shafier M., Feyzi M., Danyali S., Kouhshahi M. Review of permanent magnet brushless DC motor basic drives based on analysis and simulation study. Int. Rev. Elec. Eng., 2014, Vol. 9, № 5, pp. 930-957.
4. Chang-liang Xia. Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives and Controls. Wiley, 2012, 304 p. ISBN-10: 1118188330.
5. Розвиток сучасної теорії і практики технічної експлуатації морського і річкового флоту: концепції, методи, технології. За наук. ред. В. А. Голікова та О. А. Онищенко. Миколаїв: Іліон, 2022, 396 с. DOI: 10.6084/m9.figshare.20279652. ISBN 978-617-534-687-7.

ЗАСТОСУВАННЯ МОДИФІКОВАНОГО МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ РІЗНИЦЬ ЗА ЧАСОМ ПРИ МАТЕМАТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ НЕСТАЦІОНАРНИХ ХВИЛЬОВИХ ПОЛІВ У СКІНЧЕНОМУ ЦИЛІНДРІ

О. В. Демидов, асистент

В.Г. Попов, д. ф.-м. н, професор

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. Розглядається задача математичного моделювання нестационарних хвильових полів у ізотропному пружному циліндрі скінченної довжини при дії на нього навантаження, що залежить від часу. Досліджено вплив швидкості зростання навантаження на хвильові поля переміщень і напружень в циліндрі.

Ключові слова: скінченний циліндр, скінченні різниці, нестационарне навантаження.

APPLICATION OF THE MODIFIED METHOD OF FINITE-DIFFERENCES ONLY WITH RESPECT TO TIME IN THE MATHEMATICAL MODELING OF NONSTATIONARY WAVE FIELDS IN A FINITE CYLINDER

O. Demydov, Assistant

V. Popov, Dr. of Science, Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The problem of mathematical modeling of nonstationary wave fields in an isotropic elastic cylinder of finite length under the action of a time-dependent load is considered. The influence of the speed of load growth on the wave fields of displacements and stresses in the cylinder was studied.

Key-words: finite cylinder, finite differences, nonstationary load.

1. Формулювання і розв'язання задачі. Розглядається пружний циліндр з ізотропного матеріалу висотою a і радіусом r_0 (Рис. 1). З циліндром пов'язана циліндрична система координат, центр якої співпадає з центром нижньої основи, а вісь Oz з віссю циліндра. Нижня основа циліндра ($z=0$) жорстко закріплена, а нормально до верхньої основи ($z=a$) прикладена, змінна за часом, розподілена сила, $P(r,t)$. На бічній поверхні виконуються умови ковзного контакту.

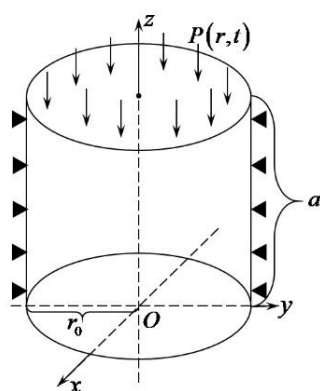


Рисунок 1 – Скінченний пружний циліндр

За таких умов циліндр знаходиться у стані віссиметричної деформації. Кутове переміщення дорівнює нулю, $u_\theta(\eta, \zeta, \tau) = 0$, а радіальне $u_\eta(\eta, \zeta, \tau)$ та осьове $u_\zeta(\eta, \zeta, \tau)$ переміщення задовольняють рівняння руху Ламе:

$$\mu \left(\Delta u_\eta - \frac{u_\eta}{\eta^2} \right) + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{1}{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} (\eta u_\eta) + \frac{\partial u_\zeta}{\partial \zeta} \right) = \rho \frac{\partial^2 u_\eta}{\partial \tau^2};$$

$$\mu \Delta u_\zeta + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\frac{1}{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} (\eta u_\eta) + \frac{\partial u_\zeta}{\partial \zeta} \right) = \rho \frac{\partial^2 u_\zeta}{\partial \tau^2},$$

$$0 \leq \eta \leq 1, 0 \leq \zeta \leq 1, \tau \in [0; +\infty)$$

де Δ – двовимірний оператор Лапласа у циліндричній системі координат, ρ – густина матеріалу циліндра, μ, λ – коефіцієнти Ламе.

Рівняння (1) розглядається з нульовими початковими умовами.

Граничні умови на нижньому торці формулюються так:

$$u_\eta(\eta, 0, \tau) = 0; \quad u_\zeta(\eta, 0, \tau) = 0; \quad 0 \leq \eta < 1, \quad \tau \in [0; +\infty) \quad (2)$$

Граничні умови на верхній основі виглядають наступним чином:

$$\sigma_{\zeta\zeta}(\eta, 1, \tau) = P(\eta, \tau), \quad \tau_{\eta\zeta}(\eta, 1, \tau) = 0, \quad 0 \leq \eta < 1, \quad \tau \in [0; +\infty) \quad (3)$$

На бічній поверхні виконуються умови ковзного контакту:

$$u_\eta(1, \zeta, \tau) = 0; \quad \frac{\partial u_\zeta}{\partial \eta}(1, \zeta, \tau) = 0, \quad 0 \leq \zeta < 1, \quad \tau \in [0; +\infty) \quad (4)$$

До початково-граничної задачі (1)-(4) був застосований метод, який ґрунтується на різницевій апроксимації похідних за часом [1]. Цей метод дозволив звести задачу (1)-(4) до сукупності послідовно розв'язуваних граничних задач:

$$\begin{cases} \frac{1}{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\eta \frac{\partial u_{\eta v}}{\partial \eta} \right) - \frac{u_{\eta v}}{\eta^2} + \frac{\xi^2}{\gamma^2} \frac{\partial^2 u_{\eta v}}{\partial \zeta^2} + \frac{1 - \xi^2}{\gamma} \frac{\partial^2 u_{\zeta v}}{\partial \eta \partial \zeta} = \xi^2 \kappa_v^2 u_{\eta v} \\ \frac{1}{\gamma} \left(\frac{1}{\xi^2} - 1 \right) \frac{1}{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\eta \frac{\partial u_{\eta v}}{\partial \zeta} \right) + \frac{1}{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\eta \frac{\partial u_{\zeta v}}{\partial \eta} \right) + \frac{1}{\xi^2 \gamma^2} \frac{\partial^2 u_{\zeta v}}{\partial \zeta^2} = \kappa_v^2 u_{\zeta v} \end{cases} \quad (5)$$

$$u_{\eta v}(\eta, 0) = 0; \quad u_{\zeta v}(\eta, 0) = 0; \quad 0 \leq \eta < 1. \quad (6)$$

$$\sigma_{\zeta\zeta v}(\eta, 1) = P_v(\eta), \quad \tau_{\eta\zeta v}(\eta, 1) = 0, \quad 0 \leq \eta < 1 \quad (7)$$

$$u_{\eta v}(1, \zeta) = 0; \quad \frac{\partial u_{\zeta v}}{\partial \eta}(1, \zeta) = 0, \quad 0 \leq \zeta < 1 \quad (8)$$

За допомогою скінченних інтегральних перетворень Ганкеля [2], задачі (5)-(8) були зведені до системи звичайних диференціальних рівнянь для трансформант:

$$\begin{aligned} U_{\eta m}''(\zeta) - (1 - \xi^2) \lambda_m \xi^{-2} \gamma U_{\zeta m}'(\zeta) - \xi^{-2} \gamma^2 \sigma_{1m}^2 U_{\eta m}(\zeta) &= 0, \\ U_{\zeta m}''(\zeta) + (1 - \xi^2) \lambda_m \gamma U_{\eta m}'(\zeta) - \xi^2 \gamma^2 \sigma_{2m}^2 U_{\zeta m}(\zeta) &= 0, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\sigma_{1m} = \sqrt{\lambda_m^2 + \xi^2 \kappa_v^2}, \quad \sigma_{2m} = \sqrt{\lambda_m^2 + \kappa_v^2}; \quad \xi^2 = c_2^2 c_1^{-2}, \quad m = 1, 2, \dots$$

Якщо $m = 0$ $U_{\eta 0}(\zeta) \equiv 0$, то $U_{\zeta 0}(\zeta)$ задовольняє рівняння:

$$U_{\zeta 0}''(\zeta) + \gamma^2 \xi^2 \kappa_v^2 U_{\zeta 0}(\zeta) = 0. \quad (10)$$

За допомогою нових змінних

$$X_m(\zeta) = (X_{1m}(\zeta), X_{2m}(\zeta), X_{3m}(\zeta), X_{4m}(\zeta))^T = (U_{\eta m}(\zeta), U_{\zeta m}(\zeta), U_{\eta m}'(\zeta), U_{\zeta m}'(\zeta)),$$

система рівнянь (15) була зведена до нормальної лінійної однорідної системи диференціальних рівнянь:

$$X'_m(\zeta) = A_m X_m(\zeta), \quad A_m = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \gamma^2 \sigma_{1m}^2 \xi^{-2} & 0 & 0 & (1-\xi^2) \xi^{-2} \gamma \lambda_m \\ 0 & \xi^2 \gamma^2 \sigma_{2m}^2 & -(1-\xi^2) \gamma \lambda_m & 0 \end{pmatrix}, \quad m=1,2,\dots \quad (11)$$

До систем (15) і (17) слід додати рівності, що випливають з граничних умов (2) та (3). При $m=0$ матимемо

$$U_{\zeta 0}(0)=0, U_{\zeta 0}'(1)=\xi^2 \gamma P_0 \quad (12)$$

У випадку $m \geq 1$

$$\begin{aligned} X_{1m}(0)=0, \quad X_{2m}(0)=0, \quad X_{3m}(1)-\lambda_m \gamma X_{2m}(1)=0, \\ X_{4m}(1)+(1-2\xi^2) \lambda_m \gamma X_{1m}(1)=\xi^2 \gamma P_m, \quad m=1,2,3,\dots \end{aligned} \quad (13)$$

У рівностях (18), (13) позначено

$$P_m = \int_0^1 \eta P(\eta) J_0(\lambda_m \eta) d\eta, \quad m=0,1,2,\dots$$

Розв'язок задачі Коші (10), (18) має вигляд

$$U_{\zeta 0}(\zeta) = \varkappa_v^{-1} \xi^2 P_0 \operatorname{sh}(\xi \varkappa_v \gamma \zeta) \operatorname{sch}(\xi \varkappa_v \gamma). \quad (14)$$

Загальним розв'язком системи (17) є вектор

$$X_m(\zeta) = \Phi_m(\zeta) \cdot C_m, \quad (15)$$

де $\Phi_m(\zeta)$ – фундаментальна матриця розв'язків системи, а $C_m = (C_{1m}, C_{2m}, C_{3m}, C_{4m})^T$ – вектор довільних сталих. Значення цих сталих може бути отримано з системи лінійних алгебраїчних рівнянь (13):

$$\Phi_m C_m = R_m, \quad R_m = (0, 0, 0, \sigma_{1m} P_m)^T, \quad (16)$$

Розв'язок системи (22), а потім і системи (21) з граничними умовами (13) знайдемо за допомогою оберненої матриці

$$\begin{aligned} \Phi_m^{-1} = M_m \Delta_m^{-1}; \quad \Delta_m = e_{1m} e_{2m} \det(\Phi_m) \\ X_m(\zeta) = \Delta_m^{-1} \Phi_m(\zeta) M_m R_m. \end{aligned} \quad (17)$$

Формула (23) дозволяє в явному вигляді визначити $U_{\eta m}(\zeta), U_{\zeta m}(\zeta)$, і потім за формулами обернених інтегральних перетворень визначити переміщення в циліндрі:

$$\begin{aligned} u_{\eta v}(\eta, \zeta) = 2 \sum_{m=1}^{\infty} P_m \frac{J_1(\lambda_m \eta)}{J_0^2(\lambda_m) \Delta_m} B_{1m}(\zeta); \quad u_{\zeta v}(\eta, \zeta) = 2 \left(\frac{\xi P_0 \operatorname{sh}(\xi \varkappa_v \gamma \zeta)}{\varkappa_v \operatorname{ch}(\xi \varkappa_v \gamma)} + \sum_{m=1}^{\infty} P_m \frac{J_0(\lambda_m \eta)}{J_0^2(\lambda_m) \Delta_m} B_{2m}(\zeta) \right), \\ B_{1m}(\zeta) = \lambda_m M_{14m} e^{-\sigma_{1m} \gamma (1-\zeta)} + \sigma_{1m} M_{24m} e^{-\sigma_{2m} \gamma (1-\zeta)} - \lambda_m M_{34m} e^{\sigma_{1m} \gamma \zeta} + \sigma_{1m} M_{44m} e^{\sigma_{2m} \gamma \zeta}; \end{aligned}$$

$$B_{2m}(\zeta) = \sigma_{1m} M_{14m} e^{-\sigma_{1m} \gamma (1-\zeta)} + \lambda_m \sigma_{1m} \sigma_{2m}^{-1} M_{24m} e^{-\sigma_{2m} \gamma (1-\zeta)} + \sigma_{1m} M_{34m} e^{\sigma_{1m} \gamma \zeta} - \lambda_m \sigma_{1m} \sigma_{2m}^{-1} M_{44m} e^{\sigma_{2m} \gamma \zeta};$$

2. Аналіз результатів числового моделювання. За допомогою отриманих формул був здійснений розрахунок осьових переміщень на верхньому торці $u_\eta(0,1)$ і нормальних напружень на нижньому торці $\sigma_{\zeta\zeta}(0,0)$ циліндра за умови дії навантаження, розподіленого за законом $\sigma_{\zeta\zeta}(\eta,1) = (1-\eta^2)$, а коефіцієнт Пуассона вважався $\nu = 0,25$. Результати обчислень наведено на Рис. 2, Рис. 3, де криві показують залежність переміщень та напружень від безрозмірної часу $\tau = c_2 r_0^{-1} t$ при різних швидкостях виходу навантаження на максимальний рівень. Криві з номерами 1, 2, 3 і 4 відповідають значенням кута зростання $\varphi = 90^\circ; 15^\circ; 45^\circ; 60^\circ$.

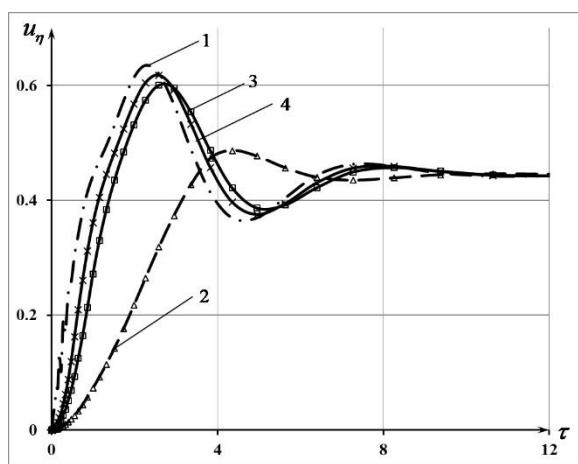


Рисунок 2 – Осьові переміщення

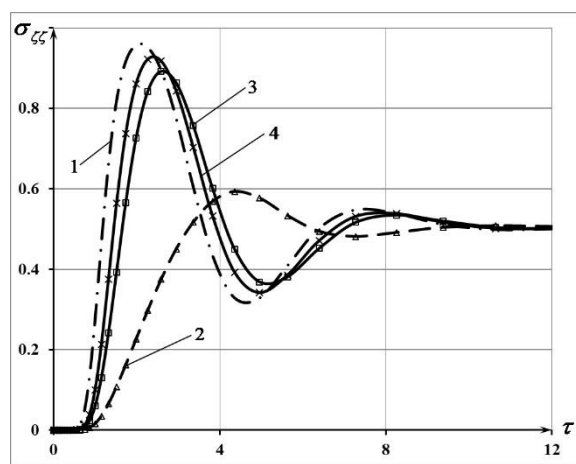


Рисунок 3 – Нормальні напруження

Графіки на рис. 2 - 3 демонструють той факт, що максимум значення осьового переміщення на верхньому торці циліндра та нормального напруження на нижньому його торці спостерігається під час перехідного процесу і цей максимум перевищує їх значення в усталеному режимі. А отже, руйнування, наймовірніше буде мати місце саме під час перехідного процесу.

Висновки.

У статті запропоновано метод розв'язання задачі моделювання нестационарних хвильових полів у пружному скінченному циліндрі, що знаходиться під дією навантаження, залежного від часу. Ця методика заснована на різницевому наближенні похідної за часом та використанні часової сітки зі спеціально підібраними вузлами. Числові результати демонструють ефективність такого підходу при дослідженні перехідних процесів, що відбуваються відразу після прикладення навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Savruk M P 2003 New method for the solution of dynamic problems of the theory of elasticity and fracture mechanics *Materials Science* **39** (4) 465–471.
2. Попов В. Г. Математичне моделювання енергетичних процесів / В.Г. Попов // Навч. посібник, НУ «ОМА», 2017. – 76 с.

УДК 621.396.932

**ВИЯВЛЕННЯ ПІДРОБЛЕНИХ ПОВІДОМЛЕНЬ В АВТОМАТИЧНІЙ
ІДЕНТИФІКАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ****О. В. Шишкін**, д.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Система автоматичної ідентифікації (АІС) є обов'язковою установкою морських суден. На даний момент надійна та безпечна робота АІС стикається з ймовірними кібератаками, такими як імітація кораблів-привидів або підроблені віртуальні навігаційні засоби. Пропонується спосіб забезпечення автентифікації та цілісності повідомлень АІС на основі використання коду автентифікації повідомлень та технології цифрових водяних знаків (ЦВЗ) для організації додаткового каналу передачі інформації. Метод забезпечує повну сумісність з існуючим функціоналом АІС.

Ключові слова: Автентифікація, Цифрові водяні знаки, Електронний цифровий підпис, секретний ключ, гаусівська частотна маніпуляція з мінімальним зсувом, швидке перетворення Фур'є.

DETECTION OF FAKE MESSAGES IN THE AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM**O. Shyshkyn**, Dr. of Science, Associate Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: Automatic Identification System (AIS) is a mandatory installation of maritime vessels. Currently the reliable and secure AIS operation faces against probable cyber-attacks such as imitation of ghost vessels, or fake virtual aids-to-navigation. We propose a method for ensuring the authentication and integrity of AIS messages based on the use of the Message Authentication Code scheme and digital watermarking (DWM) technology to organize an additional tag transmission channel. The method provides full compatibility with the existing AIS functionality.

Key-words: Authentication, Digital Watermarking, Electronic digital signature, secret key, Gaussian Minimum Shift Keying, Fast Fourier Transform.

Автоматична ідентифікаційна система (АІС) на разі є одним з основних навігаційних засобів у морському і річковому судноплаванні, за допомогою якої судна обмінюються інформацією трьох видів: статична, динамічна та рейсова. Повідомлення АІС передаються в автоматичному режимі з інтервалом від декількох секунд до декількох хвилин в залежності від швидкості і маневрування судна. Чим більше швидкість судна, тим частіше передаються повідомлення.

Судновий пристрій АІС, або транспондер, виконує функції постачальника даних власного судна і отримувача даних від інших суден, берегових станцій, навігаційних засобів-маяків, тощо. Транспондер АІС у відповідності міжнародної Конвенції обладнання суден СОЛАС (Safety of Life at Sea) є обов'язковим починаючи з 2003 року для встановлення на всіх вантажних суднах валової місткості 300 реєстрових тон і більше і усіх пасажирських суднах, що здійснюють міжнародні рейси. Суднові АІС є одним з головних технічних засобів забезпечення безпеки судноплавства. Але через низку вартість транспондерів та використання некодованих повідомлень АІС є вразливою системою для кіберзлочинів з будь-яких міркувань. Будь-які втручання за різними сценаріями в роботу

AIS негативно впливають на безпеку (у розумінні safety and security, англ.) судноплавства і життя людей.

Складність проблеми захисту повідомлень AIS обумовлена відкритістю і доступністю радіоканалу AIS для зловживань. Відомий спосіб захисту повідомлень AIS шляхом використання електронного цифрового підпису (ЕЦП) [1]. Зазначена система Protected AIS (pAIS) забезпечує перевірку цілісності і автентичності даних AIS за допомогою методів криптографії з відкритим ключем (асиметричне шифрування). Принцип дії pAIS заснований на використанні особистого та відкритого ключів, формуванні ЕЦП даних, що передаються AIS, за допомогою особистого ключа і додавання символів ЕЦП до даних AIS. Інші станції AIS, що приймають повідомлення, перевіряють справжність ЕЦП за допомогою відкритого ключа. Таким чином забезпечується перевірка цілісності і автентичності прийнятих даних. Недоліком системи є те, що ЕЦП потребує використання додаткових часових слотів для її передавання.

Метою статті є розроблення способу контролю автентичності даних AIS за допомогою ЕЦП з закритим ключем (симетричне шифрування з використанням коду автентичності повідомлень, Message Authentication Code, MAC), якій не створює додаткового інформаційного навантаження на канали AIS і є повністю сумісним з існуючим обладнанням AIS без функції захисту даних.

Поставлена мета досягається шляхом передачі не усієї ЕЦП, а тільки її ознаки у вигляді обмеженої кількості бітів ЕЦП або її скороченого хешу – довжиною від одного до чотирьох біт. У простішому випадку хешем довжиною один біт є біт парності (або непарності) всього ЕЦП. Біт парності доповнює кількість одиниць у складі ЕЦП до парної кількості. Тобто якщо кількість одиниць ЕЦП непарна, то біт парності дорівнює одиниці, у противному випадку нулю. Біт парності супроводжує передавання кожного слоту. Біти ознаки ЕЦП передають шляхом вбудовування у спектр сигналу GMSK AIS за технологією цифрових водяних знаків (ЦВЗ).

Ймовірність виявлення атаки $p_a(B, M)$ в залежності від кількості біт B , що передаються та кількості слотів обчислюється за формулою:

$$p_a(B, M) = 1 - 2^{-BM}. \quad (1)$$

У таблиці 1 наведена ймовірність виявлення за формулою (1) при збереженні п'яти цифр після коми.

Таблиця 1 - Ймовірність виявлення атаки

Кількість слотів M	Кількість бітів ознаки B			
	1	2	3	4
5	0,96875	0,99902	0,99997	0,99999
10	0,99902	0,99999	0,99999	0,99999
20	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999

Таким чином, як це свідчить з таблиці 1, атака у випадку використання тільки одного біту ЕЦП може бути виявлена впродовж 20-слотів з ймовірністю не менш 0,99999. Враховуючи темп передавання повідомлень AIS приблизно

6 секунд на одно повідомлення (судно рухається зі швидкістю 14 – 23 вузлів) [2], проміжок часу виявлення атаки становить дві хвилини.

Передавання бітів ознаки ЕЦП здійснюється наступним чином. Для передавання інформації АІС використає слоти тривалістю 26,6 мс. В радіоканалах АІС використовують сигнал GMSK - двохпозиційна частотна маніпуляція з мінімальним зсувом та гаусівською фільтрацією сигналу що модулює [2]. Сигнал GMSK є низькочастотним сигналом, якій формується у модуляторі. Для досягнення більшої пропускної спроможності використовують два канали. Швидкість передавання даних в кожному каналі на протязі одного слоту складає 9,6 кбіт/с при загальній ємності слоту 256 біт. Однак власне інформаційні дані складають 168 біт, решта – циклічний код перевірок (CRC) – 16 біт, службові біти для налагодження тактової синхронізації, буферна зона, тощо.

Вбудовування бітів ознаки здійснюють у частотній площині сигналу GMSK тобто у спектрі сигналу-носія за технологією цифрових водяних знаків (ЦВЗ). Спектр отримують за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Власне алгоритм вбудовування біту ЦВЗ заснований на модуляції бітом ЦВЗ коефіцієнта кореляції амплітуд спектра GMSK сигналу з певною випадковою двійковою послідовністю [3]. Внаслідок модуляції амплітудний спектр вихідного сигналу GMSK піддається певною модифікацією. Розраховані спектри до і після вбудовування біту ЦВЗ наведені на рисунку 1, де позначені: data1 – спектр вихідного сигналу, data2 – спектр модифікованого сигналу з вбудованим бітом, data3 – спектр сигналу корекції (або сигнал ЦВЗ). Сигнал корекції має рівномірний спектр в основній смузі частот GMSK, тому може вважатися сигналом типу білого шуму. На рисунку 1 спектр сигналу корекції обведений овалом.

Вбудовування додаткової інформації призводить до незначного погіршення відношення сигнал-шум. Відношення сигнал-шум SNWR (Signal to Noise+Watermark Ratio) децибелах обчислюється за наступною формулою:

$$SNWR = 10 \lg \left(\frac{\sigma_x^2}{\sigma_n^2 + \sigma_w^2} \right) = SNR - 10 \lg \left(1 + 10^{\left(\frac{WSR + SNR}{10} + \lg B \right)} \right), \quad (2)$$

де σ_x^2 – потужність GMSK сигналу-носія;

σ_n^2 – потужність зовнішнього шуму в каналі передачі;

σ_w^2 – додана потужність сигналу ЦВЗ в каналі передачі;

$SNR = 20 \lg(\sigma_x / \sigma_n)$ – відношення сигнал-шум в каналі, дБ;

$WSR = 20 \lg(\sigma_w / \sigma_n)$ – відношення ЦВЗ-сигнал в каналі, дБ.

З формули (2) отримуємо незначне погіршення SNR на 0,04 dB ($B = 1$) і 0,5 dB ($B = 4$) для типових значень $SNR = 14$ dB та $SWR = 34$ dB.

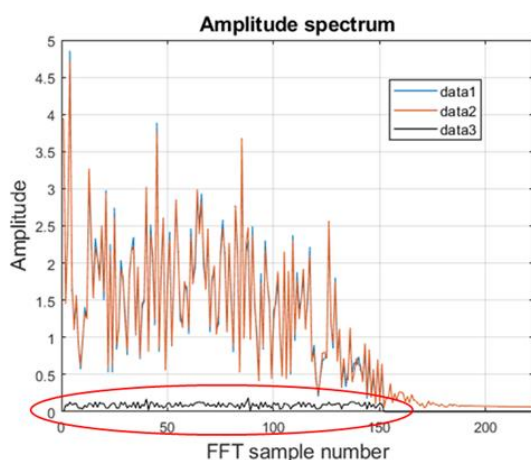


Рисунок 1 – Амплітудні спектри вихідного та модифікованого GMSK сигналу

Висновки. Пропонований спосіб виявлення підроблених, фейкових повідомлень АІС забезпечує повну сумісність з діючим обладнанням на фізичному рівні функціонування АІС. Спосіб оснований на використанні симетричного шифрування з використанням коду автентичності повідомлень (Message Authentication Code, MAC) і передавання обмеженої кількості бітів MAC за технологією цифрових водяних знаків. Передача додаткової інформації коду автентифікації призводить до незначного погіршення відношення сигнал-шум – не більше 0,5 дБ – що не впливає на загальні техніко-експлуатаційні характеристики АІС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kessler, G.C. "Protected AIS: A Demonstration of Capability Scheme to Provide Authentication and Message Integrity", TransNav - the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 14, Num. 2, June 2020, pp. 279 – 285.
2. Recommendation ITU-R M.1371-5 (2014) Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band.
3. Shyshkin O. Cybersecurity Providing for Maritime Automatic Identification System. 2022 IEEE 41th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). Conference Proceedings. October 10-14, 2022, pp. 736 – 740.

УДК 621.396.932

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СУДНОВОЇ СТАНЦІЇ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ SAILOR 250 FLEETBROADBAND У ВИПАДКАХ ЛИХА

В.І. Купровський, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: розглянуті особливості конфігурації суднової станції Sailor 250 FleetBroadband для використання в ГМЗЛБ у випадках лиха, процедури передачі оповіщення лиха та терміновості. Відображено основні функції панелі сигналізації SAILOR 3771 (TT-3771A).

Ключові слова: станція, передача даних, IP-телефон, панель сигналізації, термінал.

FEATURES OF USING THE SAILOR 250 FLEETBROADBAND SHIP SATELLITE STATION IN DISTRESS

V. Kuprovskyy, Ph.D., Associate professor

National University "Odesa Maritime Academy"

Abstract: the features of configuration the Sailor 250 FleetBroadband ship station for use in the GMDSS for distress, the procedure for transmitting a distress alert and urgency messages are considered. The main functions of the SAILOR 3771 (TT-3771A) alarm panel are shown.

Key-words: station, data transmission, IP-handset, alarm panel, terminal.

Суднова станція Sailor 250 FleetBroadband (FBB) – це сучасний термінал супутникового зв'язку системи INMARSAT, яка працює в мережі BGAN (Broadband Global Area Network). Вона надає великий перелік сервісів, в т.ч.:

передача даних (Data Standard IP, Data Streaming IP), передача голосу (Standard Voice, 3,1 kHz Audio), ISDN (Integrated Services Digital Network), відправка коротких текстових повідомлень, – для морського сегменту BGAN.

Для передачі оповіщення про лихо за допомогою Sailor 250 FBB передбачено додаткове обладнання (служба INMARSAT Voice Distress), яке до стандартної конфігурації станції не входить. Однак, якщо судно бере участь у ГМЗЛБ, наявність такого обладнання є обов'язковою. До його мінімального складу входять такі системні компоненти (рис.1):

- Панель сигналізації SAILOR 3771 (TT-3771A);
- IP-трубка Thrane (TT-3670A або TT-3670B);
- Термінал FleetBroadband (TT-3739A або TT-3738A);
- Антена FleetBroadband (TT-3050C, TT-3050A або TT-3052A/B/C).

Крім перерахованого обладнання система може включати додаткові телефони, роутери і т.д.

Панель сигналізації SAILOR 3771 використовується для подачі сигналів лиха за допомогою пов'язаної з нею IP-телефонної трубки та індикації вхідного сигналу лиха або терміновості. Панель сигналізації розміщується, як правило, поряд з телефонною трубкою для лиха.

Кнопки та текст, що відображається на панелі сигналів тривоги показані на рис.2.

Кнопки:

1 – Test – для тестування панелі сигналізації (справність кнопок, світлових індикаторів, звукового сигналу);

2 – Mute – для відключення звукового сигналу, що супроводжує вхідний виклик;

3,4 – Dim – зміна рівня яскравості дисплея;

5 – FB Distress – для подачі сигналу лиха до найближчого морського рятувально-координаційного центру (MRCC).

Символи на дисплеї:

a – FB – панель сигналізації підключена і пов'язана з системою FleetBroadband;

b – Distress – виклик лиха, або вхідний, або вихідний;

c – Fault – помилка системи (проблема мережі, несправність обладнання чи неправильна конфігурація системи);

d – Test – виконується аварійний тест (аварійний тест активується з IP-телефону).

Служба INMARSAT Voice Distress використовує мережу FleetBroadband для забезпечення пріоритетного доступу до викликів – переривання всіх викликів, що не є лихом. Коли червона кнопка лиха на панелі сигналізації натиснута, будь-які поточні виклики припиняються і вихідний екстрений виклик підключається до одного з трьох морських рятувально-координаційних центрів (MRCC) BGAN.

Перед початком роботи потрібно перевірити готовність обладнання. У верхній частині дисплея IP-телефону, призначеного для лиха, має відображатися символ . Коли на дисплеї з'являються символи  і , – система готова до виклику. На дисплеї SAILOR 3771 має відображатися FB• (точка після FB блимає під час запуску, доки система не буде готова до використання) і немає повідомлення про помилку системи (Fault).

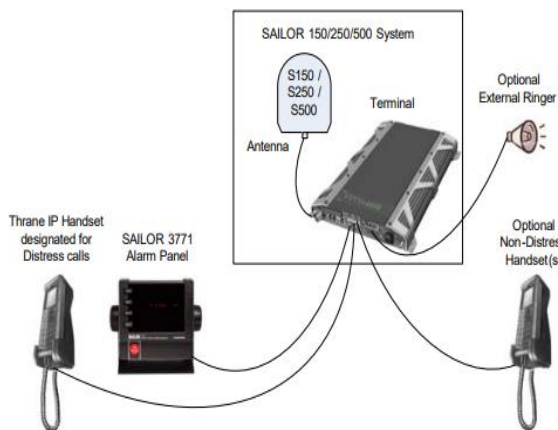


Рисунок 1 – Склад устаткування для передачі голосового оповіщення про лихо для терміналу Sailor 250 FleetBroadband

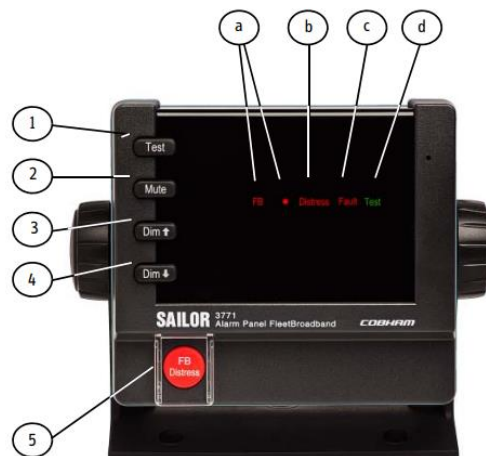


Рисунок 2 – Панель сигналізації SAILOR 3771 (TT-3771A)

Для передачі сигналу лиха необхідно:

- на панелі сигналізації SAILOR 3771 підняти кришку над червоною кнопкою FB Distress;
- натиснути та утримувати кнопку FB Distress протягом 5 секунд, поки звуковий сигнал не зміниться з переривчастого на більш протяжний, відпустити кнопку;
- коли задзвонить IP-трубка для виклику лиха – зняти слухавку та прийняти виклик від найближчого MRCC.

Під час виклику лиха у статусному полі дисплея IP-телефону лиха і панелі сигналізації відображається символ  і **Distress** відповідно (рис.3).

За допомогою IP-телефону, пов'язаного з панеллю сигналізації SAILOR 3771, можна також передати інформацію з пріоритетом «Терміновість» (Urgency). Для цього необхідно використовувати двозначні сервісні коди:

- 32: Urgency Medical Advice;
- 38: Urgency Medical Assistance;
- 39: Urgency Maritime Assistance.

Для передачі термінової інформації на IP-телефоні для виклику лиха необхідно набрати один з кодів і натиснути кнопку зняття трубки (**Off hook**). На дисплеї трубки відобразиться інформація, що відповідає обраному



Рисунок 3 – Передача голосового виклику лиха

коду, наприклад «Medical Assistance». Будь-які поточні виклики з нижчим пріоритетом автоматично вимикаються. Після відповіді на виклик необхідно виконати звичайну процедуру відправки термінового повідомлення.

Вхідні виклики з пріоритетом лиха супроводжуються звуковим сигналом. На дисплеї IP-телефону з'являється сигнал лиха. Індикатор лиха на панелі сигналізації починає блимати. Після встановлення з'єднання індикатор **Distress** горить постійно, доки не закінчиться процедура обміну, пов'язана з лихом.

Під час роботи з панеллю сигналізації особливу увагу треба приділяти до кнопки *FB Distress* і звуковим сигналам:

а) Зумер панелі сигналізації відображає наступну інформацію:

Дії	Реакція зумера
Натиснута кнопка FB Distress	Уривчасте звучання зумера, коли активована функція лиха; потім довший сигнал (1 секунда) та вимкнення
Вхідний виклик лиха	Уривчасте звучання зумера, доки не відбудеться з'єднання
Помилка системи	Зумер передає три сигнали – пауза – три сигнали – пауза і т.д. до вирішення проблеми або натискання кнопки Mute
З'єднання лиха встановлене	Зумер не спрацьовує
Обмін лиха завершений	
Натиснута кнопка Mute	

б) Кнопка FB Distress:

Дії	Реакція кнопки
Натиснута кнопка FB Distress	Блимання підсвічування кнопки
Сигнал лиха встановлюється (набір номеру)	Кнопка підсвічена постійно
З'єднання лиха встановлене	Кнопка горить, але ненадовго гасне через кожні 20 секунд
Обмін лиха завершений	Кнопка не горить

Якщо в устаткуванні для передачі голосового оповіщення лиха виникає несправність, звучить зумер і на дисплеї панелі аварійної сигналізації відображається повідомлення «Несправність» (**Fault**), рис.4. Якщо панель сигналізації, наприклад, втрачає з'єднання з терміналом FleetBroadband, точка FB зникає і символи **FB** і **Fault** починають блимати.



Рисунок 4 – Відображення стану несправності (**Fault**)

Якщо індикатор несправності відображається, а несправність не пов'язана з IP-телефоном, можна перевірити список активних аварійних сигналів в IP-телефоні:

- на IP-телефоні обрати Меню > **BGAN**;
- обрати пункт «Активні тривоги» (**Active Alarms**) та перейти до активного сигналу тривоги зі списку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sailor 500/250 including 19'' Rack Version, User Manual; Document number TT98 – 125645-E: Thrane&Thrane A/S. – 2009. – 250p.
2. Fleet Broadband Best Practices Manual, Version 1.0: The Mobile Satellite Company. – 2009. – 69p.
3. Thrane IP Handset, User Manual; Document number 98 – 126059-J: Thrane&Thrane A/S. – 2018. – 122 p.
4. Sailor Voice Distress (Non SOLAS), User Manual; Document number 98 – 133687-B: Thrane&Thrane A/S. – 2013. – 48 p.

УДК 621.39:656.61.087(045)

ОСОБЛИВОСТІ РЕТРАНСЛЯЦІЇ ЛИХА В ГМЗЛБ

О. Л. Пашенко, старший викладач

Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація.** Робота присвячена питанням здійснення ретрансляції лиха. Виклад теоретичної бази, розгляд основних нормативних документів. Опис обставин, за яких вона може бути здійснена. Практичне дослідження інтерфейсу апаратури нового покоління Sailor VHF DSC 6222 та Sailor 6301 MF/HF Control Unit Class A.*

***Ключові слова:** DROBOS, ретрансляція лиха, ГМЗЛБ, ПХ/КХ, УКХ, ЦВВ*

FEATURES OF A DISTRESS RELAY IN GMDSS

O. Pashenko, Senior lecturer
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The work is devoted to distress relay calls. The theoretical basis is presented; the main normative documents is considered. Description of the circumstances under which it can be carried out. The interface of the new generation is considered (Sailor VHF DSC 6222 and Sailor 6301 MF/HF Control Unit Class A equipment).

Key-words: DROBOS, distress relay, GMDSS, MF/HF, VHF, DSC

Відповідно до статті 32 [1] та [2], передача оповіщення про лихо або виклику про лихо означає, що рухомий об'єкт або особа наражається на серйозну і неминучу загибель і вимагає негайної допомоги. Проте, у випадку, якщо станція мобільної або мобільної супутникової служби сама не знаходиться у ситуації лиха, але дізналась про те, що інше судно у ситуації лиха може бути ініційована ретрансляція лиха для попередження рятувально-координаційних центрів або суден. Але важливо розуміти, що ретрансляція робиться не у всіх випадках лиха, а тільки за однієї з наступних умов:

- Станція у ситуації лиха сама не в змозі передати оповіщення про лихо.
- Капітан або особа, відповідальна за рухомий об'єкт, що не знаходиться у ситуації лиха, або особа, відповідальна за берегову станцію, вважає що необхідна додаткова допомога.
- Отримане в КХ діапазоні оповіщення або виклик про лихо не були підтверджені береговою станцією протягом 5 хвилин, аварійний радіообмін на відповідній радіотелефонній/радіотелекській частоті лиха не спостерігався [3].

В радіостанціях нового покоління Sailor VHF DSC 6222 [4] та Sailor 6301 MF/HF Control Unit Class A для виконання ретрансляції лиха необхідно натиснути функціональну клавішу DROBOSE (distress relay on behalf of someone else) [5,6]. У рядку Type: (RELAY INDIV, RELAY AREA) за допомогою регулятора налаштування необхідно встановити RELAY INDIV. В рядку DISTRESS MMSI ввести морський ідентифікатор судна, яке знаходиться у ситуації лиха, якщо він відомий. Оповіщення ретрансляції лиха бажано адресувати конкретній береговій станції або рятувально-координаційному центру, тому в рядку TO: необхідно вказати ідентифікатор берегової станції. У рядку DSC: вказати частоту на якій буде здійснена ретрансляція. У рядку Mode: (SSB, TELEX FEC) вказати вид послідувачого зв'язку. У рядку NAT: вказати характер лиха судна. Якщо відомі координати судна та час надходження координат, їх необхідно вказати в відповідних рядках: LAT, LON і POS UTC.

Для передачі ретрансляції оповіщення про лихо - натиснути функціональну клавішу SEND.

Після того, як ретрансляція про лихо буде надіслана в ефір, радіостанція налаштовується на відповідну радіотелефонну частоту та проговорюється текст повідомлення.

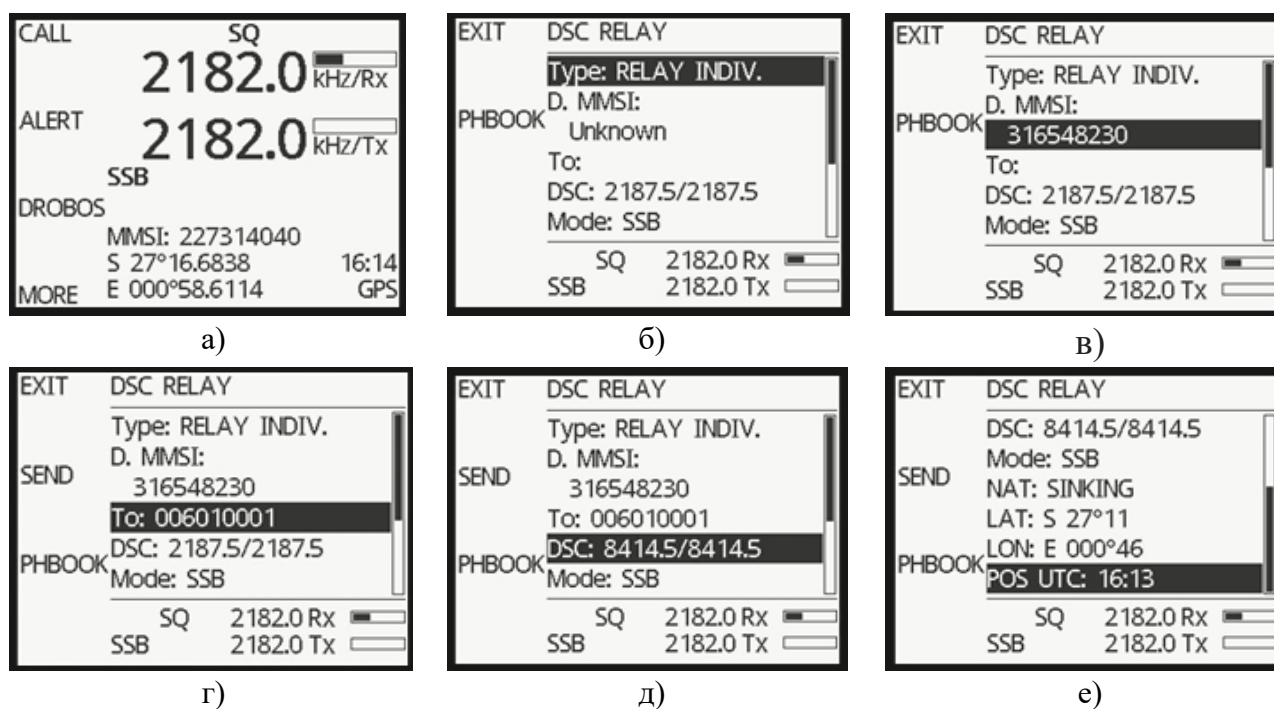


Рисунок 1 - Процедура здійснення ретрансляції лиха

Висновки. Використання навичок, здобутих в ході практичних занять, допомагають морякам правильно реагувати у ситуаціях пов'язаних з лихом. Перенасиченість радіоефіру помилковими викликами ускладнює роботу не тільки роботу на містку, а і на берегових радіостанціях. Тому, такі питання, як ретрансляція, помилково надіслане лихо, підтвердження, мають висвітлюватися більш детально, тим паче нові вимоги до устаткування пропонують нові можливості в напрямку покращення процедур радіозв'язку.

ЛІТЕРАТУРА

1. The Radio Regulations, ITU. Edition of 2020.
2. Recommendation ITU-R M.541-10 – Operational procedures for the use of digital selective calling equipment in the maritime mobile service. Edition of 2015.
3. COMSAR-Circ.25 - Procedure for Responding to DSC Distress Alerts by Ships, 2001.
4. Пашенко О. Л. Радіостанція Sailor VHF DSC 6222. Експлуатаційні процедури радіозв'язку: навчальний посібник / О.Л. Пашенко, В.І. Купровський, О.В. Шишкін. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – 51 с.
5. ETSI EN 300 338-2: Technical characteristics and methods of measurement for equipment for generation, transmission and reception of Digital Selective Calling (DSC) in the maritime MF, MF/HF and/or VHF mobile service; Part 2: Class A DSC, 2020.
6. Шишкін, О.В., Пашенко, О.Л. Нові вимоги до апаратури радіозв'язку з використанням цифрового вибіркового виклику. Судноводіння: Зб. наук. праць./ НУ «ОМА», 2021.

УДК 681.5

**МЕТОДОЛОГІЯ ТЕСТУВАННЯ ТА НАЛАШТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ****С.А. Михайлов**, д.т.н., професор**О.М. Веретеннік**, д.т.н., доцент**І.М. Кулешов**, к.т.н., доцент**Н.С. Михайлов**, аспірант

Національний університет "Одеська морська академія"

Анотація: Алгоритми та процедури тестування, налаштування та стійкості цифрових інформаційних систем.

Ключові слова: - цифрові інформаційні системи, тестування, налаштування.

**METHODOLOGY OF TESTING AND ADJUSTING FOR COMPUTERS
INFORMATION SYSTEMS****Sergiy A. Mikhailov**, Dr. of Science, Professor**Oleksandr M. Veretennik**, Dr. of Science, Professor**Igor N. Kulyeshov**, PhD, Assistant professor**Nikita S. Mikhailov**, Postgraduate student

National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract: Algorithms and procedures of digital information systems testing, adjustment and sustainable.

Keywords - digital information systems, testing, adjustment.

1. Introduction

Modern information control computer and electronic systems are certainly more complex than systems of previous generations. And often the complexity of software and circuitry solutions leads to the fact that engineers operating such systems consider all the problems associated with their debugging to be the same difficult. As a result, simple solutions of various set-up problems become unnoticed.

Therefore, a methodology (basic engineering algorithm) of troubleshooting and setting up digital devices at the system level is proposed, and its steps are called "Ten rules for debugging". The Ten Rules is a practical, systematic tool for solving some of the most common problems associated with the development and operation of information control computer electronic systems.

These principles apply to troubleshooting of wide variety of circuit board types, such as digital or analog circuitry, power supply and mixed hybrid integral circuits.

The use of these principles when debugging a failed system will simplify the problem of solving process and ensure the operability and commissioning of the system as soon as possible. Knowledge of these methods is important on all stages of

professional height of specialist on information technologies: from the primary educating to the subsequent in-plant training and perfection [1].

2. Description of the proposed method for determining the malfunction

The effectiveness of these ten commandments can be demonstrated by the example of solving the problems of certain digital system debugging (Figure 1). Here we take a “typical” digital system as a model [2]. The presented digital printed circuit board is a part of a larger system that includes other functional units, such as power supply, digital interface, data conversion interface (analog-to-digital and digital-to-analog converters), and an interface section generating in digital form the signals that come from external equipment. In this case, we assume that the board being debugged is the "brain" that controls the rest of the components of the electronic system as a whole.

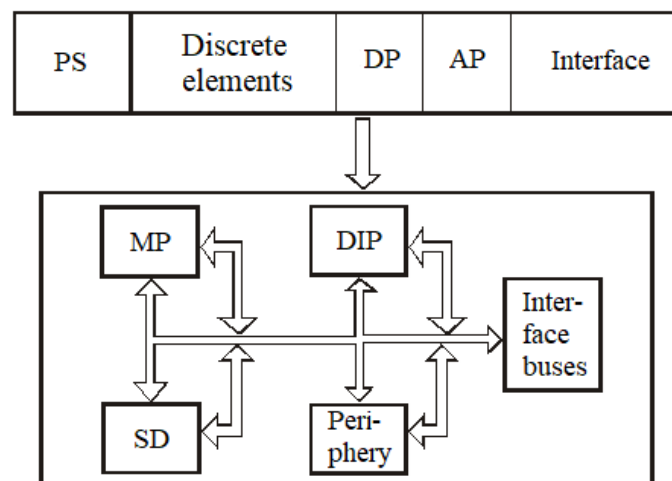


Figure 1 Objects of analysis of the digital part of the system:

PS - power supply; DP - digital part of the system; AP - analog part of the system; MP - microprocessor; SD - storage device; DIP - digital interface part of the system

The main components of the board are the following: microprocessor, local memory (both operational, on static storage devices with random access (RAM), and non-volatile, on reprogrammable read-only memory (EPROM)), an intelligent peripheral device (requiring minimal participation from the main processor to implement its own functions), a parallel bus interface, and an application-specific integrated circuit (IC) such as a gate array or programmable logic array (PLA), depending on circuit complexity and speed requirements. In addition to integrated circuits, additional sources of possible malfunctions can be discrete elements on the board - resistors, capacitors and connectors.

The aforesaid digital card is used to control other cards in the system, interacting with them via parallel bus interface. In this example, an intelligent peripheral is a serial data bus port through which an electronic system can communicate with other similar systems that form an entire computer network. A microprocessor located on the board controls the transmission of all internal and external messages and determines the information that must be requested from other boards or systems on the network.

In addition, the processor performs local computing functions.

What should be the first step in the process of debugging such device? To turn on the power and hope for the best? Not like that in any case!

Rule I: Conduct a visual inspection of the board.

The inspection consists of several steps:

- a) match the layout drawings of the board with the real product; make sure all parts are installed correctly;
- b) check that none of the components was damaged during installation, review all the IC and discrete component pins, the quality of the IC panel, and the quality of the rationings;
- c) match the real board with the scheme and with the list of elements to make sure that the devices provided for the scheme are installed. If a discrepancy is found, you should refer to the passport data or reference book to make sure that the replacement is acceptable;
- d) check the values and tolerances of all capacitors and resistors.

Rule II: check the elements connections.

Several important checks:

- a) make sure that there is no short circuit between power and ground. Many boards have several supply voltages (for example, 5V, 12V, etc.) and they can have several independent common "ground" buses (for example, the "ground" of the digital part of the system and the analog part can be different and have a difference in potentials). There must be no short circuit between all "grounds" and power circuits;
- b) check the wiring diagram of the board for compliance with the wiring diagram. The circuit should be called for continuity from the final output on the connector to the output of each component (and not to some intermediate control point!);
- c) check the correct wiring of the sync signal circuits from the connector to each component where this sync signal is used;
- d) check the circuits from the final contact of the connector to the corresponding contacts of the panel for installing the microcircuit.

Rule III: check the basic parameters of the system.

After fulfilling the first two commandments, you should control all the main parameters of the system level:

- a) check the amplitude and noise level of the power supply, set the voltage rating according to the circuit requirements. If the noise (ripple) of the supply voltage is large, you should try to reduce it by switching on decoupling and smoothing filter capacitors or by other means;
- b) configure the current limiter circuit - power supply protection to make it work at a certain level of current consumption (thanks to this, one can hope that the components will not burn out in case of unexpected problems);
- c) check the frequency and duty cycle of the system clock if it is generated outside the board.

Rule IV: check the problem node for compliance with the circuit diagram.

To fulfill this commandment, you should undertake the following steps:

- a) supply power to the board. Monitor the current consumed. Turn off the power and check the first three commandments in case it is too huge;
- b) run the board tests. These tests or verification procedures allow you to determine quickly whether the board matches its electrical circuit (i.e., whether all components are functioning, whether all traces and through-holes for double-sided and multilayer boards are intact, and whether all signals from the connector pins are correctly applied);
- c) if the test fails, then the problem must be carefully documented. Record the number of the test failed and all the signs of such failure. First of all, make sure you are supplying the correct input signals. Eliminate your own operator errors. Then check for correct installation.

Let's suppose, for example, that a test should verify the functioning of four discrete instruments. It provides for the supply of setting signals to discrete devices No. 1, No. 2, No. 3 and No. 4 and reading results 01, 02, 03 and 04 on the indicator. You run the test and send signals to the first instrument. You see 02 instead of 01 on the display. Record your results and continue. When you apply the reference signal to the second discrete device, you notice that 01 is indicated on the display. Record the results again and continue. By giving signals to the third and fourth device, you see the correct display readings - 03 and 04, respectively. The question arises: "For what reason does the first discrete device look like the second, and vice versa?"

First of all, make sure that you are making the correct input signals. Operator errors should be eliminated as soon as possible. Then check for correct installation. The circuit from the controlled discrete device to the indicator may be routed incorrectly (for example, two signals are mixed up). Maybe discrete device number 2 is associated with the least significant bit of the indicator, or vice versa? If we are talking about a wired breadboard, then the error can be eliminated immediately. If you are working with a printed circuit board, you can either clear the error first, or skip the entire test to check the rest of the board. However, you must clearly fix each problem so that you know exactly under what circumstances it occurred and what are the evidences.

Let's give one more example of the scheme implementation. You have just received a volumetric wiring board for setup. After visually inspecting the board, checking the integrity of the connections and setting the basic system parameters, you turn on the power - and suddenly you smell smoke. What is burning? More importantly, what is the reason? Turn off the power, repeat the first commandment and visually check the board. If you can not notice anything, try to check several circuits. This will allow you to understand which conductor or element has burned out. The fulfilled checking may indicate that the line from the connector power pins to the board is broken. If so, you should check whether too small conductor size was mistakenly chosen for the power wiring.

Rule V: “separate and powerer!”

Debugging complex systems usually require to solve complex problems, but

many of them are easily solved by breaking them down into several simple ones, i.e. usually they use the method with the name “divide and rule”.

To fulfill this commandment, follow the next steps

- a) identify the problem correctly;
- b) isolate the suspicious part of the microcircuit from the rest of the parts.

Isolation makes it possible to observe and control the input reference signals and check the output signals. This approach allows you to resolve such problems as conflicts (race) on the common bus, problems with the load of In / Out circuits, and others.

Example 1. Conflict situation on the bus [3].

It occurs when several users simultaneously try to seize the right to control the bus. To solve this problem, you should:

Disconnect all devices from the system bus, except for those suspected of creating conflict situation, in this situation such devices as transceivers and buffers shall be removed from the board. You should not expect that isolation will be ensured by using IC selection circuits (at the CS input) or at the output enabling input for tri-state logic. These control circuits can lead to malfunction and allow access to the system bus when not provided. After securing the isolation, check the reading and writing operations for the devices suspected, with a time-lapse analysis of the signals driving these operations.

Example 2. Problems of loading input/output (I/O) circuits. They arise when a particular output circuit is unable to handle the system's load. There are usually two reasons for this:

- a) insufficient levels of logic signals that are out of tolerance;
- b) excessive durations of the leading and trailing edges of the pulses.

Isolation provides the opportunity to observe unloaded output signals. If they are normal, then their distortion is associated with excessive loading.

Example 3: Specialized integrated circuit receives invalid data from a memory device (no bus conflict occurs).

In this case, various memory access control signals (eg write enable, IC select, output enable, etc.) should be isolated; analysis by comparing signals without load and with load for the levels of logical zero and one, surges / dips and the steepness of the leading and trailing edges of logical pulses shall be provided.

The point «divide and rule» leads you to focusing on debugging small sections of the system. This prevents the temptation to believe that the chips and other semiconductor elements located on the board are inoperative and need to be replaced. Such force methods such as replacing board or system components are highly ineffective and often fail to identify real system problems.

Rule VI: Understand how board elements should work.

Many debugging problems arise because the computer engineer simply does not understand how the electronic components used in the system are supposed to work. This is not only about the clean functioning of the devices, but also about the electrical characteristics for direct and alternating current. Various problems can manifest themselves at the system level, even if all the devices on board are functioning. These can be problems with the performance of the board as a whole, the

correctness of the input information, the integrity of the data and the required time sequence for the arrival of information - and all of them can be both permanent and episodic, intermittent. Moreover, problems can occur in the device as a whole, even if individual components of the board are functioning normally.

The procedure includes the following sequence of actions:

a) it is necessary to take into account the electrical characteristics of the DC circuits;

b) identify unused inputs that are not connected anywhere ("floating" and "hanging in the air" inputs). The way to eliminate such malfunctions is to fix the logic levels by installing load resistors on such inputs;

c) it is necessary to take into account the type of output circuit when checking the output signals. There are three options (Figure 2):

U-out - max (logic level "1"), U-out - min (logic level "0") and "third state" - high impedance.

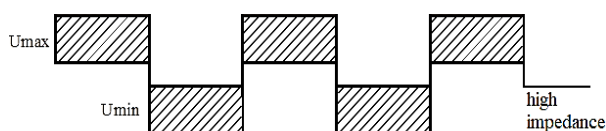


Figure 2 – Possible levels of output signals of digital ICs

It is necessary to find out the type of logical signals in the device - "positive" or "negative" logic, the values of the logical levels "1" and "0" for it, as well as the permissible values of fluctuations of these values.

Many system problems are the result of not taking into account the electrical characteristics of the DC input circuits, or unused inputs not connected anywhere (so called "floating" or "suspended in air" inputs). The output circuit must create the required voltage levels of logical zero and one for all inputs connected to it. You should double check the voltage requirements for all ICs in the problematic or isolated specialized section of the board.

Floating inputs are board inputs that do not receive voltage or current setting signals from one or another output. These inputs can cause functional and parametric problems in the system, such as increased current consumption, increased noise, and unexpected or unwanted generation of logic control signals as a result of unwanted or unexpected malfunctions. During debugging, check that all inputs receive either dynamic or constant static reference signals. Only inputs with leakage or load resistors can be left without such signals.

When checking the output signals, the type of output circuit must be considered. Active output circuits create voltage for inputs: high - for the logic level "1" or low - for the logic level "0". Three-state outputs create voltages for the inputs: high or low, or a third, high-impedance, state. Open-drain or open-collector outputs create only voltage for the input - a high level. In the absence of an active signal at such an output, a high-impedance state.

In order for an open collector/drain tri-state output circuit to properly drive the input, it requires a drain or load resistor. In the absence of such a resistor, the output

circuitry, when it goes into a high impedance state, essentially causes the input “to float”. Check all inputs to the circuit to determine if a drain or load resistor is required here. You also should remember that the resistance of the resistor and the current capabilities of the output buffer affect the duration of the rising and falling (leading and trailing) edges of the output signal.

d) analyze the logical formulas describing the functioning of the elements in the board;

e) check the configuration of the devices.

Since most of the elements are programmable (RAM, ROM, MP, PLM, BMK, MS, DC), incorrect setting of their configuration creates problems for the operation of the device as a whole.

It is necessary not only to take into consideration the input and output characteristics of all microcircuits in the system, but also to understand the functioning of semiconductor devices such as PML (programmable matrix logic) and specialized ICs. When debugging the system, you should re-analyze the logical formulas describing the functionality of these microcircuits. It often happens that an error in a logical formula will require many hours of setup work to correct it. For example, a PML programmed to implement bus arbiter functions may from time to time grant bus access to more than one DMA device. The reason of such a problem can only be identified by a careful analysis of the logical formulas of the PML using the “divide and rule” methodology.

Rule VII: Understand how software is supposed to work.

To fulfill this commandment, use the following guidelines:

a) interactions between hardware and software often cause many system-level failures and problems. The key to effectively debugging such systems is understanding of how software affects the hardware;

b) check that the configuration software is working correctly;

c) analyze the interaction of hardware and software. The hardware operability check is usually performed by writing (issuing) data to a device with the following reading for this device;

d) the best way to debug for complicated systems, complicated software and hardware systems, is to simplify the software. This approach is conceptually similar to the method of isolating individual device nodes.

Let's start with the main question: "How does software affect hardware?" In this example of a tunable system (Figure 1), a programmable microprocessor controls the configuration and operation of the ASIC and intelligent peripheral device. When debugging the system, verify that the configuration software is working correctly. Then you need to analyze the interaction of hardware and software. If at the hardware level incorrect transfer of information to system devices takes place, then problems usually arise. A simple hardware check is usually done by writing (outputting) data to a device and then reading it for that device.

This method of debugging by performing stepwise read / write operations allows you to identify effectively certain hardware limitations of the system. Failure to read correctly the data written to the device will confirm the presence of problems such as access to odd/even addresses or word length.

Problems of access to odd/even addresses arise when the microprocessor and software provide for recording only by odd or only by even words (for example, 1, 3, 5, etc.), and system devices require both odd and even addresses. Word length problems arise when the software and circuitry of the system requires different word lengths. All such problems, if identified in a timely manner, can be easily resolved.

Rule VIII: Understand how test facilities are supposed to work.

This commandment refers to the setup process, when the last enters the stage of testing the board or the complete system. Here you have to deal with problems related to test equipment and test software:

- a) determine the necessity of this test;
- b) interpret correctly the research results, identify incorrect testing methods;
- c) analyze the problem and classify it, referring to the category of functional or parametric. When it comes to parametric problems, the measuring instruments used, such as test loads and measuring instruments, should be evaluated. Analysis of functional problems consists in comparing test modes with real modes of system operation.

At this stage of testing, it is determined whether the test operations correspond to the real capabilities of the system. Many functional problems arise when test programs do not test all modes and means of the system or board that correspond to the real operating conditions. These problems can usually be solved when the system or board performs certain operations and the methods used to control these operations are analyzed.

Rule IX: Don't "get hung up" - take breaks.

For this commandment, it is necessary to follow the present recommendations:

- a) when you work on complex problems, you are forced to concentrate completely on it and, unfortunately, you focus on one problem area. The break allows you to open your eyes and see other possible causes of the malfunction;
- b) taking a break will help you get out of stress.

A timely break can often be very useful. If you are "obsessed", you can just have a cup of coffee, take a "stretch" or get a good night's sleep.

Why take breaks? First, when you are working on difficult problems, you have to concentrate your full attention on them. Unfortunately, it may turn out that you are only focusing on one problem area. A break in operation allows you to see other possible causes of the observed abnormalities. Taking a break is a way to remove blinders and solve a problem.

Second, if you have been trying to solve a particular serious problem for a long time, you may find yourself too much stressed. Do not panic. Take a break, check the fulfillment of commandments from I to VIII. By repeating this systematic procedure for debugging your board, you may find important "points" that you simply did not notice before.

Rule X: Try to look at the problem from a new perspective.

You have fulfilled the commandments from I to IX, but you could not find the

cause of the disfunction and understand any systemic problems. What to do next? Invite someone from your colleagues who can help you to look at the problems from a new perspective - someone who is not familiar enough with your board and its construction, but can ask a number of fundamental questions, i.e. have a fresh view on the problem.

The important thing to remember in this rule is that Commandment X is about taking a fresh look at your task, and not about asking too much help. You can just get confused if you have too many helpers and advisors. Be selective inviting colleagues to participate in the setup process. Ask for help from those experts, whose analytical mind, experience and opinion you value. Then your request for help will be beneficial and will not influence your credibility.

3. Conclusions

Algorithms and procedures of digital information systems testing, adjustment and sustainable, integral and complex estimation of refuse of the digital informative system, both «from within» her and «outside», gives an opportunity to define reasons of refuse and find the ways of renewal of the system [4]. The described methodology of search of disrepairs in the digital systems is a quite good working instrument for these aims.

REFERENCES

1. S. Mikhailov, "ITU Excellence Center For Digital Broadcasting in Odessa", Xth International Conference TCSET'2010 "Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science", February 23-27, 2010 Lviv-Slavske, Ukraine, p. 159.
2. Steven Jones. Keeping clear of a new threat. // Seaways: The International Journal of The Nautical Institute/ September, 2014. - London - UK.: Stephens&George, Merthyr Tydfil, 2011. - p.10.
3. Zhilenkov A. Investigation performance of marine equipment with specialized information technology [Text] / A. Zhilenkov, S. Chernyi // Energy Procedia. - 2015. - Vol. 100. - P. 1247-1252.
4. Wake Philip. Guarding against failure. // Seaways: The International Journal of The Nautical Institute/ September, 2014. - London - UK.: Stephens&George, Merthyr Tydfil, 2011. - p. 3.

УДК 681.5.004.49

ВИМОГИ ДО АРХІТЕКТУРИ, ПРОГРАМНОГО ТА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРЗАХИЩЕНИХ СУДНОВИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

С.А. Михайлов, д.т.н., професор

Ю.С. Шевцов, к.т.н., доцент

О.О. Таранов, курсант

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Сучасний рівень ефективності суднової кібербезпеки визначається стійкістю до безпосередніх впливів на обладнання та загальних впливів на експлуатацію судна. Необхідно проаналізувати наслідки для доступності, цілісності та конфіденційності даних для комп'ютерної системи через кіберзагрозу, яка зрештою може вплинути на безпеку людини, безпеку судна та загрозу навколишньому середовищу. При оцінці ризику слід враховувати тип судна, ступінь зв'язку між різними системами та між судном та берегом. Також слід враховувати вплив на системи, інтегровані або

пов'язані з іншими системами, включаючи вплив систем, що не знаходяться на борту, якщо передбачено функцію віддаленого доступу з берега.

Ключові слова: кібербезпека, кібератака, інформаційна безпека.

REQUIREMENTS FOR THE ARCHITECTURE, SOFTWARE AND HARDWARE OF CYBER-PROTECTED SHIPBOARD COMPUTER NETWORKS

S.A. Mikhailov, Dr. of Science, Professor

Y.S. Shevtsov, Ph.D., Associate Professor

O.O. Taranov, cadet

National University «Odessa Maritime Academy»

Annotation: The modern level of effectiveness of ship cyber security is determined by resistance to direct effects on the equipment and general effects on the operation of the ship. The implications for the availability, integrity, and privacy of data for a computer system due to a cyber threat must be analyzed, which may ultimately affect human safety, ship safety, and environmental threats. When assessing the risk, the type of vessel, the degree of communication between different systems and between the vessel and the shore should be taken into account. The impact on systems integrated or linked to other systems should also be considered, including the impact on off-board systems if remote access from shore is provided.

Keywords: cybersecurity, cyber-attack, information security.

1. Загальні вимоги до зв'язку та інтерфейсів:

Система має бути спроектована таким чином, щоб забезпечувати санкціоноване виконання функцій зв'язку та інтерфейсу. Проект системи повинен включати оцінку можливості та наслідків відмови однієї системи або обладнання, що поширюються на іншу систему, та визначення відповідних технічних засобів захисту. Слід розглянути комплексний підхід до захисту шляхом впровадження додаткових засобів контролю, визначених в оцінці ризиків.



Повинні бути передбачені засоби перевірки технічних засобів захисту внутрішніх та зовнішніх інтерфейсів та каналів зв'язку для використання під час випробувань обладнання, введення суден в експлуатацію, періодичних випробувань та протягом усього терміну служби обладнання.

При проектуванні системи слід враховувати вибір обладнання, включаючи датчики, комунікаційне обладнання, цілісність даних та встановлення з використанням оцінки ризиків та експлуатаційних вимог. Розгляд розташування та близькості до областей, що завдають шкоди даним (наприклад, областям з сильними електромагнітними перешкодами, схильним до погодних умов, схильних до випадкових механічних пошкоджень або людського втручання).

2. Вимоги до мережного обладнання:

Мережеві пристрої та їх пристрої моніторингу та сигналізації для систем категорій II та III повинні бути придатні для морського застосування та повинні

бути випробувані відповідно до вимог Міжнародної асоціації класифікаційних товариств (IACS) UR E22 (використання на борту та застосування комп'ютерних систем) або відповідних стандартів, прийнятими Класифікаційним суспільством. Усі мережні кабелі категорій I, II та III повинні бути спроектовані, виготовлені та випробувані відповідно до національних/міжнародних стандартів, прийнятих для Класифікаційного суспільства. Бездротове обладнання має бути спроектоване та випробуване відповідно до вимог, зазначених у IACS UR E22. Для забезпечення бажаної продуктивності та надійності мережі повинні бути розгорнуті відповідні системи мережного моніторингу та аварійної сигналізації. Системи моніторингу мережі повинні надавати адекватну інформацію, що описує кібер-інцидент, для використання передбачуваним користувачем. Якщо на судні передбачено можливість віддаленого підключення, то має бути можливість ідентифікувати кібер-інцидент, що відбувається за межами корабля. Якщо це потрібно класифікаційними товариствами або за результатами оцінки ризику, необхідно передбачити резервну мережу.

3. Вимоги для забезпечення відмовостійкості:

Для систем категорій II і III з'єднання всередині підсистем та їх мереж повинні бути стійкими до відмови з самокоректуючими властивостями, що гарантують безвідмовну передачу даних. Місцеві елементи керування та індикатори повинні бути частиною стійкості до відхилення архітектури. Вимоги до архітектури повинні ґрунтуватися на оцінці ризиків та вимог Класифікаційного суспільства. Поверхня атаки систем та даних категорій II і III має бути зменшена шляхом їх відокремлення від некритичних даних та процесів. Мета повинна полягати в тому, щоб розділити можливості, щоб запобігти хвильовим ефектам, які можуть заразити великі частини систем в результаті одного кіберінциденту. У разі відмови будь-якого мережного обладнання або погіршення роботи через кіберінцидент обладнання повинно перейти в певний безпечний стан або підтримувати безпечну роботу, залежно від ситуації. При необхідності слід проводити аналіз наслідків режиму відмови та оцінку вразливості систем та мереж для основних послуг.



4. Вимоги до обладнання:

Комп'ютерні системи повинні бути встановлені у відповідних корпусах, якщо захист пристрою від проникнення не відповідає вимогам Класифікаційного суспільства. Огородження повинні забезпечувати доступ до обслуговування.

Пристрої повинні розташовуватися в приміщеннях, що добре провітрюються і повинні встановлюватися на достатній відстані від джерел вібрації, щоб на них не надавала несприятливого впливу зовнішня вібрація, що перевищує значення, встановлені IACS UR E10 (специфікація випробувань для затвердження типу). Ця специфікація випробувань застосовна, але не обмежується, до електричного, електронного та програмованого обладнання, призначеного для систем управління, контролю, сигналізації та захисту для використання на судах. Устаткування має бути встановлене на достатній відстані від джерел електромагнітних перешкод (ЕМП) з рівнем перешкод, що перевищує значення, встановлене IACS UR E10. Конкретні рекомендації/вимоги виробника слід враховувати під час проектування установки.

5. Вимоги до кабельної системи:

Мінімальний радіус вигину, вказаний для кабелю, не повинен перевищуватись, особливо для волоконно-оптичних кабелів, де це може призвести до втрати сигналу. Відділення мережі від джерел електромагнітних перешкод (ЕМП) має відповідати вимогам Класифікаційного товариства та рекомендаціям постачальника та системного інтегратора. Рекомендується згрупувати та розділити критично важливі системи на мережні зони із загальними рівнями кібербезпеки, щоб керувати відповідними ризиками та досягти бажаного цільового рівня кібербезпеки для кожної мережної зони.

Висновки: Дані вимоги можна як рекомендацію розробки програми створення кіберстійких комп'ютерних мереж на борту. Інші види діяльності та процедури, що виходять за рамки цієї рекомендації, повинні бути реалізовані з метою кіберстійкості відповідно до додаткового необхідного рівня для судна, якщо це необхідно. Найбільш важливими серед інших видів діяльності та процедур є система управління безпекою суден, закріплені за нею процедури берегової компанії та всебічна оцінка ризиків, пов'язаних з розгортанням комп'ютерних мереж.

ЛІТЕРАТУРА

1. Структура защиты информации в международной географической организации / Михайлов С.А., Шевцов Ю.С. // Інформаційні управляючі системи та технології: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції / відп. ред. В.В. Вичужанін ; Одес:изд-во “Екологія”, 2019 нац. політех. ун-т.
2. Міжнародні вимоги американського бюро судноплавства до стандартів кібербезпеки морських автоматизованих систем / Михайлов С.А., Шевцов Ю.С, Харченко Р.Ю. // Інформаційні управляючі системи та технології: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції / відп. ред. В.В. Вичужанін; Одес: изд-во “Екологія”, 2020 нац. політех. ун-т.
3. Захист цифрових даних в судовому сегменті морської інфраструктури Ю.С. Шевцов, Н.С.Михайлов, Д. Д. Дмухайлов Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика // Матеріали науково-методичної конференції: Одеса, Національний університет «Одеська морська академія» 2020. – с.134-136.

ІЄРАРХІЯ ЦІЛЕЙ ТА МОТИВІВ КІБЕРЗЛОЧИНІВ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

С.А. Михайлов, д.т.н., професор

Ю.С. Шевцов, к.т.н., доцент

В.В. Ходос, курсант

М.С. Баєв, курсант

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Останнє десятиліття було затьмарено підвищенням чисельності кібератак на морський сектор. Кіберзлочинці все більше спрямовують свої погляди на судноплавну галузь. Аналізуючи результати їхньої діяльності, експерти виявили низку вразливостей безпеки у ключових технологіях, що використовуються на судах. Наприклад, морські системи автоматичної ідентифікації, які використовуються для перегляду цифрових навігаційних карт. У міру надходження нових випадків морського кібершпигунства, стає ясно, що моряки не завжди можуть виявити проблему у випадку, наприклад, злому навігаційних пристроїв на борту судна. Впровадившись у GPS-обладнання, кіберзлочинці здатні вплинути на курс судна, непомітно для екіпажу. Подібні інциденти, змусили усвідомити, що морський кіберпростір вразливий для атак. У наш час боротьба з кіберзлочинністю в морському секторі набуває світових масштабів. Для вирішення завдань морської кібербезпеки вже спрямовані значні ресурси, правильність використання яких залежить від аналізу мотивів та цілей кіберзлочинців.

Ключові слова: інформаційні злочини, кіберпростір, кіберзлочинці.

HIERARCHY OF GOALS AND MOTIVES OF CYBER CRIMES IN MARITIME TRANSPORT

S.A. Mikhailov, Dr. of Science, Professor

Y.S. Shevtsov, Ph.D., Associate Professor

V.V. Khodos, cadet

M.S. Baev, cadet

National University «Odessa Maritime Academy»

Annotation: The last decade has been overshadowed by an increase in the number of cyber-attacks on the maritime sector. Cybercriminals are increasingly turning their sights on the shipping industry. Analyzing the results of their activities, experts discovered a number of security vulnerabilities in key technologies used on ships. For example, marine automatic identification systems used to view digital navigation charts. As new cases of maritime cyberespionage emerge, it is becoming clear that seafarers may not always be able to detect a problem in the case of, for example, the hacking of navigation devices on board a ship. By hacking into GPS equipment, cybercriminals are able to influence a ship's course without the crew noticing. Similar incidents made us realize that maritime cyberspace is vulnerable to attacks. Nowadays, the fight against cybercrime in the maritime sector is taking on a global scale. Considerable resources have already been allocated to solving the problems of maritime cyber security, the correct use of which depends on the analysis of the motives and goals of cybercriminals.

Keywords: information crimes, cyberspace, cybercriminals.

Під кібератакою в морському секторі, мається на увазі замах на систему безпеки судна, компанії, держави. Якими б не були цілі та мотиви кібератаки на судно чи всю компанію, суб'єкти загрози визначають результат, якого вони намагаються досягти. Ці результуючі кіберзлочини можуть бути спрямовані на весь бізнес, конкретне судно або підсистеми компанії та можуть бути об'єднані у такі групи:

1) Ліквідація – результатом дій може стати фізична втрата вантажу (викид за борт, пожежа тощо), знищення судна (аварія з подальшим затопленням) або навіть глобальна катастрофа руйнування портових споруд (прорив дамби, вибух платини тощо)

2) Нейтралізація - результатом дії може стати уповільнення швидкості судна або повна зупинка його ходу, погіршення орієнтування та вибору курсу судна аж до відсутності можливості керування тощо.

3) Перешкода – результатом дій може стати відмова у доступі до судових систем або ключових даних управління з метою вимагання та фінансової вигоди.

4) Розпізнавання – результатом дій може бути ідентифікація людей, вантажів чи судів для відстеження, з метою запланованого фізичного нападу чи маніпулювання вантажем.

5) Підробка – результатом дій може стати зміна показань датчиків, відеокамер, приладів таким чином, щоб забезпечити вилучення даних/інформації, їх заміну чи знищення.

Наведені дії є остаточно сформованими, оскільки залежить від мотивів злочину. Мотивом кібератаки в судноплавному секторі може бути одна з наступних шести цілей:



1) Незаконні дії в кіберпросторі.

Такі дії переслідують безпечні цілі, а саме: порушення конфіденційності та несанкціонований доступ до систем. Дії можуть бути скоєні порушниками або внаслідок незаконної діяльності незадоволених співробітників та підприємців. Коли порушники отримують доступ до системи без дозволу власника системи,

їх дії можуть бути зловмисними, проте вважаються злочином.

2) Незаконна діяльність активістів.

Така діяльність може спричинити небезпечні наслідки. Метою може бути великий спектр порушень, від запобігання обробці деяких сегментів вантажу до повного виведення судна з ладу. Метою може бути судно, оператор судна або третя сторона, така як постачальник або одержувач вантажу. Мотиви у разі можуть нести гуманний характер, наприклад екологічний рух, у своїй не звільняючи злочинців від відповідальності. Диверсійна діяльність.

3) Злочинна діяльність.

Ця діяльність може призвести до дуже небезпечних наслідків. Зазвичай рухається отриманням фінансової вигоди, іноді помсти, сюди може входити завдання збитків, спроба крадіжки вантажу, контрабанда товарів та людей, а також дії щодо ухилення від сплати податків та акцизних зборів.

4) Морський кібертероризм.

Це надзвичайно небезпечна діяльність злочинців, рухома різними вищепереліченими спонуканнями. Морський кібертероризм - організація злочинних дій у морському кіберпросторі, що створюють загрозу державі прапора, життю екіпажу та береговим співробітникам.

5) Військова агресія.

Це на рівні держав, максимального ступеня небезпеки. Метою подібного конфлікту є руйнування інфраструктури портів для відмови в поточному обслуговуванні морської індустрії держави або захоплення/знищення суден та військово-морського флоту конфліктуючих сторін.

Висновки: Розглядаючи можливі цілі та мотиви загроз з боку, виділених вище груп, слід зазначити, що між цілями та завданнями різних пунктів може бути багато спільного. Наприклад, деяке модифікаційне програмне забезпечення, розроблене хаккерами, включають модулі адміністрування та регулювання, що дозволяють можливість крадіжки даних і модифікації на всіх розглянутих рівнях. Таким чином, розроблені кіберзлочинцями системи, які були призначені для одних дій, в результаті використовуються у всьому спектрі злочинної діяльності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Допіра М.В., Шевцов Ю.С. Проблеми зростання кібератак на морську індустрію [Текст] / Допіра М.В., Шевцов Ю.С.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 139-141.
2. Михайлов С.А., Шевцов Ю. С., Сочинський Д.Р. Конфігурація системи кібербезпеки судна та бортового персоналу. [Текст] / Михайлов С.А., Шевцов Ю. С., Сочинський Д.Р.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 120-123.
3. Шевцов Ю.С., Чуйко Я.І. Багаторангова стратегія захисту судна від кібератак [Текст] / Шевцов Ю.С., Чуйко Я.І.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 141-143.

УДК 681.5.004.49

СУДНОВІ ІНФОРМАЦІЙНІ АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ, ВРАЗЛИВІ ДЛЯ КИБЕРАТАК

Ю.С. Шевцов, к.т.н., доцент

Н.С. Гах, курсант

М.С. Денисов, курсант

Д.Р. Андрієвський, курсант

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Інтенсивність кібератак за останні роки стрімко зростає, що призводить до великих фінансових втрат для морського бізнесу, санкцій з боку регулюючих органів та побічних ефектів, таких як втрата репутації. Довгі роки морський сектор вважався щодо безпечним, через ізоляцію його об'єктів у морських просторах. Проте появи кіберзагроз кардинально змінило стан справ у мор-

ській індустрії щодо захисту інформаційних активів компаній. Незважаючи на те, що в цій галузі проводяться деякі дослідження, кібербезпека на морі ще не була глибоко досліджена.

Ключові слова: кібербезпека, кібератака, інформаційна безпека.

AUTOMATED SHIP INFORMATION SYSTEMS VULNERABLE TO CYBER ATTACKS

Y.S. Shevtsov, Ph.D., Associate Professor

N.S. Hah, cadet

M.S. Denisov, cadet

D.R. Andrievskiy, cadet

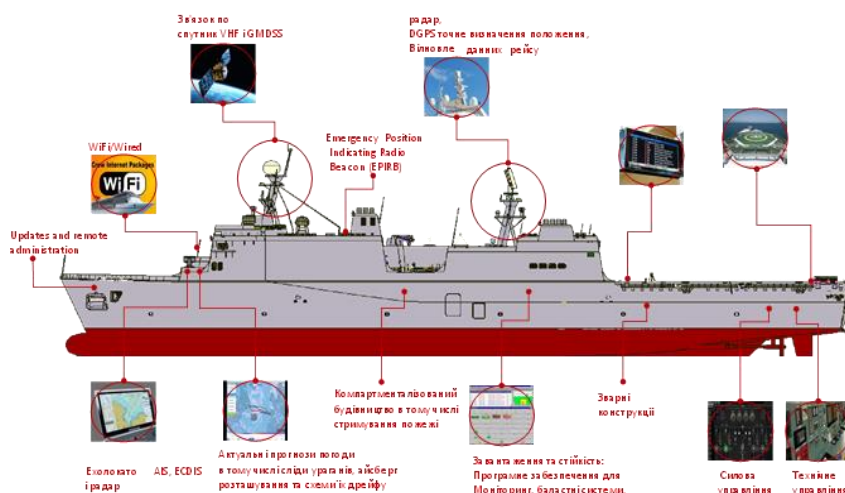
National University "Odesa Maritime Academy"

Abstract: The intensity of cyber-attacks has been increasing rapidly in recent years, resulting in large financial losses for maritime businesses, regulatory sanctions and side effects such as reputational damage. For many years, the maritime sector was considered relatively safe, due to the isolation of its facilities in maritime spaces. However, the emergence of cyber threats has fundamentally changed the state of affairs in the maritime industry regarding the protection of information assets of companies. Although there is some research in this area, cyber security at sea has not yet been explored.

Keywords: cyber security, cyber-attack, information security.

У наш час, інформаційні системи судна є однією з найбільш схильних до кібератак областей. Причиною цього стала сильна залежність від мережевих додатків, і несанкціонований вплив зловмисників може вплинути на багато аспектів їхньої роботи. Збої, викликані кібератаками, можуть впливати на роботу деяких систем судна, і навіть вивести з ладу критичні елементи управління. Вивченням проблем кібербезпеки вже зайняті багато інститутів, але зі зростанням технологічного процесу збільшується і плацдарм для кібератак. Для того щоб визначити загрози безпеці, необхідно розуміти, де вони можуть виникнути і з якої причини. Вивченню підлягають усі суднові устрою, які мають зв'язок із зовнішнім світом чи іншими потенційно небезпечними елементами. Наступним кроком стає організація комплексної системи захисту всім потенційно небезпечних систем судна.

Сучасні судна настільки комп'ютеризовані, що навіть не мають штурвала, десятки моніторів перед очима капітана стають результатом обробкою гігабайтів інформації, що надходить з приладів. Технічні нововведення наближають до досконалості управління судном, адже на містку вже достатньо одного навченого члена екіпажу для контролю роботи всіх систем. Однак деякі з цих систем уразливі для атак, оскільки



вони вважаються менш критичними та не захищені належним чином. Як показано на малюнку, ці системи включають системи навігації, радіовиявлення та визначення дальності (радар), системи автоматичної ідентифікації (AIS), системи зв'язку та системи управління для широкого спектру електромеханічних систем на борту, таких як головний двигун, генератори, приводи перетворювачів і т.д.

Навігаційні системи включають систему відображення електронних карт та інформації (ECDIS), Глобальна система позиціонування (GPS) та Глобальна навігаційна супутникова система (GNSS). GPS та GNSS є ключовими факторами для сучасного та автономного судноплавства у всьому світі. Супутникове позиціонування можна використовувати разом з іншими системами ситуаційної поінформованості, які дають інформацію щодо відносного позиціонування прийняття рішень. Автоматична ідентифікаційна система (AIS) - це система радіомовлення, що працює як на кораблях, так і на березі. Він використовується для моніторингу руху суден та допомоги, а також для оповіщення портової та морської влади про місцезнаходження судна. Це також дуже корисно для розслідування аварій, пошуково-рятувальних угод та прогнозування погоди. Насправді здатність покладатися на дані, що передаються, має вирішальне значення для підтримки поінформованості про ситуацію та уникнення зіткнень у морі. ECDIS - це вбудована електронна навігаційна система, що об'єднує дані, отримані від ряду електронних навігаційних датчиків, таких як GPS, радар та AIS, і відображає їх у вигляді графічного зображення. Міжнародна морська організація (ІМО) вимагає, щоб усі комерційні судна мали ECDIS, яка зазвичай встановлюється на містку. Радіовиявлення та визначення дальності (радар) також є важливою системою для сучасних суден, оскільки вона надає цінну інформацію про оточення судна, а також виявляє фізичні об'єкти за допомогою радіохвиль, наприклад, мікрохвиль в електромагнітному спектрі.

Крім того, судноплавство та морська промисловість значною мірою залежать від судових промислових систем управління (ICS) та мережевих ІТ-систем. ICS допомагають швидко збирати та об'єднувати дані безпеки та оперативні дані з усіх систем управління та автоматизації судна. Він контролює температуру, тиск, рівень, в'язкість, контроль потоку, швидкість, крутний момент, напругу, струм, а також стан машин та обладнання на борту, щоб підтримувати безпеку та експлуатаційну надійність і не відставати від загроз, що розвиваються.

Висновки: глобальна морська система лиха (GMDSS), система управління силовою установкою, інтегровані системи мосту (IBS), управління механізмами та системи контролю живлення є іншими характеристиками систем автоматизації на борту, що відіграють все більшу роль у забезпеченні безперебійної, безпечної та ефективної експлуатації судна. Оскільки складність, цифровізація та автоматизація систем у морській галузі зростають, сучасні судна стикаються з зростаючою кількістю нових проблем, пов'язаних з безпекою та захистом даних ІТ-систем на борту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Михайлов С.А., Шевцов Ю. С., Сочинський Д.Р. Конфігурація системи кібербезпеки судна та бортового персоналу. [Текст] / Михайлов С.А., Шевцов Ю. С., Сочинський Д.Р.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 120-123.
2. Структура защиты информации в международной географической организации / Михайлов С.А., Шевцов Ю.С // Інформаційні управляючі системи та технології: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції / відп. ред. В.В. Вичужанін ; Одес:изд-во “Екологія”, 2019 нац. політех. ун-т.
3. Захист цифрових даних в судновому сегменті морської інфраструктури Ю.С. Шевцов, Н.С. Михайлов, Д. Д. Дмухайлов Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика // Матеріали науково-методичної конференції: Одеса, Національний університет «Одеська морська академія» 2020. – с.134-136.

Секція 8. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА ПРИСТРОЇВ
В ЕЛЕКТРО - ТА РАДІОТЕХНІЦІ

UDC 621.362.2

METHODS FOR AUTOMATED RESEARCH OF DC VOLTAGE CONVERTERS

R. Yu. Kharchenko¹, Ph.D., Associate Professor**V. A. Zavadskiy¹**, Ph.D., Associate Professor**A. V. Kochetkov²**, Ph.D.¹National University "Odessa Maritime Academy"²Odessa National Maritime University

Abstract: Currently, there are a large number of different software packages used in engineering practice for the study and design of radio engineering devices. However, such computer-aided design (CAD) systems and virtual computer simulation of electronic circuits have some limitations that do not allow to fully quickly and efficiently carry out the entire complex of studies of DC voltage converters (DCV) required for the analysis of electrical processes in various operating modes.

Key-words: modular voltage converters, power channel, converter operation modes, research algorithm for electrical processes.

In the study and computer-aided design of radio-technical devices, simulation of their operation on a computer is widely used today, when instead of expensive long-term experimental testing of electrical energy converters on breadboards, research using mathematical models describing the processes of the devices under study is used.

The object of study is the electrical processes and energy parameters in pulse DC converters of modular structure.

The subject of study is the methods for studying electrical processes and energy parameters of modular DC voltage converters (DCV).

The purpose of the work is to select the most suitable methods and algorithms that allow the development of software necessary for solving the problems of research and analysis of electrical processes and energy parameters of the DCV modular structure.

To achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks:

- to analyze modern methods of automated research of radio engineering devices.
- choose the most suitable method for the study of DCV.
- using the selected mathematical model to develop algorithms and software for solving the problems of research and analysis of electrical processes DCV.
- to analyze the obtained results of the study of electrical processes and energy parameters of pulsed DCV.

Mathematical models described in [1, 2, 3] describing electrical processes in a separate power channel and the converter as a whole, allow investigating the dependences: currents and voltages in the PWC elements, in its supply circuits and the load of the converter at a given operating mode. This makes it possible at any time to determine the magnitude of instantaneous currents, their maximum and minimum val-

ues, as well as the magnitude of the absolute and relative ripple of voltages and currents at the input and output of the DCV, respectively, with the SPC and MPC, as well as other electrical and energy parameters of the modular structure converters required to select the optimal parameters of the elements, operating modes of the power unit and control algorithms.

The indicated mathematical models also allow us to construct the dependences of the quality indicators of the electrical processes of the DCV and energy parameters on the value of the values of the accumulation factors f_a and the transformation coefficient n_{21} , the numbers N of PWC and other parameters for different modes of operation of the DCV [1].

These dependencies make it possible to identify the features of electrical processes (for example, under different operating modes) with other parameters unchanged (N , L_k , C_k) and to assess the degree of influence of one parameter or another on the nature of the dependence in the entire control range, both in any individual PWC, as well as and in the converter as a whole (Fig. 1).

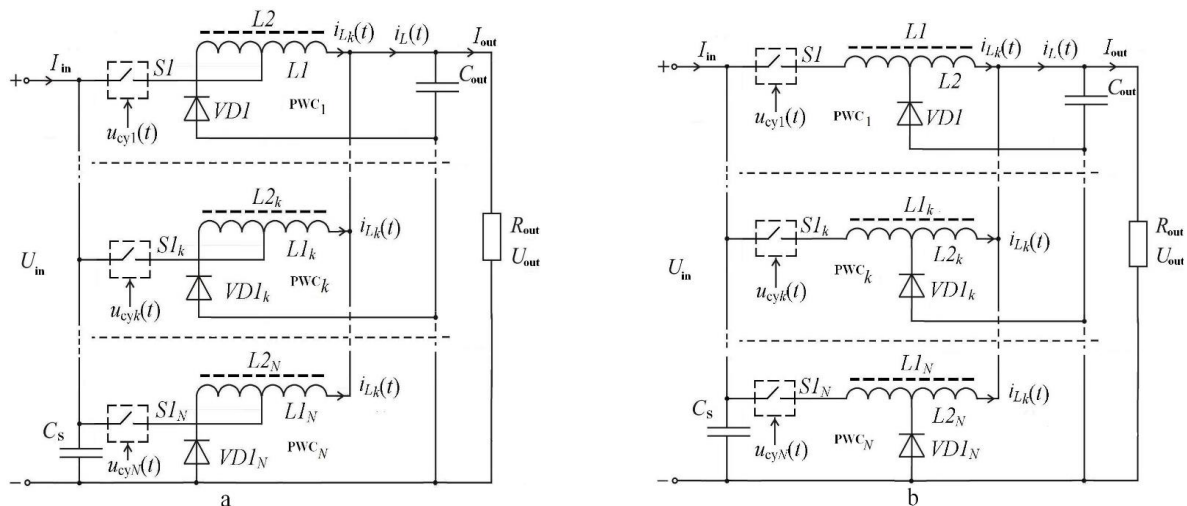


Figure 1 – Power section of the DCV of modular structure with parallel connection of a lower-type PWC with elements of transformation of chokes: a – $n_{21} > 1$; b – $n_{21} < 1$.

In the process of automated research and design of electronic devices, as a rule, it is necessary to use a whole set of different software packages. Many sources provide descriptions and examples of modeling electrical processes of radio engineering devices using well-known CAD systems. For example, at the stage of developing a structural diagram, programs such as SysCalc, System View, Simulink, LabView can be used. And when creating schematic diagrams - PSpice (as part of the DesignLab package), Micro-Cap, Electronics Workbench, and when designing UHF devices such specialized programs as Super Compact, Touchstone, Aplac and others.

These software products allow engineering studies to create, edit schematic diagrams and make a calculation of a number of parameters, calculate frequency characteristics and transients, perform a variety of device analyzes, and implement other service functions.

However, having some limitations, such software products do not allow to fully serve as a tool for researching voltage converters. All these programs are quite expensive and universal, and, as a rule, do not allow complex studies of several parameters at the same time. Also, the construction of dependencies in a relative form, for example, such as the ripple coefficients of voltages and currents, efficiency and other parameters, becomes much more complicated. Therefore, to study and analyze the specified parameters of various converter circuits under different operating modes, it is required to create specialized software - a software package (SP), which allows, using a mathematical model [2, 3, 8] describing electrical processes in the DCV, to carry out all the necessary calculations to solve the problems of automated research and design of converters of modular structure.

Thus, the software package for the study of DCV should solve the following main tasks, which are presented in the form of an information model (Fig. 2):

1. Calculation of basic parameters;
2. Calculation of parameters in the time domain (timing diagrams of voltages and currents in the power section, as well as in the input and output circuits of the PWC and DCV);
3. Investigation of the parameters of electrical processes (values of voltages and currents on the elements of the power section of the DCV);
4. Study of quality indicators of electrical processes (absolute and relative values of voltage and current ripple in the input and output circuits of the DCV);
5. Investigation of energy parameters (values of operating currents, power losses on the elements of the power unit, efficiency factor of the DCV).

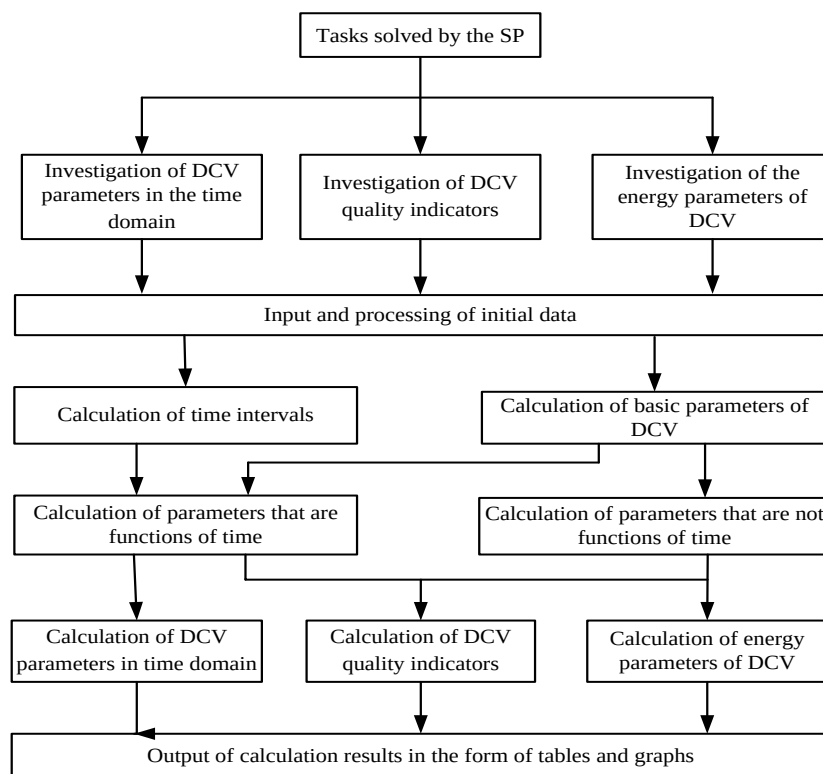


Figure 2 – Software Information Model.

When developing such a software package, the allocation of individual software modules – subroutines (SR) is used to calculate the parameters corresponding to the tasks being solved. This is due to the fact that the main computational procedures and operations that make up the individual stages of research should be interconnected and not be duplicated when solving various research problems, which contributes to the reduction of computational operations. Thus, a unified software algorithm can be represented as a set of software modules that will create the most clear and rational software structure.

As a result, the following basic requirements for a software package for studying converters of a modular structure can be distinguished:

1. The rational structure of the software information model, reflecting information links between individual SR when solving research problems, which helps to reduce time costs and resources for software development.
2. The software must ensure the study of the DCV at various parameters of the power channel elements and the selected operating mode.
3. Availability of a separate software module (control program) to control the operation of the software complex (selection of research tasks, change of initial data, providing information links between individual SR at a given stage of research), using the same initial data and calculated relationships of the used mathematical model.

In accordance with the tasks solved by the software package for the study of DCV (Fig. 1), the following parameters are related to the simulation results:

1. To study time dependences - instantaneous values of currents and voltages in the input $i_{ink}(t)$, $u_{ink}(t)$ and output $i_{outk}(t)$, $u_{outk}(t)$ circuits of a single k -th power channel, their total values for the DCV.
2. To study the dependencies of the quality indicators of the electrical processes of the DCV on the values of the accumulation and transformation coefficients, the value of the output power, the relative supply voltage and load, the number of power channels, and other parameters.
3. To study the energy parameters of converters.

Based on the foregoing, the tasks solved by the developed software will be a set of interconnected functional blocks, which are presented in the form of an information model, Fig. 2.

Conclusions. Based on the results of this article, the following conclusions can be drawn: the paper discusses the main methods of automated research and design of radio engineering devices that can be used to analyze the electrical processes of pulsed DC voltage converters of a modular structure; the main tasks to be solved by the developed software are formulated; the basic requirements for the software for the study of pulsed DCV are given; with the help of the information model of the software complex, the connection of the research tasks to be solved with individual software modules is shown; algorithms of calculations are given, the analysis of research results obtained using the proposed method is given.

REFERENCES

1. Kharchenko, R. Yu., Kochetkov, A. V., & Mikhaylenko, V. S. (2022). Analysis of methods for automated research of DC voltage converters of modular structure. Radio Electronics, Computer Science, Control, 3, 7. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2022-3-1>
2. Kharchenko R.Yu., Kochetkov O.V. Energy parameters of DC voltage converters of the modular structure at the boundary mode of operation // Using the latest technologies. Abstracts of III-rd International Scientific and Practical Conference. Groningen, Netherlands 2021. ISBN – 978-9-40361-459-5 URL: <https://eu-conf.com>. pp. 86-89.
3. Kadatskyi A. F. Analysis of conversion power of switched-mode buck converters with two power sources / Kadatskyi A. F. Rusu A. P. // Proceedings of the O.S. Popov ONAT, No. 2 (2019) Odessa – pp. 52 – 60. DOI 10.33243/2518-7139-2019-1-2-52-60.

УДК 621.362.2

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРОЦЕСІВ БАГАТОФАЗНИХ
ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ
ПРИ ГРАНИЧНИХ СТРУМАХ ДРОСЕЛІВ СИЛОВИХ КАНАЛІВ**

І.П. Малявін, к.т.н, доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація.** Розглянуто електричні процеси багатофазних імпульсних перетворювачів постійної напруги (БПП) з автотрансформаторним включенням дроселя з граничним режимом функціонування силових каналів. Розроблено відповідну математичну модель, узагальнену для основних типів силових каналів.*

***Ключові слова:** багатофазні імпульсні перетворювачі, силові канали.*

**MATHEMATICAL MODEL OF ELECTRICAL PROCESSES OF MULTI-PHASE
PULSE CONVERTERS OF DC VOLTAGE
WITH BOUNDARY CURRENTS OF POWER CHANNELS**

I. P. Maliavin, Ph.D., Associate Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract.** The electrical processes of multiphase pulsed DC voltage converters (MPC) with autotransformer switching on of the throttle with the boundary mode of operation of power channels are considered. A corresponding mathematical model has been developed, generalized for the main types of power channels.*

***Key words:** multi-phase pulse converters, power channels.*

Удосконалення імпульсних перетворювачів постійної напруги (ППН), що є складовою сучасних засобів електроживлення радіотехнічних систем та систем керування електроенергетичним обладнанням, є актуальним завданням [1]. Модульна побудова ППН з N однотипних взаємозамінних перетворювачів – силових каналів СК k (де $k = 1, 2, \dots, N$) (рис. 1) дозволяє підвищити здатність навантаження силових комутувальних елементів (і ППН в цілому); підвищити к.к.д. – коефіцієнт корисної дії, надійність і технологічність ППН [2]. На рис. 1 ИПЕ – джерело первинного електроживлення (ДПЕ), Н – навантаження. Використання багатофазного принципу перетворення та регулювання електричної енергії в ППН модульної структури – в БПП – дозволяє (на відміну

від однофазних – ОП) зменшити рівень імпульсних завад, об'єм і масу реактивних елементів силових фільтрів, що згладжують.

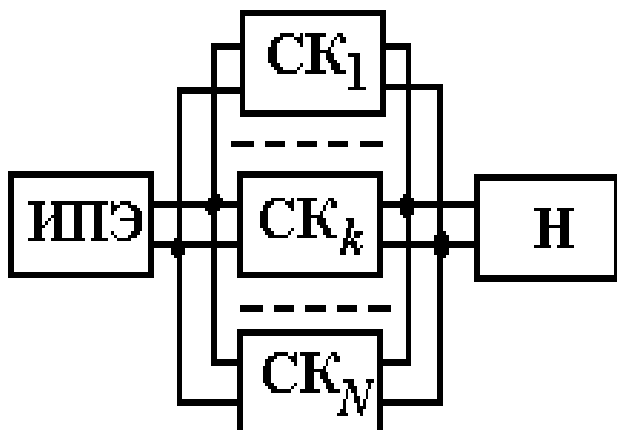


Рисунок 1 – Модульна структура ППН

В роботі отримані співвідношення (табл. 2), що визначають мінімальні $I_{\text{нmin}}$ і максимальні $I_{\text{нmax}}$ значення струмів, що надходять у навантаження; максимальні $I_{\text{пmax}}$ і мінімальні $I_{\text{пmin}}$ значення струмів, що споживаються від ДПЕ для БП з СК знижуючого ($y=1$), підвищуючого ($y=2$) та інвертуючого ($y=3$) типів:

$$I_{\text{н1max}} = I_{\text{п2max}} = I_{\text{н1п2max}} = \begin{cases} I_{\text{н1п2max1}} & \text{при } n_{21} \geq 1; \\ I_{\text{н1п2max2}} & \text{при } n_{21} < 1, \end{cases}$$

$$I_{\text{н1п2max1}} = I_{m1}p_1[1 - (p_1 - 1)/2N_{\text{Кн}}] + I_{m2}b_1[1 - (b_1 + 1)/2N_{\text{Кв}}].$$

$$I_{\text{н1п2max2}} = I_{\text{н1п2max1}} - I_{m1} + I_{m2}.$$

$$I_{\text{н1п2min}} = \begin{cases} I_{\text{н1п2min1}} = \frac{I_{m1}p_1(p_1 - 1)}{2N_{\text{Кн}}} + \frac{I_{m2}b_2(b_2 - 1)}{2N_{\text{Кв}}} & \text{при } n_{21\text{гран1}} \geq n_{21} \geq n_{21\text{гран2}}, \\ & n_{21\text{гран1}} \geq 1, n_{21\text{гран2}} < 1; \\ I_{\text{н1п2min2}} = I_{m1}p_1\left[1 - \frac{p_2}{2N_{\text{Кн}}}\right] + I_{m2}b_1\left[1 - \frac{b_2}{2N_{\text{Кв}}}\right] - I_{m1} + I_{m2} & \text{при } n_{21} > n_{21\text{гран1}} > 1; \\ I_{\text{н1п2min3}} = I_{m1}p_1\left[1 - \frac{p_2}{2N_{\text{Кн}}}\right] + I_{m2}b_1\left[1 - \frac{b_2}{2N_{\text{Кв}}}\right] & \text{при } n_{21} < n_{21\text{гран2}} < 1. \end{cases}$$

Таблиця 2 – Максимальні і мінімальні значення струмів БП

Струм	$y=1$	$y=2$	$y=3$
$I_{\text{нmin}}$	$I_{\text{н1min}}$	$I_{m2}b_1[1 - (b_1 + 1)/2N_{\text{Кв}}]$	$I_{m2}b_1[1 - (b_1 + 1)/2N_{\text{Кв}}]$
$I_{\text{нmax}}$	$I_{\text{н1max}}$	$I_{\text{нmin}} + I_{m2}$	$I_{\text{нmin}} + I_{m2}$
$I_{\text{пmax}}$	$I_{m1}p_1[1 - (p_1 - 1)/2N_{\text{Кн}}]$	$I_{\text{п2max}}$	$I_{m1}p_1[1 - (p_1 - 1)/2N_{\text{Кн}}]$
$I_{\text{пmin}}$	$I_{\text{пmax}} - I_{m1}$	$I_{\text{п2min}}$	$I_{\text{пmax}} - I_{m1}$

Висновки. Отримані співвідношення є узагальненими і дозволяють визначити максимальні та мінімальні значення струмів (і відповідних напруг) та їх змінні складові у вхідних та вихідних колах трьох основних структур БПП. Це дає можливість визначити параметри силових фільтрів при оцінці доцільності використання різних структур БПП, оптимізація яких необхідна при вирішенні проблем мініатюризації за допомогою ЕОМ [4].

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України “Про енергетичну ефективність”. – Відомості Верховної Ради України. – 2022. – № 2. – ст.8. (Із змінами, внесеними згідно із Законом № 2392-IX від 09.07.2022).
2. Кадацкий А.Ф. Анализ электрических процессов в МИП постоянного напряжения при безразрывных токах дросселей. [Текст] / А.Ф. Кадацкий, И.П. Малявин, А.А. Слинченко // Цифрові технології. – 2010. – № 8. – С. 44 – 56.
3. Кадацкий А.Ф. Асимметрия электрических процессов в импульсных преобразователях постоянного напряжения модульной структуры с граничным режимом функционирования [Текст] / А.Ф.Кадацкий, И.П. Малявин // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2008. – № 3 (75). – С. 7 – 14.
4. Малявин І.П. Методика автоматизованого проектування багатофазних імпульсних перетворювачів постійної напруги [Текст] / І.П. Малявин // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 2. – С. 84 – 88.

УДК 621.3.078

УДОСКОНАЛЕННЯ УЧБОВОГО МАКЕТУ ТА СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ ПРИЧАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА

С. Баландин, магістр
В. Бушер, д.т.н., професор
Космас Здрозис, к.т.н.

Національний університет «Одеська політехніка»
Національний університет «Одеська морська академія»
Олександр Технологічний освітній інститут в Салоніках

Анотація: Здійснено модернізацію макету причального контейнерного перевантажувача. Розроблено модель спредера з підготовкою 3D моделей деталей та контейнера, систему управління спредером. Вибрано двигуни, виготовлені 3D моделі корпусу та деталей електроприводів трьох механізмів макету крана. Розроблено програмне забезпечення контролера крана для роботи від ПК в Arduino IDE, включаючи позиціонування всіх механізмів та демпфування коливань вантажу при горизонтальному русі в залежності від відстані та довжини підвісу; погоджено масштаби моделі та графічної оболонки SCADA на базі Processing 4, яка здійснює дистанційне управління краном від планшета.

Ключові слова: Причальний контейнерний перевантажувач, Arduino IDE, SCADA, Processing 4.

IMPROVEMENT OF THE TRAINING LAYOUT AND REMOTE CONTROL SYSTEM OF THE SHIP-TO-SHOPE CONTAINER CRANE

S. Balandin, Master Student

V. Busher, Dr. of Science, Professor

Kosmas Zdrozis, PhD

Odessa Polytechnic National University

National University «Odessa Maritime Academy»

Alexander Technological Educational Institute of Thessaloniki

Annotation: Modernization of the layout of the ship-to-shope container crane was carried out. A model of the spreader was developed with the preparation of 3D models of parts and the container, the control system of the spreader. Engines were selected, 3D models of the body and parts of electric drives of three mechanisms of the crane layout were made. Developed crane controller software for PC operation in Arduino IDE, including positioning of all mechanisms and damping of load oscillations during horizontal movement depending on the distance and length of the rope. Scales of the model and graphic SCADA shell based on Processing 4, which performs remote control of the crane from the tablet, have been agreed.

Key-words: ship-to-shope container crane, Arduino IDE, SCADA, Processing 4.

Метою роботи є модернізація електромеханічної системи макету контейнерного перевантажувача та розробка програмного забезпечення для керування макетом за допомогою SCADA.

Для макету розроблено автоматизований спредер, яким можна захоплювати контейнери. За допомогою датчиків, встановлених у спредері, є можливість точно позиціонувати його над контейнером.

Для проектування використовувалось програмне забезпечення SolidWorks з концепцією CALS – технологій двонаправленого обміну даними з іншими Windows-застосунками та створення інтерактивної документації, в тому числі 3D проектування виробів (деталей і зборок) будь-якого ступеня складності з урахуванням специфіки виготовлення.

Макет спредера контейнерного перевантажувача зображений на рис. 1.

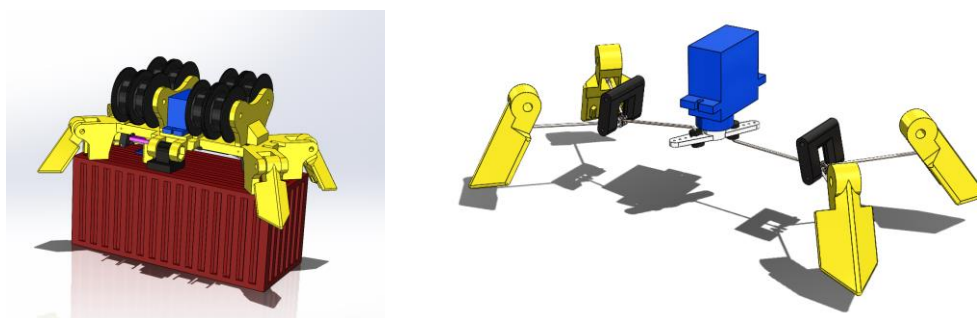


Рисунок 1 – Макет спредера з контейнером та система важелів спредера

Для захвату контейнера у спредері є 4 поворотних кулачка, які заходять у пази у контейнері, та при повороті надійно його фіксують. Через розміри макету реалізувати цей вузол не вдалося таким самим чином, натомість контейнер фіксується за допомогою кутових затискачів. Для приведення у рух цих затискачів встановлений сервопривод, який з'єднаний з ними системою важелів.

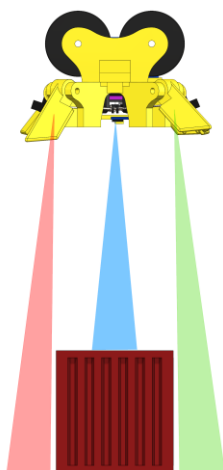


Рисунок 2 – Графічне зображення роботи системи позиціювання спредера

Сервопривод SG92R має малі розміри та досить великий момент. Для синхронного та рівномірного руху затискачів тяги від сервоприводу проходять не напряду, а через додаткові гойдалки, завдяки цьому усі затискачі рівномірно захоплюють контейнер. У затискачах передбачені спеціальні виступи, які заходять у бічні пази контейнера та фіксують його.

На спредері розташовано 4 датчика, які дозволяють автоматизувати його: датчик нахилу дозволяє отримувати точну інформацію щодо кута нахилу; за допомогою датчиків вимірювання відстані реалізується схема, яка дозволяє отримати дані щодо знаходження контейнера. (рис.2).

Деталі для спредера надруковано на 3D принтері. Зібраний спредер показаний на рис. 3.

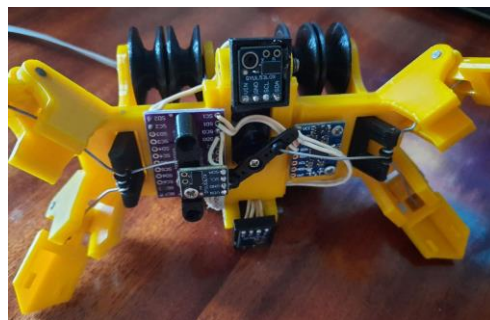


Рисунок 3 – Макет спредера

У машинному відділенні знаходяться головні тягові агрегати. Розробка почалась з вибору двигунів. Для цього проекту було обрано колекторні двигуни з редукторами. Дані двигуни мають великий момент, а наявність редуктора дозволяє встановлювати їх напряду до виконуючих органів механізму. Розроблена у SolidWorks модель зображена на рисунку 4.

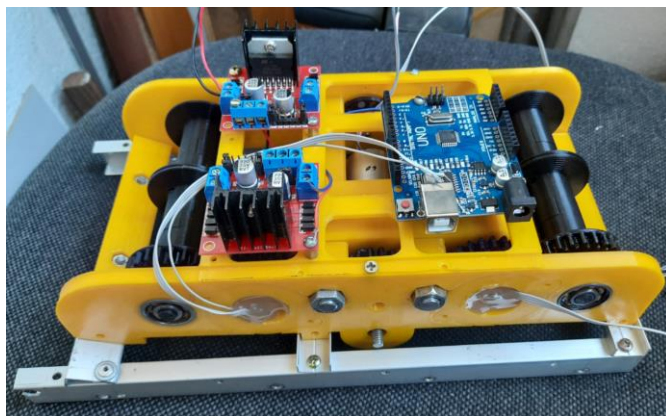
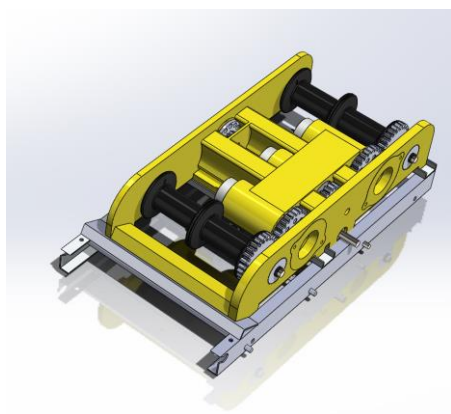


Рисунок 4 – Модель та макет машинного відділення крану

Кран має 3 двигуни, які виконують функції: підйом спредера, переміщення візка, підйом консолі.

Спредер має складну двошарову схему запасовки, завдяки такій схемі спредер самовирівнюється (рис. 5).

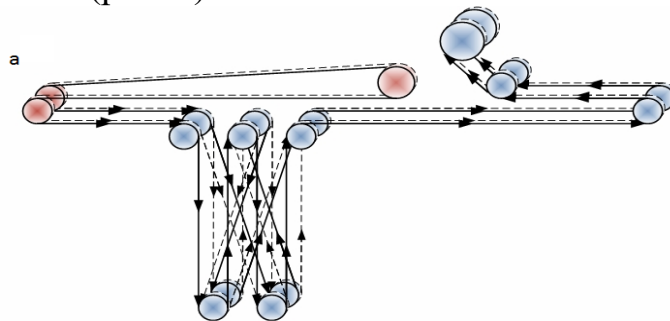


Рисунок 5 – Схема запасовки спредера

Після встановлення усіх вузлів макет крану має вигляд, зображений на рис. 6.



Рисунок 6 – Зібраний макет

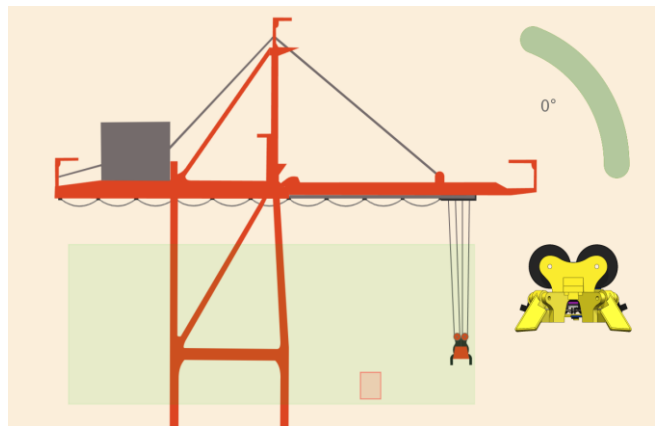


Рисунок 7 – Скріншот SCADA

На наступному етапі розроблено керуючу програму для Arduino UNO та створено SCADA на базі планшету Prestigio з операційною системою Android 10. Для підготовки SCADA обрано середу Processing. Робочий екран SCADA зображено на рис. 7.

Таким чином, розроблено макет, на якому можливо вивчати особливості керування контейнерним перевантажувачем, а також ознайомитися з основними етапами розробки та використання SCADA.

ЛІТЕРАТУРА

1. <https://alexgyver.com/>
2. <https://www.arduino.cc/>
3. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf>
4. <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>
5. https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tca9548a.pdf?ts=1666937112748&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

УЗАГАЛЬНЕНЕ АНАЛІТИЧНЕ РІШЕННЯ ДЛЯ МЕТОДУ БАЛАНСУВАННЯ
ЛІНІЙНОЇ НАПРУГИ В КАСКАДНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ЧАСТОТИВ.В. Бушер¹, д.т.н., професор
Ду Сін², аспірантО.В. Глазева¹, к.т.н., доцент¹Національний університет «Одеська морська академія»²Національний університет «Одеська політехніка»

Анотація. Застосування високовольтних перетворювачів частоти є одним із найперспективніших напрямів у сучасних потужних електроприводах. Серед таких перетворювачів завдяки підвищеній надійності, збереженню працездатності у разі пошкодження одного або кількох силових модулів, можливості швидкого ремонту завдяки модульній конструкції найпоширенішими стають багаторівневі каскадні інвертори з H-мостами. У роботі надано аналітичне рішення для методу балансування системи 3-фазної лінійної напруги, що надає можливість суттєво підвищити ефективність використання методу, зокрема, як основу методу «дробових» комірок, згідно з яким при збільшенні або зменшенні заданої напруги розраховуються необхідні, в загальному випадку дробові, значення напруги та відповідні кути зсуву кожної фази з урахуванням кількості неушкоджених силових модулів для балансування векторів лінійної напруги, що забезпечує найменші динамічні електричні та електро механічні навантаження у разі аварії силових модулів.

Ключові слова: багаторівневий високовольтний каскадний H-мостовий перетворювач частоти, автономний інвертор напруги, коефіцієнт гармонічних спотворень, просторово-векторна широтно-імпульсна модуляція, оптимізований метод лінійного балансування напруги на основі «фрактального» H-моста.

GENERALIZED ANALYTICAL SOLUTION FOR THE METHOD OF BALANCED LINE
VOLTAGE IN CASCADE FREQUENCY CONVERTERSV. Busher¹, Dr. of Science, ProfessorDu Xin², Postgraduate StudentO. Glazeva¹, Ph.D., Associate Professor¹National University "Odessa Maritime Academy"²Odessa Polytechnic National University

Abstract. The use of high-voltage frequency converters is one of the most promising directions in modern powerful electric drives. Among such converters, multi-level cascade inverters with H-bridges are becoming the most common due to uprated reliability, preservation of operability in the event of damage to one or more power modules, and the possibility of quick repair due to the modular design. This work provides an analytical solution for the method of balancing a 3-phase linear voltage system, which makes it possible to significantly uprate the efficiency of using the method, in particular, as the basis of a 'fractional' cells method, according to which, while increasing or decreasing a given voltage, the necessary, in general, fractional voltage values and corresponding shift angles of each phase, taking into account the number of intact power modules for balancing line voltage vectors, which ensures the smallest dynamic electrical and electromechanical loads in the event of a power module failure are calculated.

Key words: multilevel high-voltage cascaded H-bridge frequency converter, autonomous voltage inverter, Total Harmonic Distortion, Space Vector Pulse Width Modulation, optimized linear voltage balancing method based on "fractal" H-bridge.

Високовольтні каскадні перетворювачі частоти поширюються у різних галузях техніки з потужними споживачами. Їх використання забезпечує багато-

разове зменшення витрат електротехнічних матеріалів, насамперед міді, зменшення маси електричних машин і кабелів, а також покращує енергетичні показники – THD (Total Harmonic Distortion), EEDI (Energy Efficiency Design Index) та EEOI (Energy Efficiency Operational Index) [1, 2].

Аналіз проблеми. З точки зору надійності, живучості найбільш привабливими є каскадні багаторівневі перетворювачі з N H-bridge модулями в кожній фазі, які включаються послідовно. Кожен модуль є окремим 4-квадратим ШИМ інвертором, топологія якого визначається силовими елементами (IGBT, GTO, IGCT, SGCT). Незалежність інверторів та гальванічна розв'язка між блоками живлення кожного з них дозволяє легко діагностувати несправність та виключати модуль із роботи за допомогою груп електромеханічних або електронних вимикачів Alarm (рис. 1), не зупиняючи виконавчого механізму [3–5].

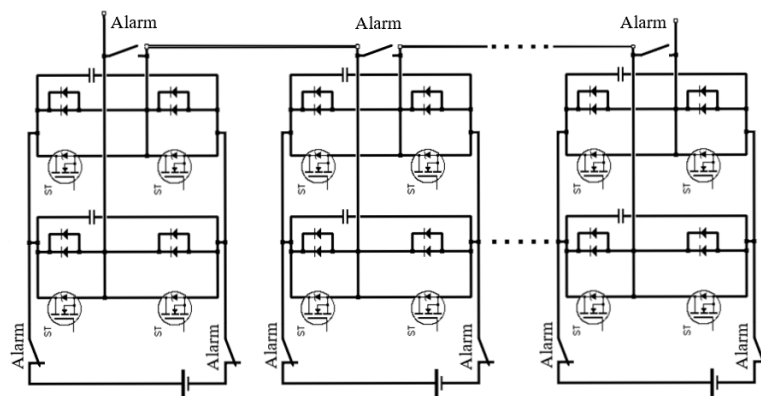


Рисунок 1 – Підключення H-модулів та аварійних перемикачів в одній фазі

Крім того, одночасно зі спрацюванням силових вимикачів Alarm, змінюється алгоритм роботи системи керування іншими модулями – гармонійний сигнал необхідної амплітуди та частоти для кожної фази після аварії подається на іншу послідовність опорних трикутних сигналів з урахуванням справних H-модулів. Але для запобігання дисбалансу фазових струмів і, як наслідок, ударних навантажень необхідно змінити не лише опорні сигнали. Використовують різні способи корекції. Так, Allen Bradley HV FC 6000 після виявлення дефекту в одній з фаз замикають однойменні модулі в інших фазах [6, 7]. Але в цьому випадку напруга падає в $(N-1)/N$ разів, що, наприклад, для найбільш поширених інверторів з 5-ма мостами у фазах становить 20 %. У перетворювачах частоти SIEMENS серії Robicon PERFECT HARMONY використовують метод балансування 3-фазної системи лінійної напруги шляхом зміни міжфазних кутів та умовного зміщення нульової точки [8, 9].

Однак не вирішеними залишаються завдання зменшення динамічних навантажень у момент переходу від штатного до аварійних режимів, особливо при пошкодженні кількох модулів, та спрощення процедури розрахунків, так як у випадку асиметричного пошкодження кількох модулів згадуються лише ітеративні методи.

Мета роботи – розробка узагальненого аналітичного методу розрахунку балансування системи лінійної напруги у багаторівневих каскадних перетворювачах.

Матеріали дослідження. В електричних машинах коливання електромагнітного моменту виникають внаслідок ступінчастої зміни амплітуди і повороту системи векторів лінійної напруги. Тому при пошкодженні Н-модулів необхідно так повернути вектори фазної напруги, щоб забезпечити як симетрію, так і незмінне просторове положення 3-фазної системи лінійної напруги [10–12].

Перейдемо до відносних одиниць, вважаючи, що кожен Н-модуль є джерелом умовної одиниці напруги U . Тоді кількість Н-комірок співпадає з відносною напругою фази, в штатному режимі $N_A = N_B = N_C = N$, лінійна напруга $L_0 = \sqrt{3}N$, зсуви між векторами фазної напруги $\alpha = \beta = \gamma = 120^\circ = 2\pi/3$. При пошкодженні комірок в загальному випадку $N_A \neq N_B \neq N_C$, $L < L_0$, кути відрізняються від 120° . Пошук кутів та величини L в аварійному режимі здійснюється шляхом рішення системи рівнянь:

$$\begin{cases} N_A^2 + N_B^2 - 2N_A N_B \cos(\alpha) = L^2, \\ N_B^2 + N_C^2 - 2N_B N_C \cos(\beta) = L^2, \\ N_C^2 + N_A^2 - 2N_C N_A \cos(\gamma) = L^2, \\ \alpha + \beta + \gamma = 2\pi. \end{cases}$$

Аналітичне рішення цієї системи у загальному вигляді знайдено на підставі геометричної інтерпретації (рис. 2) для випадку, який має практичне значення – коли точка O знаходиться в межах трикутника ABC . Для забезпечення збалансованої системи лінійної 3-фазної напруги вектори фазної напруги OA , OB , OC необхідно повернути на такі кути α, β, γ , щоб вершини A, B, C утворили рівносторонній трикутник ABC зі стороною L та положенням, яке співпадає з положенням у штатному режимі (прийнято, що OA – вертикальний).

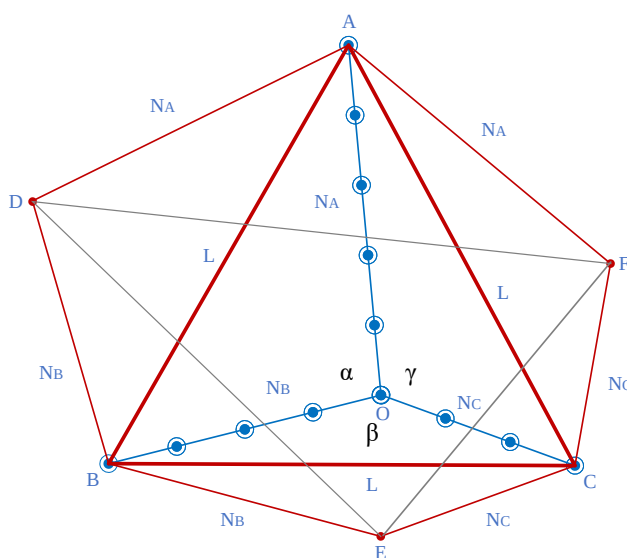


Рисунок 2 – Векторні діаграми напруги в аварійному режимі

Побудуємо додаткові трикутники ADB, BEC, CFA, які тотожні AOB, BOC, COA відповідно. Тоді при вершині А отримаємо кути DAB=OAB, CAF=CAO. Так як кут BAC=OAB+OAC=60°, то кут DAF=120°. Аналогічно DBE=120°, ECF=120°. Отримаємо площі трикутників DAF, DBE, ECF:

$$S_{\triangle DAF} = \frac{\sqrt{3}}{4} N_A^2, S_{\triangle DBE} = \frac{\sqrt{3}}{4} N_B^2, S_{\triangle ECF} = \frac{\sqrt{3}}{4} N_C^2,$$

а за теоремою Герона, виходячи з того, що сторони трикутника DEF дорівнюють $\sqrt{3}N_A, \sqrt{3}N_B, \sqrt{3}N_C$, знайдемо площу трикутника DEF:

$$S_{\triangle DEF} = 3\sqrt{p(p-N_A)(p-N_B)(p-N_C)},$$

$$p = 0.5(N_A + N_B + N_C).$$

Повертаючись до побудови 6-кутника ADBECF, очевидно, що

$$S_{ADBECF} = S_{\triangle DAF} + S_{\triangle DBE} + S_{\triangle ECF} + S_{\triangle DEF} = 2S_{\triangle ADC}.$$

Тоді отримаємо рівняння, з якого знаходимо необхідні величини:

$$\frac{\sqrt{3}}{4} (N_A^2 + N_B^2 + N_C^2) + 3\sqrt{p(p-N_A)(p-N_B)(p-N_C)} = 2\frac{\sqrt{3}}{4} L^2. \Rightarrow$$

$$L = \sqrt{0.5(N_A^2 + N_B^2 + N_C^2) + 0.5\sqrt{3}(N_A + N_B + N_C)(N_A + N_B - N_C)(N_A - N_B + N_C)(-N_A + N_B + N_C)},$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{N_A^2 + N_B^2 - L^2}{2N_A N_B}\right), \beta = \arccos\left(\frac{N_B^2 + N_C^2 - L^2}{2N_B N_C}\right), \gamma = 2\pi - \alpha - \beta.$$

Для збереження просторового положення векторів лінійної напруги необхідно задати початкові кути повороту, які також знаходяться з рис. 2:

$$\alpha_0 = \frac{\pi}{3} + \arcsin\left(\frac{N_B}{L} \sin(\alpha)\right), \beta_0 = \alpha_0 + \alpha, \gamma_0 = \beta_0 + \beta.$$

Отримані вирази дозволяють без зайвих обчислювальних витрат знайти полярні координати векторів фазної напруги для отримання заданої величини лінійної напруги в штатному та аварійному режимі роботи каскадного перетворювача частоти. Так, в табл. 1 надано всі необхідні розрахункові параметри для керування 6-каскадним перетворювачем в разі аварії «6–5–4» (тобто, в фазі А працює 6 каскадів, в фазі В – 5, в фазі С – 4). За отриманими даними в ШІМ-каналах кожної фази формується напруга заданої амплітуди відповідно до розрахованої в системі керування амплітуди L та положення трикутника лінійної напруги. При використанні відносно невеликого кроку (в даному випадку – 0.2) в програмі контролера табличні дані можуть оброблятися з використанням методу лінійної інтерполяції.

Таблиця 1 – Розрахункові параметри 6-каскадного перетворювача в аварійному стані
«6–5–4»

min	0.0	0.0	0.0					
max	6.0	5.0	4.0					
i	N_A	N_B	N_C	L	α	β	γ	α_0
1	0.0	0.0	0.0	0.0000	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
2	0.2	0.2	0.2	0.3464	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
3	0.4	0.4	0.4	0.6928	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
4	0.6	0.6	0.6	1.0392	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
5	0.8	0.8	0.8	1.3856	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
6	1.0	1.0	1.0	1.7321	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
7	1.2	1.2	1.2	2.0785	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
8	1.4	1.4	1.4	2.4249	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
9	1.6	1.6	1.6	2.7713	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
10	1.8	1.8	1.8	3.1177	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
11	2.0	2.0	2.0	3.4641	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
12	2.2	2.2	2.2	3.8105	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
13	2.4	2.4	2.4	4.1569	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
14	2.6	2.6	2.6	4.5033	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
15	2.8	2.8	2.8	4.8497	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
16	3.0	3.0	3.0	5.1962	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
17	3.2	3.2	3.2	5.5426	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
18	3.4	3.4	3.4	5.8890	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
19	3.6	3.6	3.6	6.2354	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
20	3.8	3.8	3.8	6.5818	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
21	4.0	4.0	4.0	6.9282	2.0944	2.0944	2.0944	1.5708
22	4.2	4.2	4.0	7.1573	2.0398	2.1217	2.1217	1.5981
23	4.4	4.4	4.0	7.3833	1.9909	2.1461	2.1461	1.6225
24	4.6	4.6	4.0	7.6066	1.9468	2.1682	2.1682	1.6446
25	4.8	4.8	4.0	7.8276	1.9067	2.1882	2.1882	1.6646
26	5.0	5.0	4.0	8.0467	1.8702	2.2065	2.2065	1.6829
27	5.2	5.0	4.0	8.1537	1.8522	2.2615	2.1695	1.6771
28	5.4	5.0	4.0	8.2564	1.8332	2.3175	2.1325	1.6719
29	5.6	5.0	4.0	8.3546	1.8132	2.3746	2.0954	1.6671
30	5.8	5.0	4.0	8.4481	1.7921	2.4329	2.0582	1.6628
31	6.0	5.0	4.0	8.5364	1.7699	2.4927	2.0206	1.6588

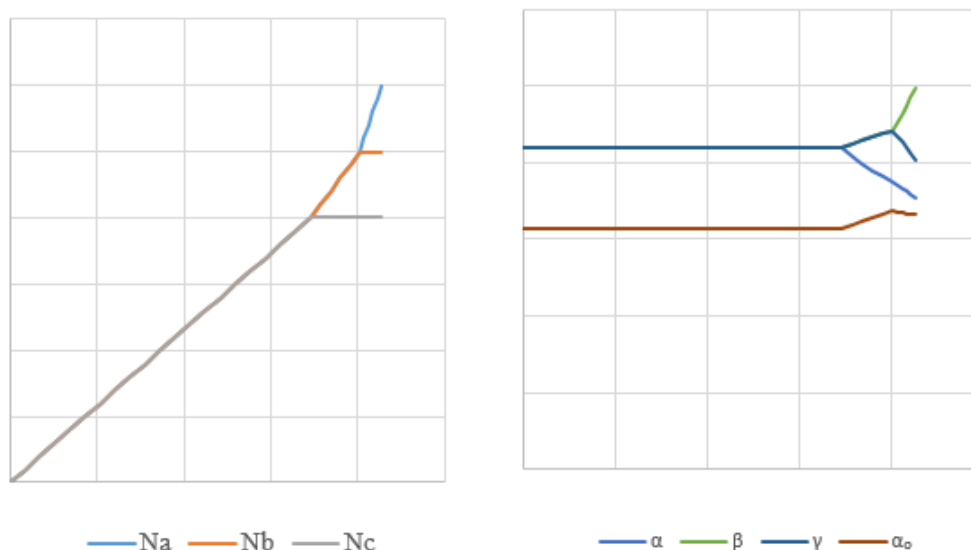


Рисунок 3 – Зміна параметрів перетворювача залежно від амплітуди лінійної напруги

Таке рішення, за результатами моделювання в Matlab / Simulink, дозволяє реалізувати так званий метод «дробових» комірок – з урахуванням заданої напруги L розраховується необхідне, в загальному випадку дробове, значення кожної фазної напруги з урахуванням допустимого рівня та відповідні зсуви фаз для балансування і збереження просторового положення векторів 3-фазної системи лінійної напруги.

Висновки. В роботі знайдено аналітичне рішення задачі балансування 3-фазної системи лінійної напруги при довільних, відмінних в загальному випадку, значеннях фазної напруги. Це дозволяє без зайвих обчислюваних витрат процесора заповнювати таблиці амплітуд і зсувів фаз відповідно до стану каскадів перетворювача частоти і з використанням методу «дробових» комірок і найпростішого методу лінійної інтерполяції забезпечувати задану амплітуду лінійної напруги, виключаючи розриви в законах керування багаторівневими перетворювачами частоти.

REFERENCES

1. Glazeva O. V. 2018 The use of high-voltage frequency converters as a method of increasing the energy efficiency index at the marine industry *Materials of the scientific-methodical conference "Ship engineering, electronics and automation"* pp 70–78
2. Urbaniak M, Kardas-Cinal E and Jacyna M 2019 Optimization of Energetic Train Cooperation *Symmetry* **11(9)**, 1175; <https://doi.org/10.3390/sym11091175>
3. Burdasov B K, Nesterov S A and Fedotov Yu B 2015 Frequency converters for high-voltage AC drives *APRIORI Series Natural and technical sciences* **4** pp 2–15
4. Malinowski M, Gopakumar K, Rodriguez J and Pérez M A 2010 A Survey on Cascaded Multilevel Inverters *IEEE Transactions on Industrial Electronics* **57** 7 pp 2197–2206
5. Manimala V, Geetha N and Renuga P 2011 Design and simulation of five level cascaded inverter using multilevel sinusoidal pulse width modulation strategies *IEEE 3rd International Conference on Electronics Computer Technology* **2** pp 280–283. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5941701>
6. PowerFlex 6000 Medium Voltage Variable Frequency Drive Firmware, Parameters, and Troubleshooting Manual Catalog Number 6000G//Publication 6000-TD004E-EN-P - September 2019. <http://www.rockwellautomation.com/support>
7. Frequency converters VEDADRIVE 315–25000 kVA // www.danfoss.ru/VLT
8. High voltage frequency converters Robicon PERFECT HARMONY 225 kW–120 MW // www.siemens.com/robicon-perfect-harmony
9. Busher V V 2020 Research of high-voltage frequency converters in ship electric power systems *9th Conference on Ships' Electrical Engineering, Electronics and Automation NU «OMA» Publ* pp 231–237. femire.onma.edu.ua/docs/conf/Матеріали%20конф_2019.pdf
10. Puchkov A P and Osipov O I 2018 Correction of the Control System of a Multilevel Converter with a Defect in the Power cell of its Inverter *Electrotechnical Systems and Complexes* **3** 40 pp 42–46
11. Gorodny A, Dymyrets A, Kut Y, Denisov Y, Natalia D 2020 Generalized method of commutation processes calculation in high-frequency switched-mode power converters *Advances in Intelligent Systems and Computing* **1019** pp 71–80
12. V Busher et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 985 012021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012021>

Секція 9. АВТОМАТИЗАЦІЯ СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

УДК 621.431.74

ВИБІР РЕЖИМІВ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ГОЛОВНОГО ДИЗЕЛЯ НА СУДНІ ІЗ
ГВИНТОМ, КРОК ЯКОГО РЕГУЛЬОВАНИЙ

С. І. Горб, д.т.н., професор

М. І. Будуров, аспірант

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Правилами класифікації та будівництва морських суден передбачена можливість припущення роботи головних дизелів (ГД) із перевантаженням. Це означає, що на судах із гвинтами, крок яких регульований (ГРК), таке навантаження може забезпечуватися вибором різних поєднань кроку гребного гвинта та частоти обертання ГД. Однак за фактом на судах із ГРК використовуються комбінаторні діаграми, відповідно до яких такі перевантажувальні режими забезпечуються регулюванням обмежувачів навантаження, що призводить до збільшення кроку гребного гвинта без збільшення частоти обертання дизеля. У той же час є технічна можливість забезпечувати перевантаження комбінованим збільшенням частоти обертання ГД та кроку гребного гвинта. Але цей варіант налаштування комбінаторної діаграми не розглядається у конструкторській документації, у зв'язку з чим суднові екіпажі мають можливість тільки імпровізувати у цьому питанні без науково-технічного обґрунтування таких дій. Сформульована практична проблема ставить завдання обґрунтування оптимальних співвідношень кроку гребного гвинта та частоти обертання ГД на його перевантажувальних режимах. Критерієм оптимальності у цій задачі є зменшення теплової напруженості в циліндропоршневій групі.

Ключові слова: судновий дизель; двигун внутрішнього згоряння; гвинт, крок якого регульований; комбінаторна діаграма; перевантаження; математичне моделювання.

SELECTION OF MAIN DIESEL OVERLOAD MODES ON A VESSEL WITH AN
CONTROLLABLE PITCH PROPELLER

S. Gorb, Dr. of Technical Science, Professor

M. Budurov, Postgraduate Student

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The Rules and Regulations for the Classification of Ships provide the possibility of allowing the operation of the main diesel engines (ME) with overload. It means that in relation to the ME on ships with controllable pitch propellers (CPP), such an overload can be provided by choosing various combinations of propeller pitch and rotational ME speed. However, in fact, on ships with CPPs, combinatorial diagrams are used, according to which such overload modes are provided by adjusting the load limiters, which leads to an increase in the propeller pitch without increasing the ME speed. At the same time, it is technically possible to provide the required overload by a combined increase in the engine speed and pitch of the propeller. But this option combinatorial diagram settings are not considered in the technical documentation, therefore ship's crew can only improvise in this matter without a scientific and technical justification for such actions. The formulated practical problem sets the task of substantiating the optimal ratios of the propeller pitch and the rotational ME speed in its overload modes. The optimality criterion in this problem is reduction of thermal stresses in the cylinder-piston group.

Key-words: main engine; internal combustion engine; controllable pitch propeller; combinatorial diagram; overload; mathematical modeling.

Вимоги до роботи суднових дизелів із перевантаженням регламентуються Правилами класифікації та спорудження морських суден. Наприклад, Класифікаційне товариство Lloyd's Register of Shipping (LR) вимагає забезпечити роботу

ГД із перевантаженням не менше 10 % номінальної потужності протягом не менше 1/4 години за збільшення частоти обертання дизеля 3,2 %. При цьому LR може схвалювати періодичну переривчасту потужність перевантаження для кожного окремого випадку, тоді обмеження має бути скориговано відповідно до цієї потужності (налаштування обмеження має здійснюватися відповідно до передбаченої кількості подачі палива) [1]. Таке перевантаження на суднах із ГРК можливо забезпечити вибором різних поєднань кроку гребного гвинта і частоти обертання ГД. Однак за фактом на суднах із ГРК використовуються комбінаторні діаграми, відповідно до яких такі перевантажувальні режими забезпечуються регулюванням обмежувачів навантаження, що призводить до збільшення кроку гребного гвинта без збільшення частоти обертання дизеля [2]. При цьому є технічна можливість забезпечувати необхідне перевантаження комбінованим збільшенням частоти обертання ГД та кроку гребного гвинта. Але без науково-технічного обґрунтування таких дій суднові екіпажі мають можливості тільки імпровізувати у цьому питанні.

Сформульована практична проблема ставить завдання обґрунтування оптимальних співвідношень кроку гребного гвинта та частоти обертання ГД на його перевантажувальних режимах. У зв'язку з тим, що тривалість перевантажувальних режимів завжди обмежується за часом, критерієм оптимальності у цій задачі є зменшення теплової напруженості в циліндропоршневій групі.

Мета дослідження – розробити рекомендації забезпечення перевантажувальних режимів роботи ГД на суднах із ГРК із мінімальним погіршенням його робочих процесів.

У якості оцінювання теплової напруженості прийнята температура газів на лінії розширення. При цьому враховано те, що у дизелів, якщо відбувається підвищення температури в кінці подачі палива або після на якусь кількість градусів, то тенденція підвищення на цю кількість градусів зберігається до початку випуску [3]. Це означає, що температуру достатньо контролювати при будь-якому вибраному куті повороту кривошипа після закінчення упорскування. Можна навіть використовувати максимальну температуру циклу. Але проблема полягає в тому, що в судових умовах досить складно виміряти точні значення температури газів на лінії розширення, навіть за умови використання сучасних систем діагностування [4]. Тому пропонується використовувати методику чисельного моделювання робочих процесів дизеля, але з максимальним приближенням результатів розрахунку до фактичних експлуатаційних параметрів [5]. Через те, що ця методика дає дуже точне відтворення робочих процесів, можна вважати, що збіг порядку 20 розрахункових параметрів дизеля з експериментальними забезпечить адекватне визначення температур газів на лінії розширення.

Для поставленої задачі використане чисельне моделювання [6], методику якого стосовно судових енергетичних установок адаптовано в роботі [7].

Відмінність цієї методики полягає в наступному:

робочий процес дизеля розглядається у вигляді сукупності взаємопов'язаних процесів, які описуються універсальними балансовими співвідношеннями, справедливими на всіх стадіях робочого циклу та у всіх обсягах газоповітряного тракту;

для опису робочих процесів використані диференціальні рівняння першого закону термодинаміки, масового балансу та стану, які вирішуються на кожному кроці повороту кривошипу;

суміш газів у циліндрі дизеля і в колекторах розглядається як така, що складається із двох компонентів – повітря та "чистих" продуктів згоряння, співвідношення яких змінюється на кожному кроці розрахунку;

під час розрахунку враховується зміна гідравлічних втрат на вході в компресор, в охолоджувачі повітря і за турбіною;

враховується зміна теплових втрат у охолоджувачі повітря;

у випускному колекторі враховується перетворення кінетичної енергії газів на потенційну;

у циліндрі враховується теплообмін газів із стінками циліндра.

У математичній моделі уточнено:

метод розрахунку процесу продування (розрахунок виконується з використанням трьох зон, обґрунтованих у роботі [8], але без припущень ізобарності та ізохорності процесів у зонах);

алгоритм визначення масивів значень витрат і ентальпій газів, що виходять із циліндра, у залежності від кута повороту кривошипа;

кінематика кривошипно-шатунного механізму.

Дослідження виконане для ГД MaK 9M25C багатоцільового судна «TIMBER NAVIGATOR» компанії ForestWave Navigation B.V. Цей двигун розвиває номінальну потужність 2970 кВт і номінальну частоту обертання 750 хв^{-1} , є тронковим, дев'ятициліндровим, нереверсивним. Має імпульсну систему наддування, яку забезпечує турбонагнітач KBB HPR 6000. Система керування ГРК включає чотирьохлопатний гребний гвинт фірми BERG PROPULSION типу BCP 1140 HDX-511 діаметром 4250 мм, який приводиться в обертання через редуктор із вихідною частотою обертання 130 хв^{-1} , гідравлічну систему – PD100, а також систему дистанційного автоматичного управління (ДАУ) – ERC3000 (рис. 1).

Для моделювання використано конструктивні параметри [9], а також дані ходових випробувань судна за умов осадки судна носом/кормою по 3,2/4,65 м; температури повітря у машинному відділенні 27°C ; температури заборотної води 23°C ; використання палива Marine Diesel Oil. Індикаторний тиск вимірювався за допомогою індикатора LEHMANN & MICHELS типу LEMAG PREMETS LS.

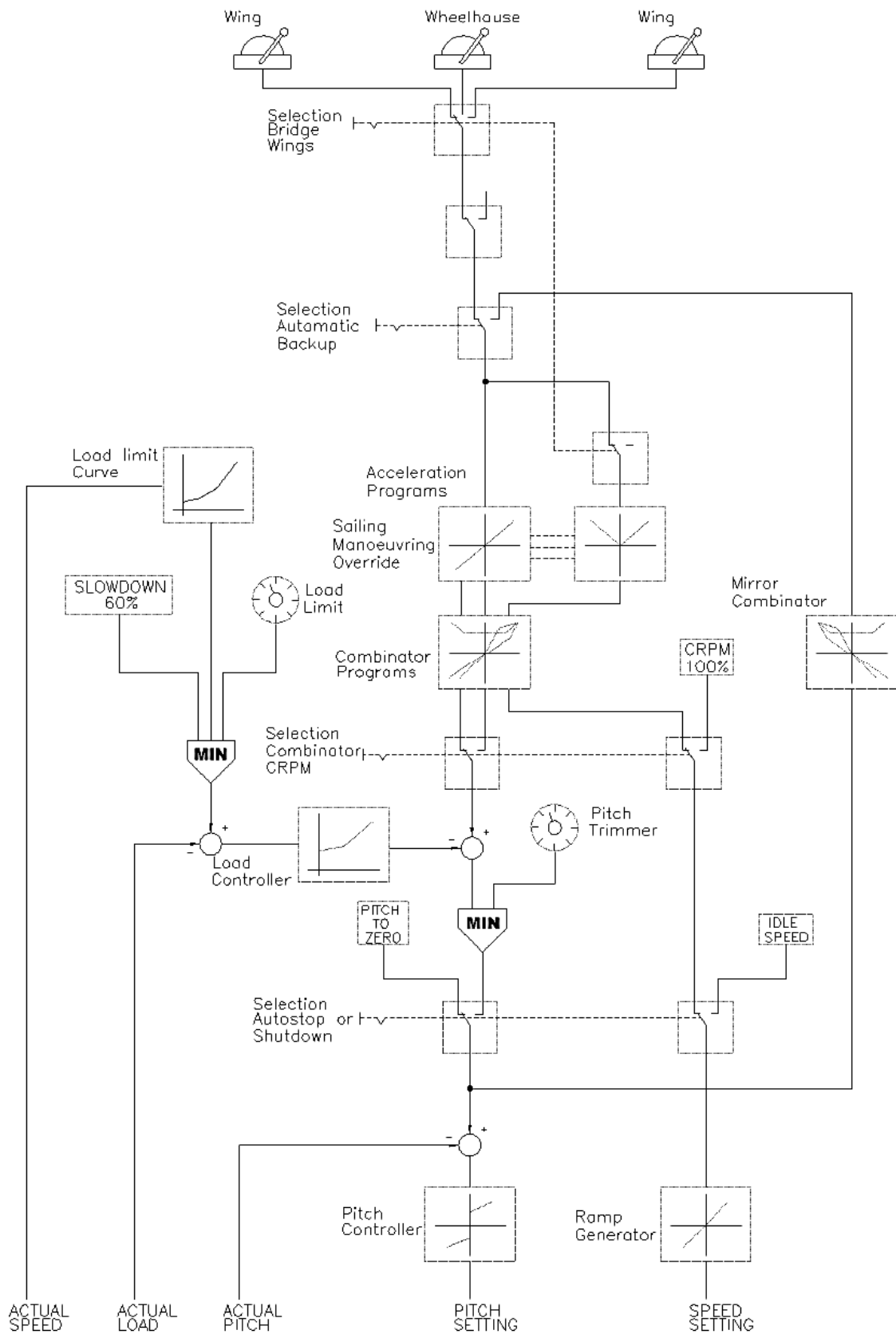


Рисунок 1 – Система ДАУ (ERC3000) ГРК судна «TIMBER NAVIGATOR»

У таблиці 1 наведені експериментальні показники робочих процесів ГД на номінальному (100 % потужності) та режимі перевантаження (110 % потужності).

Таблиця 1 – Експериментальні показники робочих процесів ГД МаК 9М25С

№ п/п	Показник	100 % потужності	110 % потужності
1	Частота обертання валу головного двигуна, хв ⁻¹	750	750
2	Хід рейки паливних насосів, мм	42,0	45,5
3	Частота обертання турбоагнітатора, хв ⁻¹	31586	33433
4	Тиск повітря перед холодильником, бар	3,32	3,30
5	Тиск повітря після холодильника, бар	3,62	3,59
6	Температура повітря перед холодильником, °С	216	235
7	Температура повітря після холодильника, °С	50	52
8	Перепад тиску на повітряному холодильнику, мм вод. ст.	24	25
9	Температура газів перед турбіною, °С	532	571
10	Температура газів за турбіною, °С	357	381
11	Максимальний тиск у циліндрі № 9, кгс/см ²	195,0	204,5
12	Температура газів на виході із циліндра, °С	№ 1	419
		№ 2	391
		№ 3	395
		№ 4	396
		№ 5	400
		№ 6	395
		№ 7	415
		№ 8	395
		№ 9	392

У таблиці 2 показаний результат моделювання номінального режиму.

Таблиця 2 – Результат моделювання номінального режиму роботи ГД МаК 9М25С

№ п/п	Показник	100 % потужності
1	Максимальний тиск циклу, кгс/см ²	195,0
2	Максимальна температура циклу, К	2002,3
3	Температура в циліндрі на момент початку випуску, К	794,7
4	Частка тепла, що відводиться у стінки циліндра на робочих ходах, %	9,8
5	Середня умовна температура стінок циліндра, К	630
6	Дійсний коефіцієнт надлишку повітря	1,67
7	Сумарний коефіцієнт надлишку повітря	2,23
8	Середня температура газів перед турбіною, К	800,3
9	Сумарний індикаторний ККД	0,477

У таблиці 3 порівняно режими перевантаження 110 % потужності для двох варіантів поєднань частоти обертання ГД та подачі палива:

режим 1 – частота обертання 750 хв^{-1} (100 %) та подача палива 0,002545 кг/цикл (110 %);

режим 2 – частота обертання 774 хв^{-1} (103,2 %) та подача палива 0,002712 кг/цикл (106,5 %).

Таблиця 3 – Результати моделювання режимів перевантаження ГД МаК 9М25С

№ п/п	Показник	Режим 1	Режим 2
1	Максимальний тиск циклу, кгс/см ²	206,2	203,7
2	Максимальна температура циклу, К	2033,4	2008,1
3	Температура в циліндрі на момент початку випуску, К	818,8	813,2
4	Частка тепла, що відводиться у стінки циліндра на робочих ходах, %	9,4	9,3
5	Середня умовна температура стінок циліндра, К	646,6	642,0
6	Дійсний коефіцієнт надлишку повітря	1,60	1,64
7	Сумарний коефіцієнт надлишку повітря	2,14	2,17
8	Середня температура газів перед турбіною, К	838,5	833,2
9	Сумарний індикаторний ККД	0,473	0,475

Із таблиці 3 витікає, що на режимі 2 порівняно з режимом 1 покращується наддування циліндрів, внаслідок чого максимальна температура циклу і відповідно температури газів на лінії розширення зменшуються на 25 К. Одночасно зменшується на 5 К середня температура газів перед турбіною. Це означає, що режим обмеженого часу перевантаження ГД краще забезпечувати спільним збільшенням частоти обертання дизеля і кроку гребного гвинта (як це зроблено на режимі 2).

На рис.2 наведено комбінаторну діаграму ГПК судна «TIMBER NAVIGATOR».

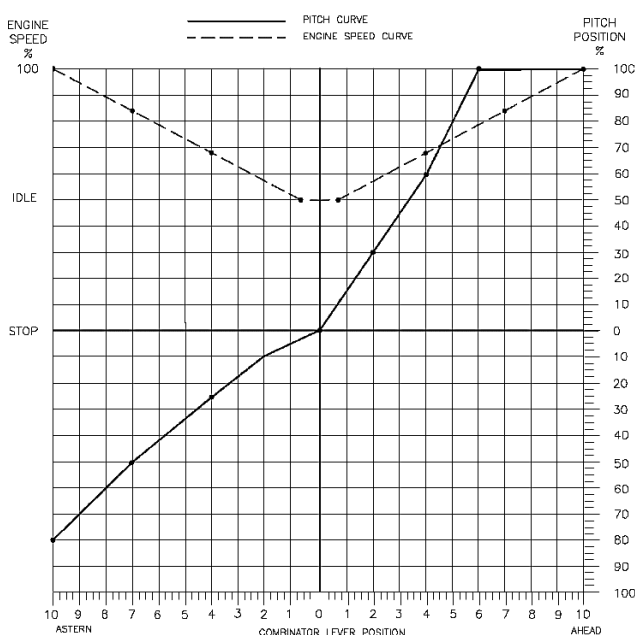


Рисунок 2 – Комбінаторна діаграма ГПК судна «TIMBER NAVIGATOR»

На цьому судні, як і на судах з іншими системами ДАУ, на всіх ходових режимах (у даному випадку при положенні рукоятки управління в діапазоні 6 ... 10 умовних одиниць) швидкість судна регулюється зміною частоти обертання ГД. Система ДАУ при цьому намагається розгорнути лопаті ГПК до номінального положення, яке на діаграмі відповідає PITCH POSITION 100 % (фактично лопаті розгортаються на величину, що допускається обмежувачем навантаження, який у графічному представленні зміщує в діапазоні 6 ... 10 умовних одиниць горизонтальну ділянку залежності кроку гребно-

го гвинта від положення рукоятки управління паралельно вгору чи вниз). Розворот лопатей гвинта на ходових режимах до максимально можливого положення забезпечує найкращий пропульсивний ККД та, відповідно, виграш у швидкості судна. Перевантажувальні режими завжди короточасні, тому на них не виникає завдання максимізації економічності роботи пропульсивної установки. Більш важливо на цих режимах зменшити теплові навантаження ГД. Це означає, що перевантажувальні режими можна забезпечувати сумісним збільшенням частоти обертання ГД та кроку гребного гвинта.

Висновки. Якщо врахувати гвинтову залежність навантаження від частоти обертання дизеля, то навантаження 110 % можна забезпечити збільшенням частоти обертання до 103,2 % та кроку гребного гвинта до навантаження ГД 106,5 %. Щоб реалізувати для навантаження 110 % можливість збільшення частоти обертання дизеля до 103,2 %, систему ДАУ треба налаштувати так, щоб максимальному положенню рукоятки управління на містку АHEAD відповідало не 100,0, а 103,2 % ENGINE SPEED. При цьому на пульті управління містка повинні бути позначки або фіксовані положення, що відповідають номінальному (100 % навантаження) та перевантажувальному (110 % навантаження) положенням. Запропоноване налаштування системи ДАУ здійснюється без внесення конструктивних змін до електронних плат комбінатора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Rules and Regulations for the Classification of Ships, July 2022. Retrieved from: <https://www.lr.org/en/rules-and-regulations-for-the-classification-of-ships/>
2. Tarbiat S., Ghassemi H., Fadavie M., Numerical Prediction of Hydromechanical Behaviour of Controllable Pitch Propeller, (2014) *International Journal of Rotating Machinery*, vol. 2014, 180725, 7 p. <https://doi.org/10.1155/2014/180725>
3. Gorb, S. I., Budurov, M. I., Increasing the Accuracy of a Marine Diesel Engine Operation Limit by Thermal Factor, (2021) *International Review of Mechanical Engineering (IREME)*, 15 (3), pp. 115-121. <https://doi.org/10.15866/ireme.v15i3.20865>
4. Varbanets, R., Karianskyi, S., Rudenko, S., Gritsuk, I. et al., Improvement of Diagnosing Methods of the Diesel Engine Functioning under Operating Conditions, (2017) *SAE Technical Paper*, 2017-01-2218, <https://doi.org/10.4271/2017-01-2218>
5. Горб С.І., Карпілов О.Ю. Розрахунок робочих процесів суднового дизеля: навчальний посібник – Одеса: НУ "ОМА", 2020. – 88 с.
6. Козьминых А.В., Красовский О.Г., Горб С.И. Расчёт эксплуатационных параметров судовых дизелей на ЭЦВМ: учебное пособие. – М.: ЦРИА "Морфлот", 1981. – 44 с.
7. Горб С.И. Моделирование судовых дизельных установок и систем управления: учебное пособие. - М.: Транспорт, 1993. – 134 с.
8. Changyou C., Wallace F., A Generalized Isobaric and Isochoric Thermodynamic Scavenging Model, (1987) *SAE Technical Paper*, 871657, 15 p. <https://doi.org/10.4271/871657>
9. Main Diesel Engine MaK 9M25C Acceptance Test Record No. 271204. Retrieved from <https://www.makmed.fr/en/moteurs/moteurs-mak/m25-propulsion/>

УДК 004.942: 629.4.001.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ У СУДНОВІЙ СИСТЕМІ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ У ДОПОМІЖНОМУ КОТЛІ З НЕЧІТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ

В.Ф. Миргород, д.т.н., доцент

І.М. Гвоздева, д.т.н., професор

Павло.З. Процевич, студент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Пропонується підхід до удосконалення суднових систем автоматичного регулювання шляхом застосування регуляторів, що засновані на нечіткій логіці. Отримані перехідні характеристики автоматичних систем регулювання при застосуванні типових та нечітких регуляторів. Шляхом комп'ютерного експерименту встановлені межі застосування регуляторів, що засновані на нечіткій логіці, у порівнянні з типовими регуляторами. Запропонована методика дослідження динамічної точності систем автоматичного регулювання, що застосовують регулятори, засновані на нечіткій логіці. Встановлено, що застосування запропонованих нечітких регуляторів покращує показники якості суднових автоматичних систем за умови невизначеності вихідних даних.

Ключові слова: система автоматичного управління, типовий регулятор, математична модель, нечітка логіка.

RESEARCH OF PROCESSES IN THE SHIP SYSTEM OF WATER LEVEL REGULATION IN AN AUXILIARY BOILER WITH A FUZZY REGULATOR

V. Myrhorod, Dr. of Science, Associate Professor

I. Hvozdeva, Dr. of Science, Professor

P.Z. Protsyvych, student

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: An approach to the improvement of shipboard automatic control systems by using controllers based on fuzzy logic is proposed. Obtained transient characteristics of automatic regulation systems when using typical and fuzzy regulators. By means of a computer experiment, the limits of application of controllers based on fuzzy logic, in comparison with typical controllers, have been established. The proposed methodology for studying the dynamic accuracy of automatic control systems using controllers based on fuzzy logic. It has been established that the use of the proposed fuzzy controllers improves the quality indicators of the ship's automatic systems under the condition of the uncertainty of the initial data.

Key-words: automatic control system, standard controller, mathematical model, fuzzy logic.

Проблемним питанням удосконалення автоматичних систем регулювання (АСР) керованих змінних стану суднових енергетичних установок (СЕС) є покращення процесу регулювання. Зазвичай в таких АСР застосовуються типові пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори, що відрізняються лише програмно-апаратним виконанням. Налаштування таких регуляторів засновано на типових методиках, які не враховують реальні умови експлуатації СЕС. Тому динамічні похибки регулювання є суттєвим чинником, що впливає на показники техніко-економічної ефективності СЕС.

Важливим науково-прикладним завданням є удосконалення автоматичних систем регулювання керованих змінних стану суднових енергетичних установок за допомогою методів штучного інтелекту, зокрема методів, що враховують

невизначеність та стохастичність умов експлуатації, зокрема методів fuzzy – логіки.

Нечіткі системи мають широку галузь застосування [1,2,3,4], та дозволяють врахувати умови невизначеності в АСР і мають значні переваги у порівнянні із типовими рішеннями. Щодо АСР керованих змінних стану суднових енергетичних установок, застосування вказаних методів штучного інтелекту може мати значні перспективи та техніко-економічний ефект [5,6].

Пропоновані АСР керованих змінних стану суднових енергетичних установок, що засновані на нечіткій логіці, мають регулятори, які виконують складне нелінійне логіко-динамічне перетворення сигналу відхилення у вихідний сигнал керування виконавчим пристроєм. Тому встановлення найбільш важливих показників АСР, а саме, показників якості процесів регулювання аналітичними методами є ще невирішеним завданням. Відомо, що регулятор, що заснований на нечіткій логіці, є нелінійною ланкою зі складною багатовимірною неоднозначною функцією перетворення. Тому найбільш перспективним шляхом дослідження АСР з такими регуляторами є використання методів математичного та комп'ютерного моделювання динамічних процесів із урахуванням невизначеності умов експлуатації.

Метою пропонованого дослідження є встановлення умов та можливостей удосконалення суднових АСР при застосуванні регуляторів, що засновані на нечіткій логіці, та порівняльний аналіз властивостей АСР з типовими та fuzzy – регуляторами.

Сутність пропонованого підходу складається в комплексному застосуванні стохастичного аналізу АСР та методу комп'ютерного моделювання для обчислювального експерименту. Пропонована методика дослідження складається в наступному:

- Будується комп'ютерна модель досліджуваної АСР, що включає fuzzy – регулятор та класичний ПД – регулятор для порівняння та верифікації отриманих результатів.

- Виконується комп'ютерний експеримент шляхом отримання динамічних характеристик АСР. Комп'ютерний експеримент проводиться як для АСР із fuzzy – регулятором та класичним ПД – регулятором.

- Уводиться параметр невизначеності у вигляді випадкових похибок вимірювання вихідної регульованої змінної. Виконується комп'ютерний експеримент шляхом отримання динамічних характеристик АСР. Комп'ютерний експеримент проводиться як для АСР із fuzzy – регулятором та класичним ПД – регулятором.

- Виконується порівняння характеристик АСР по критерію середньоквадратичного відхилення від програми регулювання для АСР із класичним ПД – регулятором та fuzzy – регулятором.

- Виконується додаткова перевірка збіжності результатів комп'ютерного експерименту для різних рівнів похибок вимірювання в АСР із класичним ПД – регулятором та fuzzy – регулятором.

- За позитивним результатом перевірки встановлюються межі застосування в АСР fuzzy – регулятора за перевагами щодо точності регулювання.

Для верифікації запропонованої методики порівняння АСР із класичним ПІД – регулятором та fuzzy – регулятором обрано відомий приклад *sltank* програмного продукту *Fuzzy Logic Toolbox* інтерактивного середовища MATLAB, що є аналогом суднової системи регулювання рівня води в допоміжному судновому котлі. Моделі комп'ютерного експерименту представлено на рисунках 1 та 2. На відміну від прикладу *sltank* в моделі враховані реальні характеристики АСР. Рисунки 3 та 4 ілюструють процеси регулювання в АСР із класичним ПІД – регулятором та fuzzy – регулятором

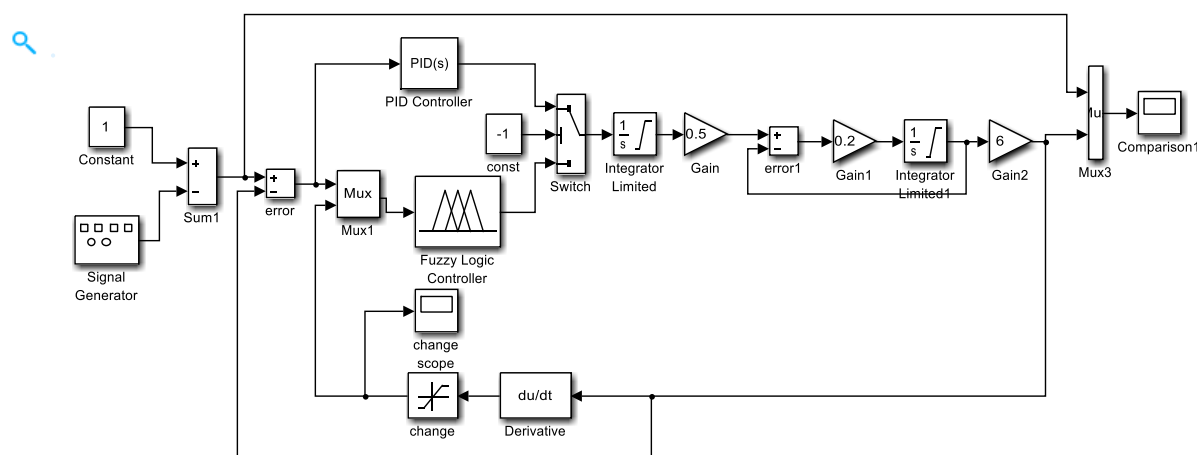


Рисунок 1 – Схема моделювання АСР рівнем води.

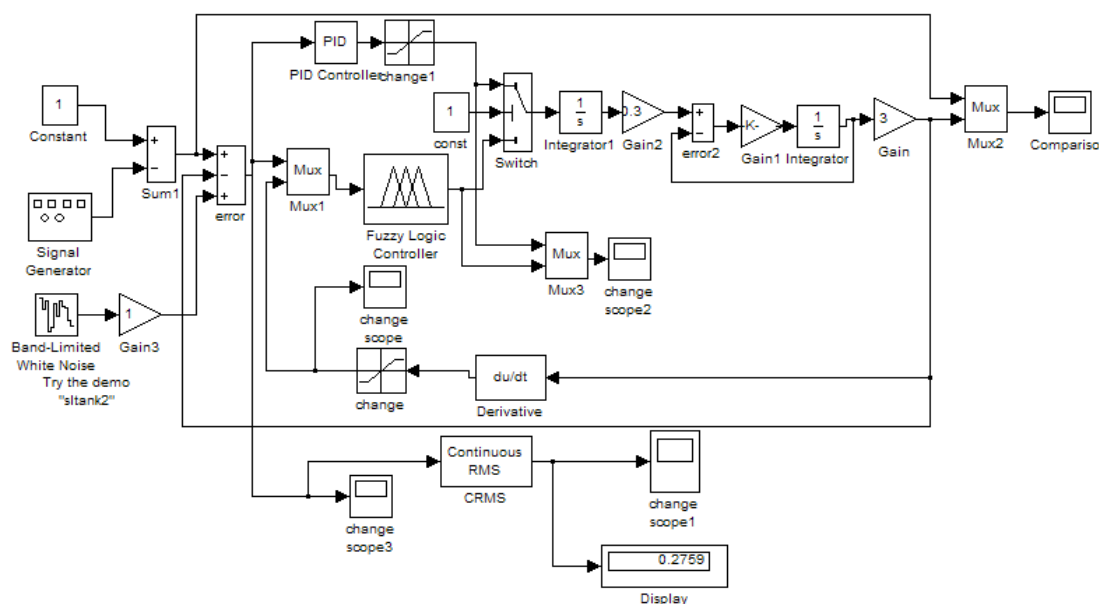


Рисунок 2 – Схема моделювання АСР рівнем води з урахуванням випадкових похибок.

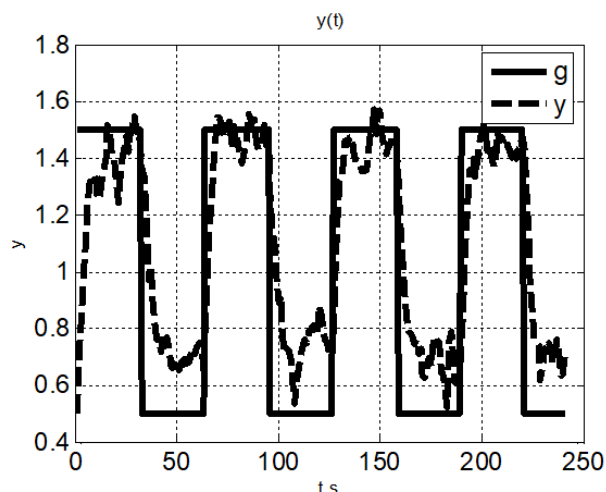


Рисунок 3 – Процеси регулювання в АСР рівнем води з ПІД-регулятором

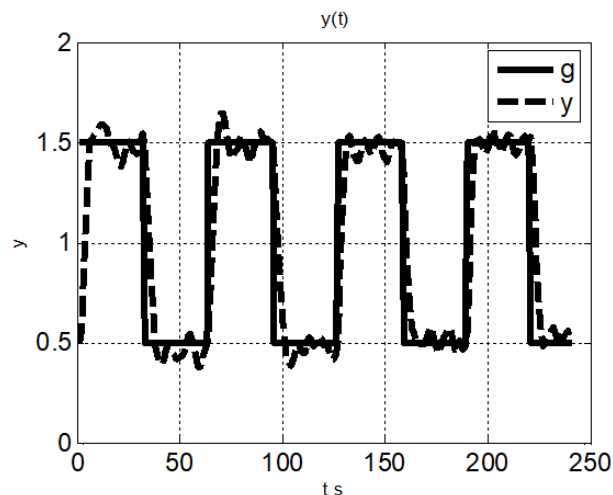


Рисунок 4 – Процеси регулювання в АСР рівнем води з fuzzy - регулятором

Висновки. Обґрунтовано підхід до удосконалення суднових систем автоматичного регулювання шляхом застосування регуляторів, що засновані на нечіткій логіці, що відрізняється встановленням похибок регулювання пропонованих регуляторів у порівнянні з типовими регуляторами в умовах невизначеності вихідних даних. Запропонована методика дослідження динамічних властивостей систем автоматичного регулювання, що застосовують регулятори, засновані на нечіткій логіці. Встановлено, що застосування пропонованих нечітких регуляторів покращує показники якості суднових автоматичних систем за умови наявності невизначеності в даних вимірювань.

Перспективи подальших досліджень полягають в обґрунтуванні меж застосування fuzzy – регуляторів в суднових системах автоматичного регулювання з урахуванням реальних умов експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Апостолук В.О. Інтелектуальні системи керування: конспект лекцій. / В.О. Апостолук, О.С. Апостолук. - К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 88 с.
2. R. Babuska. Fuzzy Modeling for Control / Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998.
3. L. A. Zadeh. Fuzzy sets / Information and Control, 8:338-353, 1965.
4. H. Bandemer and S. Gottwald. Fuzzy Sets, Fuzzy Logic Fuzzy Methods with Applications / John Wiley & Sons, Chichester, 1995.
5. A. B. Badiru and J. Y. Cheung. Fuzzy Engineering Expert Systems with Neural Network Applications / John Wiley, New York, NY, 2002..
6. Миргород, В.Ф. Удосконалення характеристик суднових систем автоматичного регулювання за допомогою застосування FUZZY- регуляторів [Текст] / И.М. Гвоздева, В.Ф. Миргород, Д.В. Лутій, О.В. Мурзак // Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С.109-112. ISSN 2706-7874 (print). DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2021.11.1-238

УДК 004.942: 629.4.001.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ КЕРОВАНОЇ ЗМІНИ СТАНУ ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ У СИСТЕМІ ОХОЛОДЖЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА

В.Ф. Миргород, д.т.н., доцент

І.М. Гвоздева, д.т.н., професор

Петро З. Процевич, студент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Пропонується підхід до удосконалення суднових систем автоматичного регулювання шляхом застосування нової інформаційної технології оптимального налаштування регуляторів, що використовуються в таких системах. Отримані перехідні характеристики автоматичних систем регулювання при застосуванні типових регуляторів за різними методиками їх налаштування. Шляхом комп'ютерного експерименту у поєднанні можливостей SCADA-систем та сучасних програмних продуктів моделювання та оптимізації встановлені налаштування, що задовольняють вимогам практичного застосування. Запропонована методика синтезу найкращих налаштувань систем автоматичного регулювання, що застосовують типові регулятори. Встановлено, що застосування запропонованої методики синтезу регуляторів дає змогу покращити показники сталості та якості суднових автоматичних систем за різними критеріями.

Ключові слова: система автоматичного управління, типовий регулятор, математична модель, SCADA-системи.

RESEARCH OF PROCESSES OF CONTROLLED CHANGE OF WATER TEMPERATURE IN THE MAIN ENGINE COOLING SYSTEM

V. Myrhorod, Dr. of Science, Associate Professor

I. Hvozdeva, Dr. of Science, Professor

P.Z. Protsyvych, student

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: An approach to the improvement of ship systems of automatic regulation by applying new information technology for optimal adjustment of regulators used in such systems is proposed. Obtained transient characteristics of automatic regulation systems when using typical regulators according to different methods of their adjustment. By means of a computer experiment in a combination of SCADA-system capabilities and modern modeling and optimization software products, the settings that meet the requirements of practical application have been established. The method of synthesis of the best settings of automatic regulation systems using typical regulators is proposed. It was established that the application of the proposed method of synthesis of regulators makes it possible to improve the stability and quality indicators of the ship's automatic systems according to various criteria.

Key-words: automatic control system, typical regulator, mathematical model, SCADA systems.

Важливим завданням удосконалення процесу проектування автоматичних систем регулювання (АСР) керованих змінних стану суднових енергетичних установок (СЕС) є оптимізація налаштувань застосовуваних регуляторів за допомогою можливостей сучасних інформаційних технологій. Як правило, в таких АСР застосовуються типові пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори, що мають сукупність взаємопов'язаних параметрів, та реалізуються у цифровому вигляді. Налаштування таких регуляторів має значні проблеми, оскільки взагалі є завданням багатопараметричної оптимізації в умовах встановлених обмежень. Підхід, що засновано на типових емпіричних методиках, не

гарантує досягнення мети, оскільки не враховує відмінність реальних процесів від спрощених математичних моделей. Тому емпіричні методики налаштування не гарантують певні показники запасів сталості АСР та призводять до значних динамічних похибок регулювання, що є суттєвим чинником, що впливає на показники безпеки та техніко-економічної ефективності СЕС.

Важливим науково-прикладним завданням є удосконалення процесу проектування АСР суднових енергетичних установок за допомогою можливостей сучасних інформаційних технологій моделювання та багатовимірної оптимізації.

Методи побудови SCADA - систем мають широку галузь застосування [1,2,3,4], та дозволяють врахувати специфіку суднових АСР і мають значні переваги у порівнянні із типовими рішеннями. Щодо АСР суднових енергетичних установок, застосування вказаних методів забезпечує значний техніко-економічний ефект [5,6].

Відомі АСР керованих змінних стану суднових енергетичних установок мають регулятори, які виконують цифрове перетворення сигналу відхилення у вихідний сигнал керування виконавчим пристроєм. Але відомі методики налаштування таких регуляторів взагалі не враховують найбільш важливий показник АСР, а саме запаси сталості по амплітуді і по фазі. Тому встановлення таких показників АСР, а саме, показників сталості та якості процесів регулювання аналітичними методами є ще невирішеним завданням. Тому найбільш перспективним шляхом дослідження АСР з такими регуляторами є використання методів математичного та комп'ютерного моделювання динамічних процесів із урахуванням існуючих обмежень.

Метою пропонованого дослідження є розгляд підходів щодо удосконалення процесу проектування АСР суднових енергетичних установок за допомогою можливостей сучасних інформаційних технологій моделювання та багатовимірної оптимізації.

Сутність пропонованого підходу складається в комплексному застосуванні можливостей SCADA- систем та сучасних програмних продуктів моделювання та оптимізації для встановлені налаштування ПД-регуляторів, що задовольняють вимогам практичного застосування.

Пропонована методика дослідження складається в наступному:

- Будується SCADA - система досліджуваної АСР з відповідним візуально-орієнтованим інтерфейсом, що включає класичний ПД – регулятор та імітатори вимірювальних каналів з урахуванням випадкових похибок вимірювання.

- Виконується комп'ютерний експеримент шляхом отримання динамічних характеристик АСР (тренду) з класичним ПД – регулятором.

- Будується Simulink – модель досліджуваної АСР та проводиться комп'ютерний експеримент щодо налаштувань ПД – регулятора за табличним методом та методом Зіглера-Ніколса.

- Виконується оптимізація налаштувань ПД – регулятора за допомогою вбудованих засобів Simulink, а саме засобів Tuned та багатовимірної оптимізації з обмеженнями Монте-Карло (Check Step Response Characteristics).

- Виконується додаткова перевірка збіжності результатів комп'ютерного експерименту в АСР із класичним ПД – регулятором в середовищі SCADA – системи та Simulink - моделі

- За позитивним результатом перевірки встановлюються налаштування в ПД – регулятора за перевагами щодо точності регулювання.

Результати застосування запропонованої методики ілюструють рисунок 1 та рисунок 2.

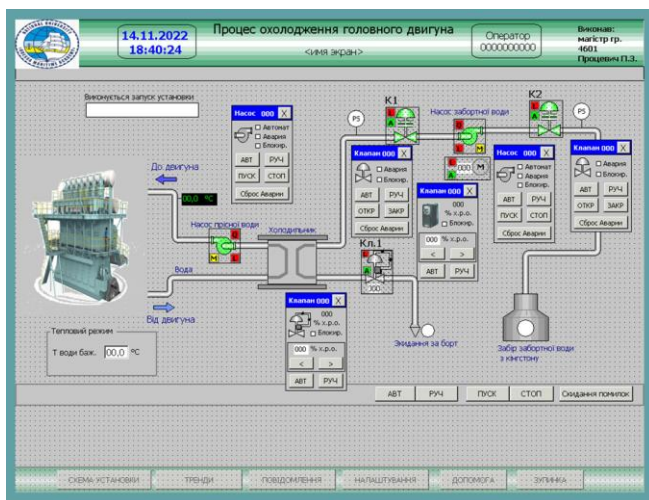


Рисунок 1 – SCADA – система АСР температури води.

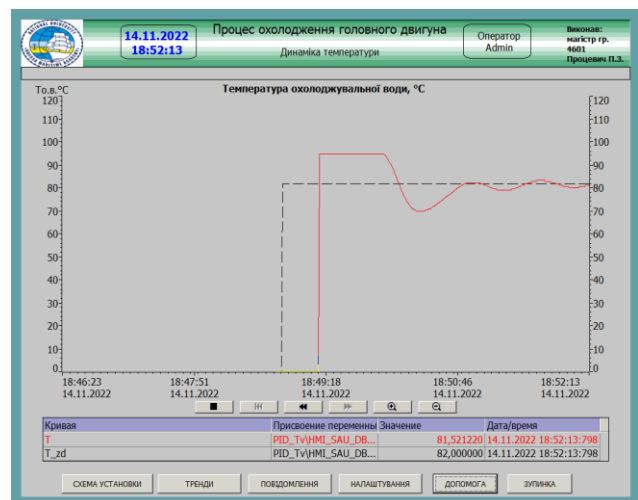


Рисунок 2 – Перехідні процеси в АСР температури води.

Висновки.

Обґрунтовано підхід до удосконалення суднових систем автоматичного регулювання шляхом застосування нової інформаційної технології оптимального налаштування регуляторів, що використовуються в таких системах. Отримані перехідні характеристики автоматичних систем регулювання при застосуванні типових регуляторів за різними методиками їх налаштування. Шляхом комп'ютерного експерименту у поєднанні можливостей SCADA- систем та сучасних програмних продуктів моделювання та оптимізації встановлені налаштування, що задовольняють вимогам практичного застосування. Запропонована методика синтезу найкращих налаштувань систем автоматичного регулювання, що застосовують типові регулятори. Встановлено, що застосування запропонованої методики синтезу регуляторів дає змогу покращити показники сталості та якості суднових автоматичних систем за різними критеріями.

Перспективи подальших досліджень полягають в обґрунтуванні меж застосування запропонованої методики синтезу регуляторів в суднових системах автоматичного регулювання з урахуванням реальних умов експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пушкар, М.С. Проектування систем автоматизації [Текст]: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с.
2. Методи оптимізації систем управління. Застосування пакета OPTIMIZATION TOOLBOX системи MATLAB для безумовної оптимізації: Методичні вказівки з практичних занять / В.В. Логвиненко. - Одеса: ОНМА, 2005. – 27 с.
3. Жукова Н.В. та ін. Сучасна теорія керування динамічних систем // Навч. посібник. – Донецьк, – ДонНТУ. 2013 – 292 с.
4. R.C. Dorf, R.H. Bishop., Modern Control Systems // Prentice Hall– 2004. – 832 с.
5. Дубовой В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування : навчальний посібник / В. М. Дубовой. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 308 с.
6. Попович М.Г. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. П осібник – К.: Либідь, 2005. – 680 с.

УДК. 629.56

ОГЛЯД МЕТОДІВ АДАПТАЦІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ СУДНОВИМИ ОБ'ЄКТАМИ

В.С. Михайленко, д.т.н., професор**В.В. Лещенко**, старший викладач**С.О. Зеленюк**, старший викладач

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Виконаний огляд різних методів адаптації: розрахованих табличним методом адаптивного управління; методи, які реалізують інтелектуальні алгоритми в адаптивному управлінні, зокрема, нечіткі алгоритми та нейронні мережі, які найбільш ефективно виконують процес пошуку оптимальних налаштувальних параметрів типових регуляторів.

Зроблені висновки, що впровадження в програмне забезпечення суднових контролерів методів інтелектуального управління є перспективним науково – практичним напрямком у сфері автоматизації суднових систем.

Ключові слова: методи адаптації, оптимальне управління, суднова енергетична установка, нейронні мережі.

REVIEW OF ADAPTATION METHODS IN SHIP FACILITIES MANAGEMENT SYSTEMS

V. Mikhailenko, Dr. of Science, Professor**V. Leshchenko**, Senior Lecturer**S. Zelenuk**, Senior Lecturer

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: An overview of various adaptation methods was performed: calculated by the tabular method of adaptive management; methods that implement intelligent algorithms in adaptive control, in particular, fuzzy algorithms and neural networks, which most effectively perform the process of finding optimal setting parameters of typical regulators.

It was concluded that the introduction of intelligent control methods into the software of ship controllers is a promising scientific and practical direction in the field of automation of ship systems.

Key-words: adaptation methods, optimal control, ship power plant, neuron networks.

Серед світових виробників мікропроцесорних систем моніторингу та управління судновими системами можна виділити такі компанії: ABB, Kongsberg, Side Marine, Marine and Industry, Siemens, Imtech Marine and Industry і т. д. Розробка, налаштування та використання програм для управління контролерами агрегатів СЕУ здійснюється за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення: ISaGRAF, InControl, Paradym, Trace Mode, Genesis і т. д.

Згідно інформації розробників [1,2], процес адаптації або автоналаштування в суднових системах управління починається з пошуку початкових приближень параметрів налаштування ПД – регуляторів. Процес пошуку виконується за допомогою методу Зіглера-Ніколса [3] з подальшою корекцією параметрів налаштування за допомогою евристичних або нечітких продукційних правил виду «ЯКЩО...ТО...» [4]. До недоліку вказаного підходу, на думку авторів, слід віднести наявність несприятливого автоколивального режиму САУ, а також, те, що початкові налаштувальні параметри, одержані по методу Зіглера-Ніколса, не являються оптимальними для об'єктів СЕУ, що може привести до подальшої некоректної роботи всієї САУ при роботі СЕУ в умовах несприятливої навігаційної обстановки або значній зміні навантаження. Таким чином, пошук методів удосконалення роботи нечітких систем управління, або нечітких систем автоналаштування параметрів класичних регуляторів залишається відкритим науковим завданням.

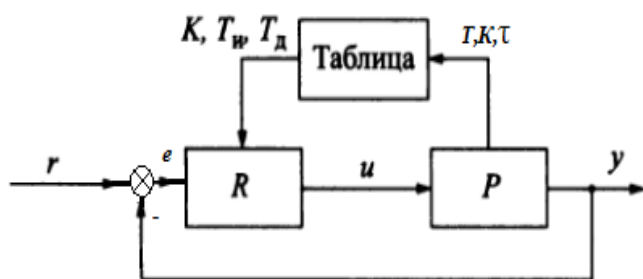


Рисунок 1 – Адаптивне управління за допомогою параметрів об'єкта, раніше записаних в таблицю: r – завдання; R – ПД – регулятор; u – управляючий вплив; P – об'єкт (парогенератор СЕУ); y – контрольований параметр; K_p , T_n , T_d – налаштувальні параметри ПД - регулятора; K – коефіцієнт посилення об'єкта; T – постійна часу; τ – запізнення; e – помилка

печити ефективність процесів САУ для других режимів роботи суднового парогенератора. Так, згідно табличному алгоритму адаптації (рис.1), при настанні відповідних умов експлуатації або по команді від оператора у випадках незадовільних перехідних процесів параметрів котла, сервер с табличними формулами налаштувальних параметрів традиційного регулятора змінює (корегує) значення параметрів налаштування локальним регуляторам САУ об'єктів СЕУ, одержаних на основі розрахунку значень по аналітичній моделі об'єкта, одержаній на стадії проектного рішення.

Запропонований компаніями – розробниками табличний принцип адаптивного управління [5], зокрема закладений в Trace Mode, для реалізації в САУ об'єктів СЕУ, в якому оптимальні параметри регуляторів, які реалізують традиційні П, ПІ, ПД, ПІД закони занесені в таблицю блоку адаптації з відповідним критерієм управління, являється оптимальним тільки для номінального та максимального режимів роботи суднового парового котла. Принцип не може забез-

Недоліком зазначеного підходу є те, що за умовами експлуатації об'єктів (парогенераторів СЕУ) принцип активної або тестової ідентифікації на САУ, рекомендований для отримання нової математичної моделі об'єкта котла по каналу управління, не завжди може бути реалізований. Перевірка досліджуваного методу на адекватність визначення параметрів об'єкта в SCADA пакеті TRACE MODE також показала його неефективність. Так при початковому значенні параметрів об'єкта з передавальною функцією:

$$W(s) = \frac{0,55}{1,5s + 1}$$

див. рис.2., ідентифікатор визначив наступні значення параметрів моделі:

$$W^{\text{mod}}(s) = \frac{0,32}{(1,32s + 1)}.$$

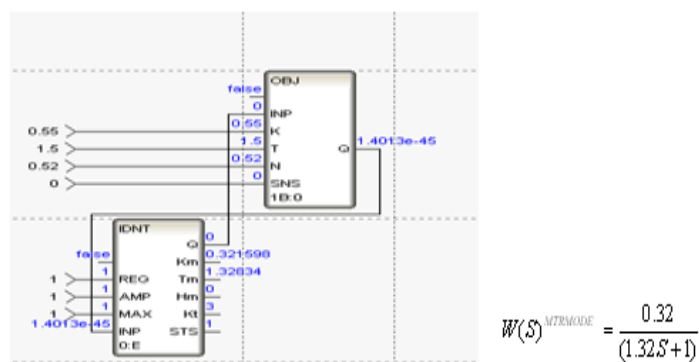


Рисунок 2 – Ідентифікація об'єкта в пакеті TRACE MODE

Висновки

Експеримент в SCADA - пакеті показав, що налаштувальні адаптивні параметри ПД – регулятора, розраховані табличним методом адаптивного управління, – забезпечують стійкість процесу регулювання при номінальному навантаженні або на стадії вводу САУ об'єктів СЕУ в експлуатацію, але не забезпечують оптимального управління на всіх можливих режимах роботи суднового парового котла. При цьому, методи, які реалізують інтелектуальні алгоритми в адаптивному управлінні, зокрема, нечіткі алгоритми та нейронні мережі, більш ефективно виконують процес пошуку оптимальних налаштувальних параметрів типових регуляторів [6].

Таким чином, впровадження в програмне забезпечення суднових контролерів методів інтелектуального управління є перспективним науково – практичним напрямком у сфері автоматизації суднових систем.

ЛІТЕРАТУРА

1.Каталог продукції / Все необхідне для автоматизації на судах // [Каталог]: Повна номенклатура виробів ABB. – ABB, 2020.-340 с.

2. Каталог продукції / Засоби промислової автоматизації. Промислові комп'ютери і контролери на судах. Вбудовані комп'ютерні системи [Каталог продукції фірми Siemens]: - А-ТЕХ, 2021. – 450 с.
3. Ziegler J.C. Optimum settings for automatic controllers / J.C. Ziegler, N.B. Nichols // ASME. Transactions, 1942. – Vol. 64. – № 8.
4. Zadeh L. A. Fuzzy sets / L. A. Zadeh // Information and Control. – 1965, №8. – P. 338-353.
5. Astrom K. J., Wittenmark B. F. Adaptive Control / K. J. Astrom, Wittenmark B. F. // Ed. Addison-Wesley Publishing. Vol. 10, 1989. – P. 355-359.
6. Mikhailenko V.S. Analysis of Traditional and Neuro Fuzzy Adaptive System of Controlling the Primary Steam Temperature in the Direct Flow Steam Generators in Thermal Power Stations / V.S. Mikhailenko, R.Yu. Kharchenko. // Automatic Control and Computer Sciences. – 2014. – Vol. 48, № 6. – P. 334 – 344.

УДК 621.3. 681.516.7

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА СТАНУ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА ЗА ДОПОМОГОЮ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ДІАГРАМИ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

С.А. Дудко, старший викладач
В.О. Дубовик, старший викладач
А.В. Бондаренко, к.т.н., доцент

Національний університет "Одеська морська академія"

Анотація. Сучасні системи діагностики стану головних двигунів з електронним управлінням виробництва фірми MAN B&W є інформативними, але складними системами. Тому оцінити стан пропульсивної установки, якщо брати до уваги усі різновиди її укомплектування, є доволі складною задачею для обслуговуючого персоналу. У статті розбирається принцип побудови навантажувальної характеристики пропульсивних установок, визначення на ній характерних точок і ліній обмеження, та аналіз допустимих відхилень від зразкових характеристик, що отримані при заводських випробуваннях.

Ключові слова. Навантажувальна діаграма головного двигуна. Обмежувальна характеристика. $(N)MCR$ – (номінальні) максимальні постійні оберти.

SYSTEM ANALYSIS OF WORKING MODES AND STATE OF MAIN ENGINE WITH ELECTRONIC CONTROL SYSTEM USING REAL-TIME LOADING DIAGRAM

Sergiy Dudko, Senior lecturer
Vitaly Dubovik, Senior lecturer
Andrii Bondarenko, Ph.D., Associate Professor
National University "Odesa Maritime Academy"

Abstract. Modern condition diagnosing systems for Main Engines with electronic control manufactured by MAN B&W are informative, but complex systems. Therefore, assessing the condition of the propulsion plant, regarding the varieties of its equipment, is a rather difficult task for service personnel. The article deals with the principle of constructing the loading characteristic of propulsive installations, determining its characteristic points and limitation lines, and analyzing the permissible deviations from shop test and sea trial results.

Keywords. ME Load diagram. Limit curve. $ME (N)MCR$ – (nominal)maximum continuous rate.

Вступ. Вимоги до сучасних суднових пропульсивних систем стають жорсткішими з кожним роком. Застосовуються новітні матеріали, суднові інтегровані системи управління та ін.. Тому і системи діагностування та оцінки стану пропульсивних установок стають складнішими.

Принципи побудови навантажувальних діаграм. Ефективна потужність “Р” дизельного двигуна пропорційна середньому ефективному тиску “Р_е” і частоті обертання двигуна “n”, тобто при використанні “С” як константа:

$$P = C \cdot P_e \cdot n, \quad (1)$$

отже, при постійному середньому ефективному тиску (тер) потужність пропорційна швидкості: $P = C \cdot n^1$. (2)

При роботі з гвинтом з фіксованим кроком (FPP) потужність може бути виражена відповідно до закону гвинта як: $P = C \cdot n^3$.

(3)

Таким чином, як було наведено вище, потужність Р може бути виражена як статежна функція швидкості “n” у ступені “i”, тобто:

$$P = C \cdot n^i. \quad (4)$$

Статежні функції $P = C \cdot n^i$, при використанні логарифмічних шкал, будуть лінійними функціями: $\log(P) = i \cdot \log(n) + \log(C)$ (5)

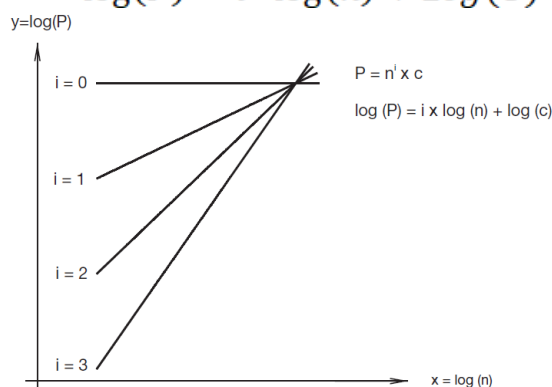


Рисунок 1 – Криві функції потужності у логарифмічному масштабі

Таким чином, криві гребних винтів будуть паралельні лініям з нахилом $i = 3$, а лінії з постійною (тер) будуть паралельні лініям з нахилом $i = 1$. Тому в компоновальних схемах та діаграмах навантаження для дизелів логарифмічні масштаби використовуються, даючи прості діаграми з прямими лініями.

Співвідношення між потужністю і швидкістю гребного гвинта для гвинта фіксованого кроку, описано за допомогою закону гребного гвинта, тобто кривої потужності третього ступеня: $P = C \cdot n^3$.

Зазвичай оцінки необхідної потужності та швидкості гребного гвинта засновані на теоретичних розрахунках для завантаженого судна та на експериментальних випробуваннях у резервуарах, причому передбачаються оптимальні умови експлуатації, тобто чистий корпус та гарна погода. Отримане поєднання швидкості та потужності можна назвати розрахунковою точкою (PD) гребного гвинта судна, розташованої на кривій 6 легкого гребного гвинта (рис.2). Крім того, лінія 2 – пропульсивна крива при оброслому корпусі та поганій погоді; лі-

нія 6 – крива при чистому корпусі та безвітряній погоді (легкий хід). MP – вказаний MCR для руху. SP – рейтинг безперервної роботи силової установки. PD – розрахункова точка гребного гвинта. HR – важкий хід. LR – легкий хід.

З часом корпус судна та гребний гвинт забруднюються, а опір корпусу збільшується. Отже, швидкість судна буде знижуватися, якщо двигун не збільшить більшу потужність на гребний гвинт, тобто гребний гвинт буде додатково навантажений і працюватиме важче (HR). Оскільки сучасні судна з відносно високою експлуатаційною швидкістю мають дуже гладкі поверхні гребного гвинта та корпусу, поступове обростання корпусу після ходових випробувань збільшує опір та ускладнює роботу гребного гвинта.

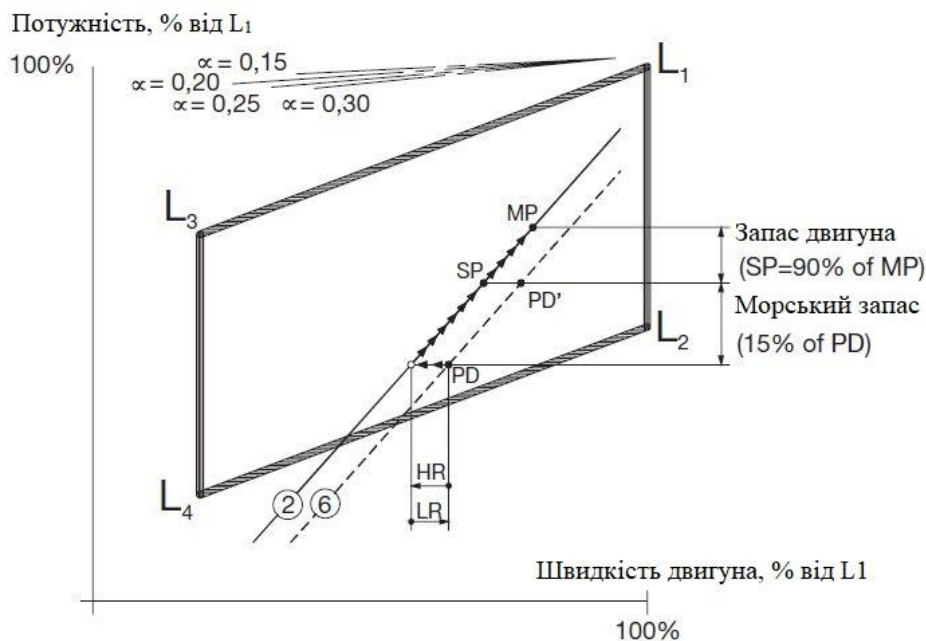


Рисунок 2 – Ходові точки суднових рушіїв та компоновання двигунів

При визначенні необхідної потужності двигуна прийнято додавати додатковий запас потужності, на випадок погіршення погодних умов, так званий морський запас, який зазвичай становить близько 15% розрахункової потужності гребного гвинта (PD).

При визначенні необхідних оборотів двигуна, що враховує вплив важкого гребного гвинта на роботу при великому додатковому опорі судна, рекомендується (порівняно з лінією 6) вибрати більш навантажену характеристику гребного гвинта. Лінія 2 – крива гвинта для чистого корпусу і штиля тоді можна сказати, що лінія 6 являє собою «легкохідний» (LR) гвинт.

Крім морського запасу, часто додається так званий «руховий запас» близько 10% або 15%. Відповідна точка називається «заданим MCR для тяги» (MP) і відноситься до того факту, що потужність для точки SP на 10% або 15% нижче, ніж для точки MP.

Точка MP ідентична зазначеній точці MCR двигуна (M), якщо не встановлено валогенератор (ВГ) з приводом від головного двигуна. У такому разі необхідно також враховувати додаткову потужність, яку споживає ВГ.

Лінії постійної швидкості корабля α показані в верхній частині рисунка 2. Вони вказують потужність, необхідну при різних швидкостях гребного гвинта, щоб підтримувати однакову швидкість судна.

Терміни «легкий/важкий хід», «забруднення» та «край моря» частково збігаються. Легкий/важкий хід гребного гвинта відноситься до зносу корпусу і гребного гвинта і поганої погоди, тоді як “морський запас”, тобто додаткова потужність гребного гвинта відноситься до впливу вітру і моря.

Лінії постійної швидкості судна α показані на самому верху рисунка 3. Ці лінії показують потужність, необхідну при різних швидкостях гребного гвинта для підтримки однієї і тієї ж швидкості судна за умови, що оптимальний діаметр гребного гвинта з оптимальним співвідношенням діаметрів кроку використовується за будь-якої заданої швидкості з урахуванням ККД рушія.

Зазвичай можна припустити наступне співвідношення між необхідною потужністю та частотою обертання гвинта:

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right) \cdot \alpha, \quad (6)$$

де: P – потужність тяги, n – швидкість гребного гвинта, а α – коефіцієнт постійної швидкості судна.

Для будь-якої комбінації потужності та швидкості кожна точка на лініях, паралельних лініям швидкості судна, дає однакову швидкість судна. Коли таку лінію постійної швидкості судна проведено на схемі компонування через задану точку MCR рушія «MP₁», обрану в області компонування і паралельну одній з α -ліній, інша задана точка MCR рушія «MP₂» на цій лінії може бути обрана так, щоб дати кораблю ту ж швидкість для нової комбінації потужності та швидкості.

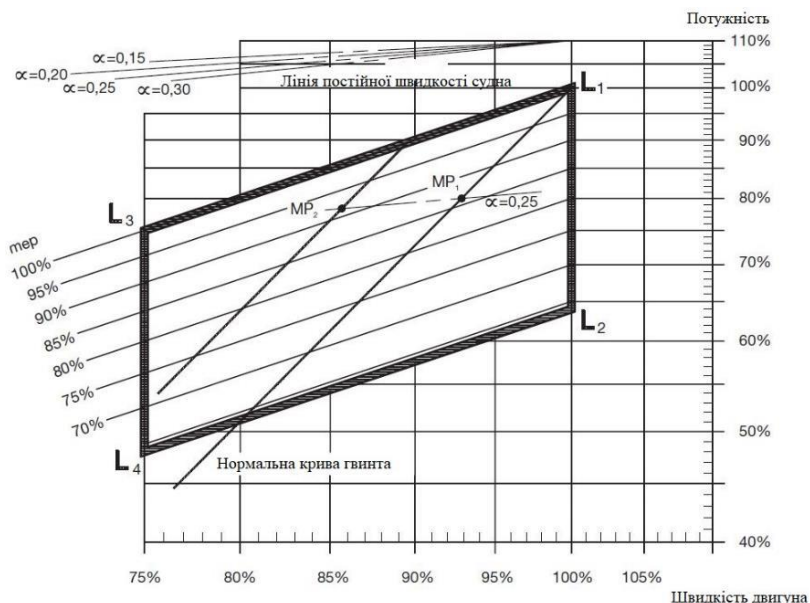


Рисунок 3 – Діаграма компонування та лінії постійної швидкості судна

На рисунку 3 показаний приклад необхідної точки MP₁ швидкості потужності, через яку проводиться крива постійної швидкості судна $\alpha = 0,25$, отриманої.

муючи точку MP_2 з меншою потужністю двигуна та меншою частотою обертання двигуна, але з досягненням тієї ж швидкості судна.

При використанні оптимального співвідношення крок/діаметр для даного діаметру гребного гвинта при зміні діаметра гребного гвинта діють такі дані: для генеральних вантажів, балкерів і танкерів $\alpha = 0,25 - 0,30$ та для рефрижераторів та контейнеровозів $\alpha = 0,15 - 0,25$. При зміні швидкості гвинта за рахунок зміни відношення діаметрів кроку, константа α буде іншою.

Компонувальна схема двигуна обмежена двома лініями постійного середнього ефективного тиску (мер) L_1-L_3 та L_2-L_4 , а також двома лініями постійної швидкості двигуна L_1-L_2 та L_3-L_4 . Точка L_1 відноситься до номінальної максимальної тривалої потужності двигуна. В області компонування є повна свобода вибору заданої точки MCR двигуна, яка відповідає вимогам до потужності гребного гвинта та швидкості судна.

По горизонтальній осі відкладені оберти двигуна, а вертикальній осі потужність двигуна у відсотках. Шкали є логарифмічними, що означає, що на цій діаграмі криві функції потужності, такі як криві гребного гвинта (3-й ступінь), криві постійного середнього ефективного тиску (1-й ступінь) та криві постійної швидкості судна (від 0,15 до 0,30 потужності), є прямі лінії.

Навантажувальна діаграма двигуна. Навантажувальна діаграма двигуна визначає обмеження за потужністю та частотою обертання для тривалої роботи, а також роботи з перевантаженням встановленого двигуна, що має задану точку MCR M , що підтверджується специфікацією судна.

Точка A є 100% – відліком швидкості і потужності діаграми навантаження і визначається як точка на кривій гвинта (лінія 1), – кривої компонування двигуна – через точку узгодження Про, що має задану потужність MCR. Зазвичай, точка M збігається з точкою A , але в особливих випадках, наприклад, якщо встановлений валогенератор, точка M може розташовуватися праворуч від точки A на лінії 7. Однак MAN Diesel завжди може вважати точку A точкою MCR двигуна для заводських випробувань. Найчастіше точки M і A збігаються.

Точки обслуговування встановленого двигуна включають потужність двигуна, необхідну для руху судна та валогенератора, якщо він встановлений.

Діапазон безперервної роботи обмежений чотирма лініями: 4, 5, 7 та 3 (9) (рис. 4). Нижче описані криві гвинта, лінії 1, 2 і 6 на діаграмі навантаження.

Лінія 1 – крива гвинта через зазначений MCR (M), крива компонування двигуна ($i = 3$); лінія 2 – крива гребного гвинта, забруднений корпус та погана погода – важкий хід ($i = 3$); лінія 3 і лінія 9 – лінія 3 представляє максимально допустиму швидкість безперервної роботи, тобто 105 % від A . У тестових умовах максимальна швидкість може бути збільшена до 107% A , дивись лінію 9.

Вищезгадані межі в цілому можуть бути розширені до 105%, а в умовах випробувань до 107% номінальної частоти обертання двигуна L_1 , якщо дозволяють умови крутильних коливань.

Уставка перевищення швидкості становить 109% швидкості в точці А, проте її можна перемістити на 109% номінальної швидкості L_1 , якщо дозволяють умови крутильних коливань.

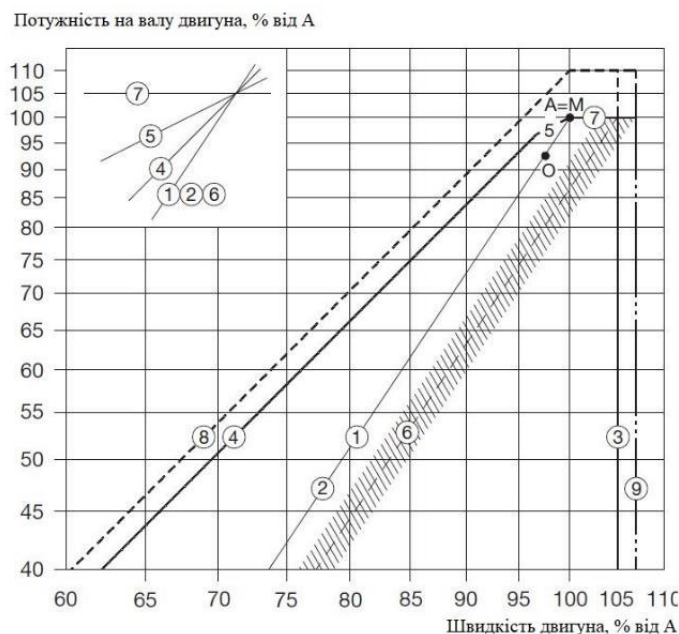


Рисунок 4 – Діаграма стандартного навантаження двигуна

Таким чином, лінія 4 – є межа, при якій для горіння доступний достатній запас повітря, і накладає обмеження на максимальну комбінацію крутного моменту та швидкості ($i = 2$); лінія 5 – максимальний середній ефективний рівень тиску (тер), який може бути прийнятий для безперервної роботи ($i = 1$); лінія 6 – крива гребного гвинта при чистому корпусі та безвітряній погоді – «легкий хід», використовується для компонування/конструкції гребного гвинта ($i = 3$); лінія 7 – максимальна потужність для безперервної роботи ($i = 0$).

Діапазон обслуговування перевантажень обмежений наступними лініями: лінія 8 – є обмеження роботи при перевантаженні. Область між лініями 4, 5, 7 та жирною пунктирною лінією 8 доступна для роботи з перевантаженням лише протягом обмеженого періоду часу (1 година кожні 12 годин); лінія 9 – обмеження швидкості на ходових випробуваннях. Область між лініями 4, 5, 7 та жирною пунктирною лінією 8 доступна для роботи з перевантаженням лише протягом обмеженого періоду часу (1 година кожні 12 годин).

Оскільки фази впорску палива та фаз газорозподілу автоматично оптимізуються у всьому діапазоні потужностей, двигун може працювати на оборотах приблизно до 15% від номінальної частоти обертання L_1 .

Ділянка між лініями 4 і 1 доступна для роботи на міліні, при штормі і при розгоні, тобто. для нестационарної роботи без жорсткого обмеження часу. Через деякий час експлуатації корпус судна і гребний гвинт забруднюються, що призводить до більш важкої роботи гребного гвинта, тобто крива гребного гвинта

зміститься вліво від лінії 6 до лінії 2, і для руху буде потрібна додаткова потужність, щоб зберегти швидкість корабля.

Після вибору зазначеного MCR (і точки узгодження) продуктивність допоміжного обладнання буде адаптована до зазначеного MCR, а також буде обрано характеристики турбокомпресора та ступінь стиснення.

Якщо зазначений MCR (і/або точка узгодження) надалі буде збільшений, це може бути пов'язано зі зміною продуктивності насоса та охолоджувача, заміною форсунок паливних клапанів, регулюванням охолодження гільзи циліндра, або заміна турбокомпресора або навіть перехід на більший турбонагнітач. У деяких випадках можуть знадобитися більші розміри трубопровідних систем.

Тому вкрай важливо вже на стадії проекту розглянути питання про те, чи слід підготувати специфікацію для подальшого збільшення потужності.

Висновки. На даному етапі досліджень в статті розкрита ідея побудови навантажувальної характеристики головного двигуна у логарифмічному масштабі, що значно спрощує побудову такої характеристики. Зроблено аналіз режимів та умови роботи пропульсивної установки, і як це впливає на зміщення робочої точки на навантажувальній діаграмі. Зазначені чинники, що міняють положення робочих точок на навантажувальній діаграмі та вказані максимальні і мінімальні ліміти відхилень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дубровська, В.В. Термодинаміка та теплообмін: навч. посіб. / В.В. Дубровська, В.І. Шкляр –К.: НТУУ «КПІ», Вид-во «Політехніка», 2016. – 152 с
2. Методы и средства диагностирования судовой энергетической установки / А. В. Тымкив, В. Г. Денисов // Судовые энергетические установки. - 2014. - Вып.32.- С. 113-123. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/seu_2014_32_18
3. Шліхта О.М., Кардаш В.П. Підвищення енергоефективності робочого процесу суднового двигуна. Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 21.03.2019-22.03.2019.-Одеса: НУ «ОМА», 2019.- 232-237.
4. <https://primeserv.man-es.com/marine-engines-and-systems/service-letter-marine>
5. [http://maytau.ut.edu.vn/userfiles/files/50-108ME/ME-C - Vol. II MAINTENANCE.pdf](http://maytau.ut.edu.vn/userfiles/files/50-108ME/ME-C-Vol.II%20MAINTENANCE.pdf)

УДК 629.5.06 (043)

ON APPROACH AND PRINCIPLE OF TECHNICAL IMPLEMENTATION OF THE SHIP ELECTRIC POWER SYSTEM MONITORING PARAMETERS

Mykola Mukha, Dr. of Technical Science, Professor
Alla Drankova, Ph.D., Associate Professor
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The paper proposes an approach and principle of technical implementation monitoring parameters for generators and the most powerful consumers of electricity (bow thrusters and refrigerated containers) using the example of high-voltage systems equipped with HIMAP / SYMAP type automatic control and protection devices. It is about the use of the ship's Rina Cube System and Modbus RTU communication

network to transmit monitoring results from the ship to the shore computer center for their further processing and presentation for use by the ship and the company's shore department and services.

Keywords: electricity parameters monitoring, ship electric power system, digital communication technologies, Modbus RTU communication network.

ПРО ПІДХІД ТА ПРИНЦИП ТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

М.Й. Муха, д.т.н., професор

А.О. Дранкова, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: В роботі пропонується підхід та принцип технічної реалізації моніторингу параметрів суднових генераторів та найбільш потужних споживачів електроенергії (підрулюючих пристроїв та рефрижераторних контейнерів) на прикладі високовольтних систем, що обладнані пристроями автоматики та захисту типу HIMAP / SYMAP. Йдеться про використання суднової Rina Cube System та Modbus RTU комунікаційної мережі для передачі результатів моніторингу від судна до берегового комп'ютерного центру з метою їх подальшої обробки та представлення для використання судном та береговими службами компанії і сервісом.

Ключові слова: моніторинг параметрів електроенергії, суднова електроенергетична система, цифрові комунікаційні технології, Modbus RTU комунікаційна мережа.

Reducing operating costs, reducing energy costs per unit of cargo transportation, and reducing a quantity of emissions into the atmosphere are among the main concerns of the shipping industry today.

The general picture in energy consumption and energy saving and understanding the ships energy balance is essential for addressing the control concerns of the main ship consumers, identifying ways to reduce energy consumption, and calculating savings potential in greater detail. The energy balance can be calculated based on a ship's design documentation and verified using onboard measurements and monitoring of key energy consumption parameters, for example, using RINA Cube System. An onboard energy assessment will enable the calculation of each source of energy consumption, with sufficient accuracy for use in a ship's energy balance chart.

Energy Efficiency as defined by IMO The Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) represents a possible approach to monitoring ships and fleet efficiency performance over time. It is also an option to consider when seeking to optimize a ship's performance. The purpose of a SEEMP is to establish a mechanism through which a company and/ or ship can improve the energy efficiency of a ship's operation. A ship specific SEEMP should be linked to a broader corporate energy management policy for the company that owns, operates, or controls the ship. The goal of SEEMP is to increase energy efficiency, reduce total fuel costs and, as such, reduce emissions into the air. Energy appraisal (energy audit) - vital knowledge when making investment decisions. The fuel saving and emission reduction, the investment cost and payback time should be analysed. A report of these analyses provides a firm basis for evaluating the related benefits and making investment decisions.

There are some ways to improve energy efficiency. One of the ways to increase the energy efficiency of ships and reduce energy consumption is managing the flow

of electric energy. It's this part of the energy from the total ship energy flow (Fig. 1) is considered by the authors in this paper.

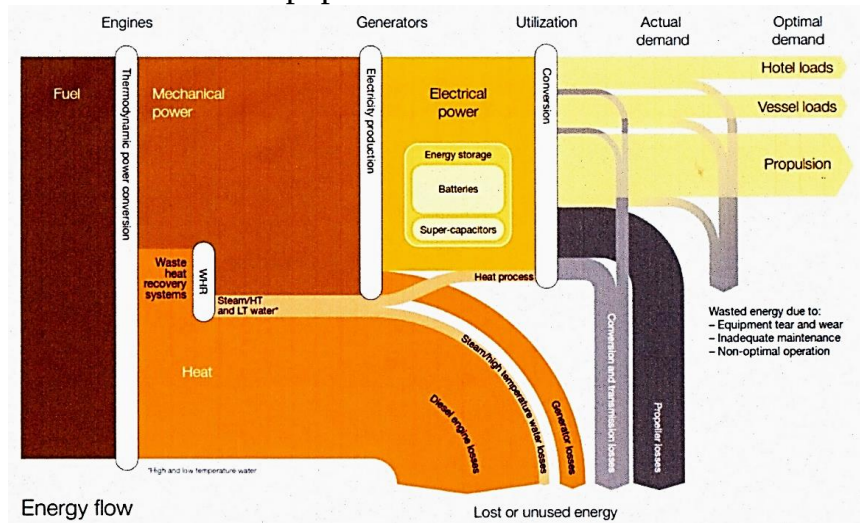


Figure 1 – Ship's Energy Flow [1]

Undesirable losses occur during the production, distribution, conversion, and use of electricity in the ship's autonomous electrical system. In addition, ship electricity consumers mainly have an active inductive load, that is, the total current of generators, transformers and cable lines should be increased relative to the required active load by a value that is inversely proportional to the value of the power factor, which is proportional to the increase in the number of electricity consumers. Therefore, generating plants must provide additional reactive power, which, in turn, reduces their efficiency due to the increased fuel consumption of primary engines (diesel engines).

Thus, one of the ways to increase an energy efficiency of the ship's operation and reduce a power consumption along with improving the operation modes of the ship's propulsion and optimizing the operation of an auxiliary equipment and mechanisms is an implementation of the methods managing flows electric energy.

In our opinion, there are two ways or two areas to solve this problem: 1) optimal control of the electrical energy flow at the stage of generation and distribution; 2) optimization of energy flows at the consumption stage, i.e., at the stage of electro-mechanical electricity conversion (electric drives).

In the first area we can offer a proven solution [2,3] that can be used to improve the energy efficiency of ship autonomous power systems by dynamic compensation of reactive power in load circuits depending on changes in the reactive conductivity of loads, which will increase the speed, accuracy of the reactive power compensation process in transient switching modes of loads and voltage stability of the autonomous ship electrical system, and thereby reduce energy costs and carbon dioxide emissions into the atmosphere by sea vessels. The second direction of solving the energy efficiency problem relates to the reasonable introduction of frequency-controlled electric drives (VFD) for different ship mechanisms [4].

A typical ship's situation and example. Ships' pumps and fans applications are typically over-dimensioned for the actual needs in question. Over dimensioning re-

sults from design criteria set to meet a vessel's extreme operating conditions. However, such conditions rarely meet in everyday operation. As a rule, pumps and fans constantly run at full speed and the flow is controlled by valves and dampers. Such control methods are wasted energy. By equipping these mechanisms with frequency converters (VFD), significant energy savings can be made, and as a result, lower energy consumption reduces CO2 emissions.

The energy parameters monitoring process of ship's equipment is provided and transmitted to shore using Rina Cube Optimum System, which install on each company ship. The Rina Cube System basic layout (hardware KIT installation) are Optimum PC, the Signals Converter, Switch, Serial to Ethernet converter, Power Supply Elements (Fig. 2).



Figure 2 – Rina Cube System

The functional diagram of the Rina Cube System is shown in Fig. 3.

The main purposes of creating the Rina Cube System for monitoring the regime parameters of ship power plants are:

1. Optimization of the energy consumption of ship equipment and the vessel, i.e., reduction of energy consumption per unit of transported cargo by increasing the energy efficiency of vessels, which, on the one side, will reduce the costs of maritime transportation, and, on the other side, will help reduce air pollution from ships and help reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere by maritime transport facilities.

2. Obtaining quantitative estimates of such optimization of energy consumption by the company's ships and managing this optimization process.

One of the possible ways to improve the energy efficiency of ship operation and reduce energy consumption is the following: improving the operation of the ships main engines and optimizing the operation of ship auxiliary equipment, i.e., devel-

opment of rational methods for managing electric energy flows in the ship power plant in general.

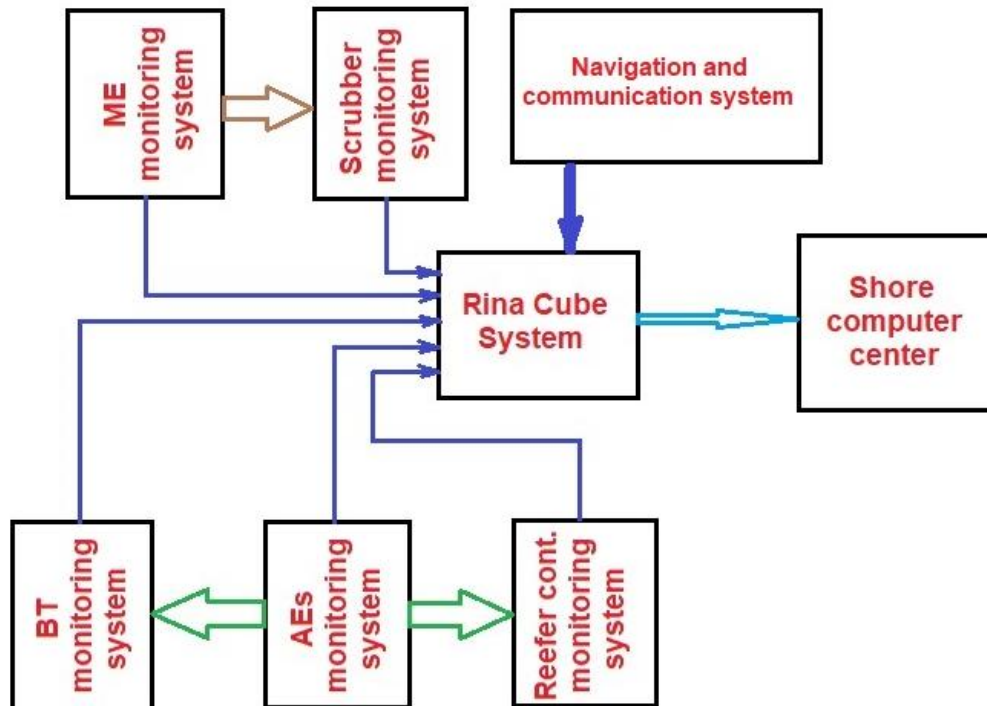


Figure 3 – Functional diagram of Rina Cube System

This paper discusses approaches and principles for obtaining the necessary information about the ship's generators electrical parameters and the most powerful load of a ship power plant - thrusters and refrigerated containers (which is 70-80% of the ship's consumers power on board). In this context, as an example, the proposed variant of monitoring the generators electrical values of vessel high-voltage systems, which are equipped with such generator automation and protection devices as SYMAP and HIMAP, is considered.

When determining the rational configuration of the system for monitoring the generating sets parameters, it should be noted that for high-voltage vessel electrical systems, the control of electrical quantities is possible only with the help of the indicated electronic devices SYMAP, HIMAP, without installing additional high-voltage current transformers.

As the practical implementation of such systems shows, when choosing a rational structure (connection method, communication interface, communication network, etc.), one should also consider the processing and presenting method of received data (software, PC tools).

One of the possible options for connecting the Rina Cube System via the Modbus RTU network [5] can be to use one of the Moxa server free ports and connect the SYMAP-BCG RS-485 ports of all generators which are connected according to a straight-line topology (using terminals 26-27, see Fig. 4, SYMAP-BCG).

The corresponding settings for this connection option can be obtained by entering the SYMAP-BCG system settings. The implementation of the above links will allow selecting (or developing additionally) appropriate software and PC tools for processing and using monitoring results in future both for the ship and for the company's departments and services.

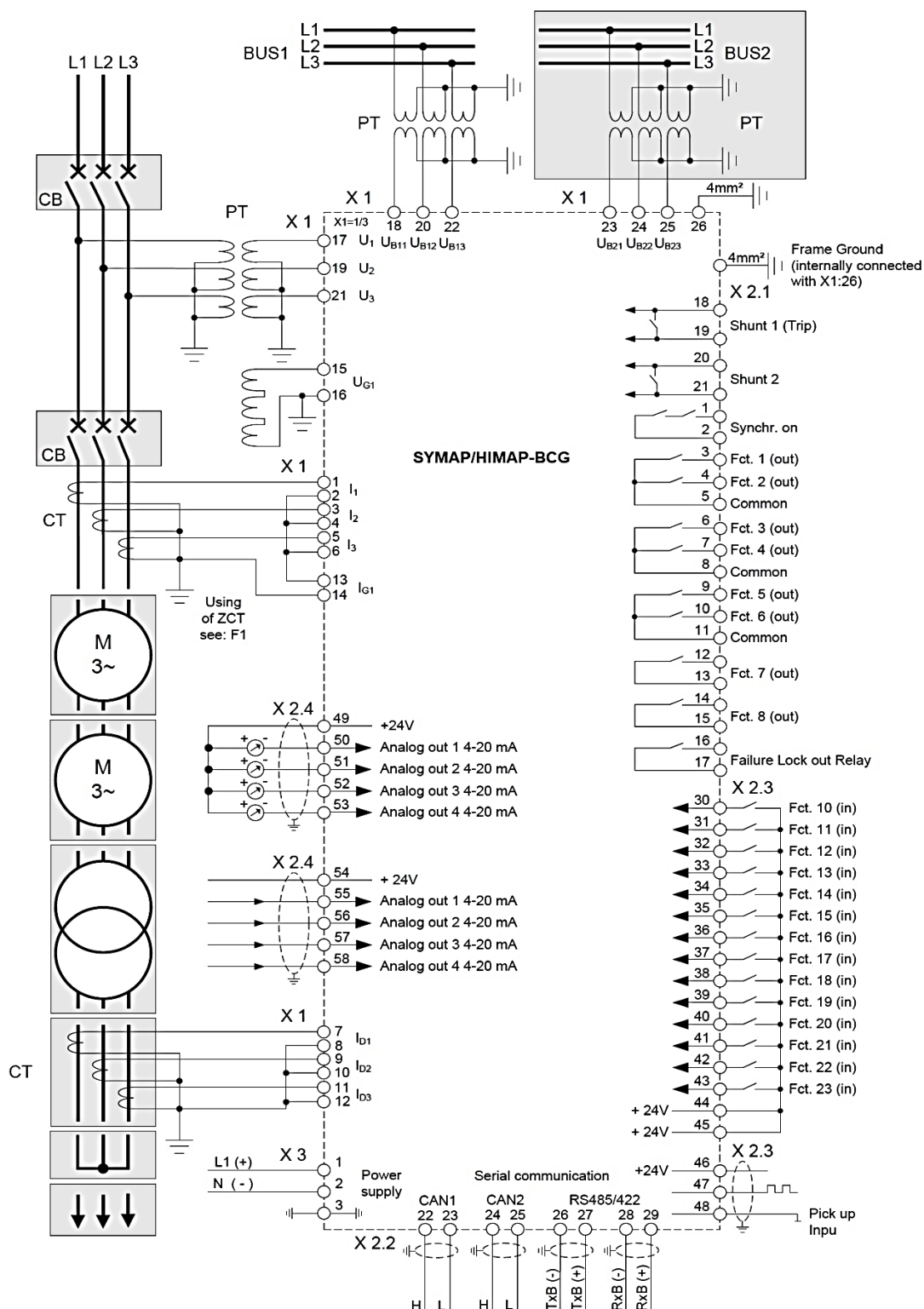


Figure 4 – Configuration of SYMAP/HIMAP-BCG series. Connection of main board

With the analogous inputs for measurement (Fig. 4), the following values can be measured and displayed [5]:

- 3 phase-to-phase and line voltages of feeder and BUS1 and BUS2,
- 3 phase feeder current (average/max. value),
- 3 phase differential current (max. value),
- Frequencies of all systems (min./max. value),
- Ground current and voltage (max. value),
- Active and reactive power of each phase,
- Active and reactive ground power,
- Power factor of each phase,
- Active and reactive power counter (reverse and forward, constant, and temporary),
- Operating hours,
- Breaker cycles (lifetime),
- Harmonic waves of feeder current and voltage (up to 5th harmonic wave).

The wiring of the SYMAP RS422/485 communication ports of generator sets (diesel generator DG, shaft generator SG) with the master system - Rina Cube is shown in Fig.5. After transmission of each message SYMAP set the communication lines into high impedance state. Thus, the communication lines (TxD-A, TxD-B, RxD-A and RxD-B) can be connected in parallel of all SYMAP devices. The master system selects the SYMAP slave according to its slave address.

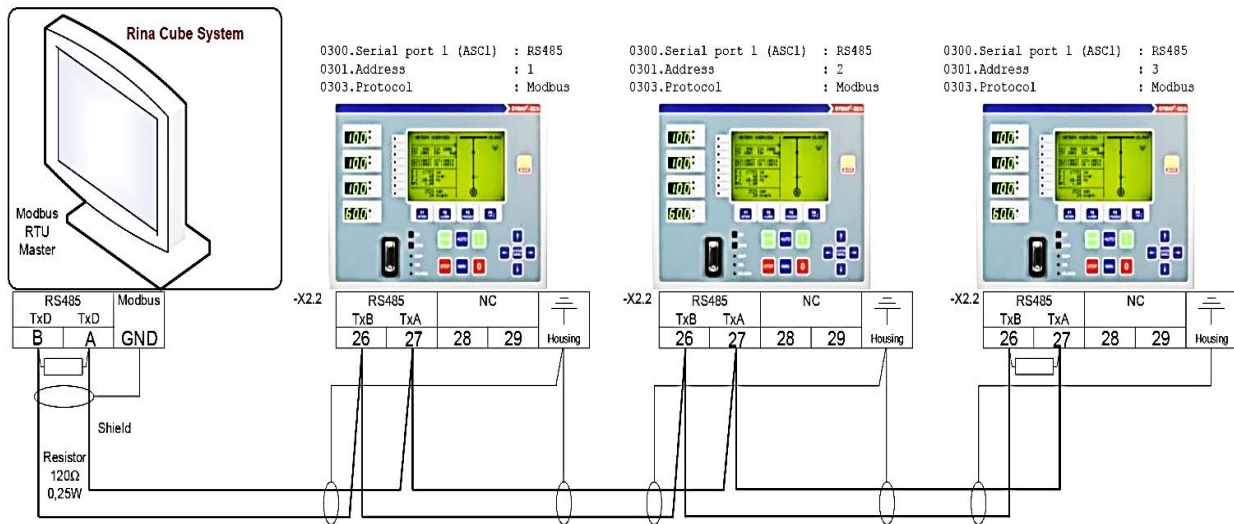


Figure 5 – Connection diagram for RS 485 communication

The receive lines of the SYMAP slave with the longest distance to the master system should be terminated with a 120 Ohm resistor. The same resistor will be required for the receive lines of the master system.

The RS422/485 communication parameter [0300] to [0303] serve the adjustment of the RS422/485 communication port and protocol.

The adjustment possibilities for the communication are shown in Tabl.1.

Table 1 – Parameter settings of the communication [5]

Parameter	Function	Selection [range]
[0300]	Port selection	Selection of physical communication standard. RS485: physical standard of RS485 active.
[0301]	Slave address	This parameter defines the slave address of the device (SYMAP RS422/485 communication ports of generator sets). 1-255: Possible address selection.
[0302]	Baudrate of communication	Baudrate for the communication. 9600...57600 Possible baud rate selection.
[0303]	Protocol selection	This parameter defines the protocol standard: PC-Tools: reserved for all PC applications. MODBUS: activates the MODBUS protocol.
fixed	Transmission mode	RTM mode: SYMAP allows only the Remote Terminal Mode and thus a 8 bit coding system and a CRC 16 error checking.
fixed	Start bit	1
fixed	Stop bits	1 or 2 (depends on parameter [0054])
fixed	Parity	None

Conclusions. The approaches and principles for the technical implementation of remote monitoring of the parameters of ship power supply systems which are proposed, considered on the example of ship high-voltage systems with their automation and protection devices of the SIMAP/HIMAP types with using the network communication technologies, make it possible to obtain the necessary electrical quantities for a quantitative assessment of the company's ships energy consumption.

After receiving the data, the choice of which is determined by the objective function of optimizing the energy consumption of the company's ships, the onshore computer centre, using the appropriate software and PC tools, will processes and presents the monitoring results for using separately by the ship and by the company's on-shore departments and services.

REFERENCES

1. Energy efficiency handbook. Toward zero emission ship operations. Helsinki: ABB Marine & Ports, 2020. – 196 p. 9AKK107680A8255 1.9.2020.
<https://new.abb.com/marine/energy-efficiency-handbook>
2. Mukha M. Dynamic compensation of reactive power in ship-based autonomous electric power systems: Dr. tech. sci. diss: 05.09.03/ Lviv Polytechnic National University. Lviv. 2018. 404 p. (Ukr)
3. Vyshnevsky L.V. Start of asynchronous electric motors with reactive power compensation / Vyshnevsky L.V., Mukha N.Y., Pavlenko S.S. - Monograph - Odesa: NU "OMA", - 2016. - 161 p. (Rus)
4. Energy efficiency and renewable energy sources / Under general ed. A.K. Shidlovsky - K.: "Ukrainian encyclopedic knowledge", 2007. - 559 p. (Ukr)
5. SYMAP_UsersManual_v4.2_GB.docx User's Manual/STUCKE ELEKTRONIK GMBH. - 02.09.2015 (JH). – 110 p.

УДК 004.942: 629.4.001.4

ТРЕНДОВІ СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ ТА ЇХ КОМП'ЮТЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ В СУДНОВИХ СИСТЕМАХ ДІАГНОСТИКИ

І.М. Гвоздева, д.т.н., професор

В.Ф. Миргород, д.т.н., доцент

І.В. Петков, асистент

В.О. Круц, студент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. В роботі на основі аналізу відомих літературних джерел, експериментальних досліджень, математичного і комп'ютерного моделювання із застосуванням методів трендового контролю було запропоновано вдосконалення суднових автоматизованих систем контролю і діагностики шляхом використання передових інформаційних технологій та побудови адекватних моделей та алгоритмів трендового контролю параметрів дизель-генераторних установок в процесі їх тривалої експлуатації.

Ключові слова: суднова дизель-генераторна установка, система автоматизованого контролю і діагностики, діагностування, трендовий контроль, трендова статистика.

TREND STATISTICAL MODELS AND COMPUTER IMPLEMENTATION IN SHIP DIAGNOSTIC SYSTEMS

I. Hvozdeva, Dr. of Science, Professor

V. Myrhorod, Dr. of Science, Associate Professor

I. Pietkov, Assistant

V. Krutz, Student

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. In the paper, based on the analysis of well-known literary sources, experimental studies, athematical and computer modeling using trend control methods, it was proposed to improve the ship's automated control and diagnostic systems by using advanced information technologies and developing the adequate models and algorithms for trend control of the diagnostic parameters of the diesel generator set's in the process of their long-term operation.

Key-words: ship diesel generator set, system of automated control and diagnostics, diagnostics, trend control, trend statistics.

Техніко-економічні та експлуатаційні характеристики суднових енергетичних установок (СЕУ) визначаються характеристиками дизель-генераторних установок (ДГУ). Стратегія обслуговування зазначених об'єктів за технічним станом дозволяє підвищити надійність і ефективність експлуатації ДГУ і продовжити міжремонтний період роботи обладнання, що входить до їх складу. Важливим питанням реалізації зазначеної стратегії є створення інтегрованих автоматизованих систем контролю і діагностики (АСКД) ДГУ.

Проблемним питанням удосконалення суднових АСКД є підвищення надійності статистичних висновків АСКД про технічний стан суднових ДГУ в реальних умовах експлуатації. Технічний стан суднових дизель-генераторних установок визначається за даними дискретних вимірювань термогазодинамічних і електричних параметрів: температур, тисків, обертів турбін, вібропараметрів, струмів навантаження тощо.

Застосування в АСКД сучасних підходів для оцінки технічного стану ДГУ, що враховують інформативність параметрів контролю їх технічного стану і їх взаємозв'язок, дозволить підвищити достовірність діагностичних висновків щодо їх технічного стану.

Мета пропонованого дослідження полягає у вдосконаленні суднових автоматизованих систем контролю і діагностики шляхом використання передових інформаційних технологій для побудови адекватних моделей та алгоритмів трендового контролю параметрів ДГУ в процесі їх тривалої експлуатації.

Суднова електроенергетична система – це сукупність суднових електротехнічних пристроїв, призначених для виробництва, перетворення, розподілу електроенергії та живлення нею суднових приймачів (споживачів). Вона складається з наступних елементів: джерел електричної енергії (генераторів електроенергії з їх приводними двигунами), ліній електропередачі, головного розподільного щита (ГРЩ) та вторинних розподільних щитів (РЩ) електророзподільних щитів, перетворювачів електроенергії та електророзподільного щита живлення з берега. Такі складні системи потребують постійного нагляду та контролю параметрів обладнання для того, щоб екіпаж судна мав можливість підтримувати безперебійне живлення головного двигуна та систем, що підтримують життєдіяльність судна. Це здійснюється спеціальними системами управління та моніторингу, що засновують свою роботу на методах технічної діагностики, зокрема, методах трендового контролю діагностичних параметрів.

Технічна діагностика – це галузь знань, що досліджує технічні стани об'єктів діагностування і прояву технічних станів, методи їх визначення, а також принципи побудови і організацію використання систем діагностування [1,2]. Застосування сучасних методів технічної діагностики дозволило перейти від ремонту установок за попереджувальним планом до ремонту за їх фактичним станом. Це досягається завдяки застосуванню на суднах інтегрованих систем управління та контролю, що інформують операторів про отримані дані від наявних в установках вбудованих засобів технічного діагностування.

На сучасних суднах технічне діагностування здійснюється автоматизованими системами контролю і діагностики, такими, як наприклад, DATA CHIEF C20 компанії KONGSBERG.

В статті [3] описана можливість застосування методів трендового контролю, зокрема, аналіз даних параметрів експлуатації ДГУ з метою відшукування елементів простору ознак для можливості подальшої реалізації функцій оцінки і прогнозування її технічного стану.

У більшості літературних джерел під трендом розуміють стійку систематичну зміну процесу протягом тривалого часу [4–6]. **НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТРЕНДУ РОЗГЛЯНУТІ У РОБОТАХ [6–10].** Питання удосконалення АСКД, зокрема бортових АСКД, детально розглянуті у роботах [11–15].

Для удосконалення суднових АСКД на основі використання найбільш відомих методів трендового контролю авторами розроблені програмні засоби у візуально-орієнтованому середовищі Simulink.

Головною підсистемою спроектованого програмного виробу є підсистема розрахунку трендових статистик (рис. 1). Вказана підсистема містить програмні блоки розрахунку основних застосовуваних в прикладних задачах трендових статистик, зокрема критеріїв Аббе, кумулятивних сум, приростів перших різниць, відношення дисперсій Кохрейна-Фішера. Поєднання таких програмних блоків зумовлено апріорною невизначеністю щодо статистичних моделей породження даних у загальному випадку, що диктує необхідність тестування групи трендових статистик на реальних даних для відбору з них найбільш ефективних.

За допомогою розробленого програмного виробу для визначення технічного стану суднової ДГУ застосована вибірка експериментальних даних, яка складається з даних реєстрації температурного параметра ДГУ по циліндрам 1...8 (рис. 2).

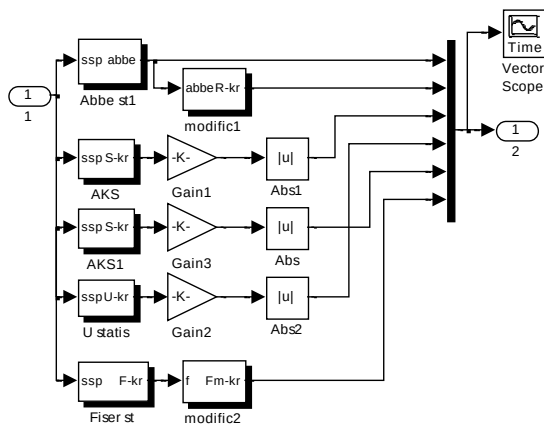


Рисунок 1 – Підсистема розрахунку трендових статистик

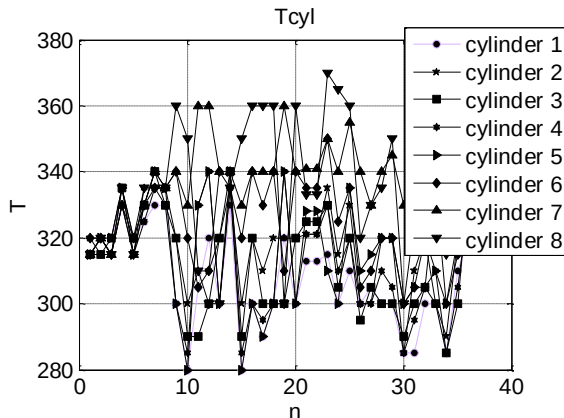


Рисунок 2 – Вибірка по циліндрам 1...8

У процесі проведеного комп'ютерного експерименту за допомогою розробленого програмного засобу розраховані трендові статистики вибірок по циліндрах 1...8. З огляду на показники трендових статистик було зроблено висновки про придатність всіх тестованих критеріїв та діагностичний висновок стосовно технічного стану всіх циліндрів ДГУ.

На рис. 3 та на рис. 4 зображені результати розрахунку трендових статистик вибірок по циліндрам 7 та 8.

По значенням трендових статистик (рис.3, рис.4) можливо побачити, що тренд виходить за рівень 95% довірчої вірогідності за декількома статистиками, зокрема Аббе. Тому, згідно отриманим в результаті комп'ютерного моделювання показникам трендових статистик, необхідно приділити увагу до 7-го та до 8-го циліндрів та встановити їх придатність до продовження експлуатації інструментальними засобами діагностування.

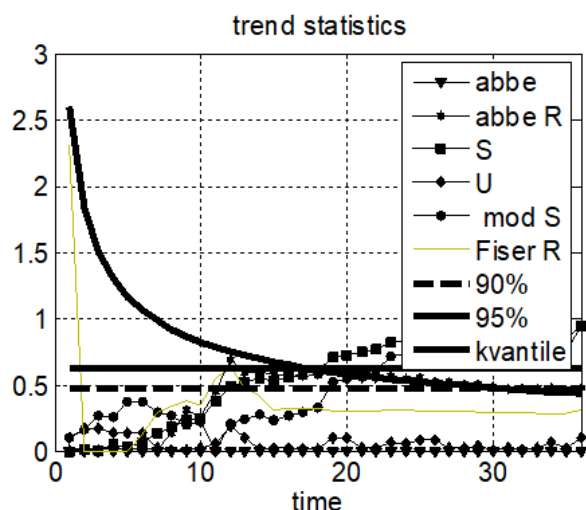


Рисунок 3 – Трендові статистики вибірки по циліндру 7

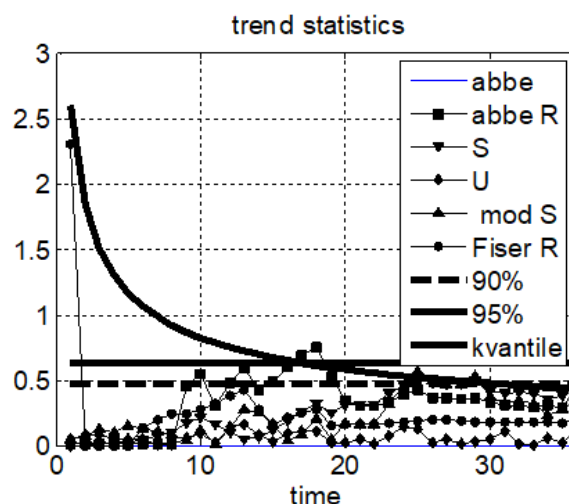


Рисунок 4 – Трендові статистики вибірки по циліндру 8

Зважаючи на висновки, зроблені після детального аналізу результатів розрахунку трендових статистик по кожному з циліндрів ДГУ, можемо вказати на наступне:

по-перше, з огляду на невизначеність статистичної моделі породжування даних різні трендові критерії мають різну потужність та вірогідність хибних результатів, зокрема критерій Фішера має найменшу потужність, а критерії кумулятивних сум та приростів дають похибки; найбільш ефективними є критерії з урахуванням напрацювання та модифікований Аббе, які можуть бути рекомендовані до застосування;

по-друге, результати трендового контролю дають можливість проаналізувати зміну технічного стану ДГУ, яка досліджується.

Висновки. На основі використання існуючих методів трендового контролю отримані результати, які в сукупності вирішують важливе науково-технічне завдання підвищення достовірності діагностування технічного стану судових дизель-генераторних установок шляхом використання інженерно-технічних рішень, які полягають у розробці та використанні комп'ютерної моделі, що дає змогу індивідуалізувати діагностування для кожної установки та для кожного її циліндру.

ЛІТЕРАТУРА

1. Калкаманов С.А., Коваленко А.В., Шавкун В.М. Конспект лекцій з дисциплін «технічна діагностика електромеханічних систем», «діагностування рухомого складу електричного транспорту» – Х.: ХНУМГ, 2014. – 152 с.
2. Електронний ресурс: ДСТУ 2389-94 Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення <https://www.twirpx.com/file/2414014/>
3. Деміров В.В., Гвоздева І.М. Проблеми удосконалення систем управління та діагностики судових дизель-генераторних установок / В.В.Деміров, І.М.Гвоздева // Двигуни внутрішнього згоряння, 2017. №2. С.52–57.
4. Литвин О.М. Інтерплінація функцій та Деякі її застосування. - Харків,: Основа, 2002. – 437.

5. Литвин О.М. Одне узагальнення поняття тренду для неперіодичних функцій двох змінних / Литвин О.М., Удовиченко В.М. // Праці 7-ї Всеукр. міжнарод. конф. "Оброблення сигналів і зображень та розпознавання образів", 11-15.10.2004 .- Київ. - С. 293 - 296.
6. Єпіфанов С.В. Синтез систем управління і діагностування газотурбінних двигунів / Єпіфанов С.В., Кузнєцов В.І., Богаєнко І.І. та ін. - К.: Техніка, 1998. - 312 с.
7. S.L. Marple "Digital Spectral Analysis: With Application". New York: Prentice-Hall, 1987.
8. R.H. Shumway, "Applied statistical time series analysis". New York: Prentice Hall, 1988.
9. W.W. Wei, "Time series analysis: Univariate and multivariate methods". New York: Addison-Wesley, 1989.
10. Said E. Testing for Unit Roots in Autoregressive Moving Average Models of Unknown Order. / Said E., Dickey DA // Biometrika, 71. - P. 599 - 607.
11. Myrhorod, V. New Trend Criteria for Monitoring the Conditions of Technical Objects/ V. Myrhorod, I. Hvozdeva, Y. Deren / 11th International Conference for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences - AMiTaNS'19, AIP Conference Book of Abstracts; 2019, p. 32
12. Гвоздева І.М. Оцінка елементів простору діагностичних ознак технічного стану суднових дизель-генераторних агрегатів / І.М. Гвоздева, М.А. Якименко, В.В. Деміров, В.Ф. Миргород, Є. В. Деренг // Вісник Херсонського національного технічного університету . – Херсон. – 2019.– Вип. 2(69).– Частина 2. – С. 39-46.
13. I. Hvozdeva, V. Myrhorod, V. Budashko and V. Shevchenko "Problems of Improving the Diagnostic Systems of Marine Diesel Generator Sets", 2020 IEEE 15th International Conference in Advanced Trends in Radio electronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 350-354. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235453
14. Myrhorod, V. Investigation on the power of some parametric criteria for trend detection in time series / V. Myrhorod, I. Hvozdeva, Y. Deren / 12th International Conference for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences - AMiTaNS'20, AIP Conference Proceedings; AIP 2302 , 060008-1 - 060008-11 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0034794>
15. Myrhorod, V. Multi-parameter Diagnostic Model of the Technical Conditions Changes of Ship Diesel Generator Sets [Text] / V. Myrhorod, I. Hvozdeva, V. Budashko // 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP), Kremenchuk, 21-25 Sept. 2020, Ukraine: IEEE. Pp. 1-5. DOI: 10.1109/PAEP49887.2020.9240905.

УДК 004.942: 629.4.001.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ У СУДНОВІЙ СИСТЕМІ РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ ПАРИ У ДОПОМІЖНОМУ КОТЛІ ЗАСОБАМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

В.Ф. Миргород, д.т.н., доцент

І.М. Гвоздева, д.т.н., професор

В.В. Рашков, студент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: *Пропонується підхід до удосконалення суднових систем автоматичного регулювання шляхом застосування регуляторів, що мають робастні властивості. Отримані характеристики автоматичних систем регулювання при застосуванні типових регуляторів та регуляторів, що володіють властивостями найменшої чутливості до зміни параметрів системи. Отримані умови на параметри регуляторів, що забезпечують властивості робастності. Шляхом комп'ютерного експерименту встановлені межі застосування пропонованих регуляторів. Запропонована методика дослідження чутливості систем автоматичного регулювання, що застосовують регулятори, синтезовані за пропонованим підходом. Встановлено, що застосування пропонованих робастних регуляторів*

покращує експлуатаційні показники суднових автоматичних систем за умови невизначеності вихідних даних.

Ключові слова: система автоматичного управління, типовий регулятор, математична модель, робастний регулятор.

RESEARCH OF THE PROCESSES IN THE SHIP SYSTEM OF STEAM PRESSURE REGULATION IN AN AUXILIARY BOILER USING MATHEMATICAL MODELING

V. Myrhorod, Dr. of Science, Associate Professor

I. Hvozdeva, Dr. of Science, Professor

V.V. Rashkov, student

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: An approach to the improvement of ship systems of automatic regulation by using regulators with robust properties is proposed. Obtained characteristics of automatic regulation systems when using typical regulators and regulators with properties of the least sensitivity to changes in system parameters. The obtained conditions for the parameters of the regulators, which ensure the robustness properties. By means of a computer experiment, the limits of the application of the proposed regulators were established. The method of studying the sensitivity of automatic control systems using regulators synthesized according to the proposed approach is proposed. It has been established that the use of the proposed robust controllers improves the operational performance of the ship's automatic systems under the condition of the uncertainty of the initial data.

Key-words: automatic control system, typical regulator, mathematical model, robust regulator.

Важливим і проблемним питанням удосконалення автоматичних систем регулювання (АСР) суднових енергетичних установок (СЕС) є забезпечення робастності процесів регулювання відносно зміни параметрів як об'єкту регулювання, так і системи в цілому. Застосовувані в суднових АСР типові пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори в цілому забезпечують вимоги щодо процесів регулювання. Але налаштування таких регуляторів виконується за типовими методиками, які взагалі не передбачують найбільш важливий показник АСР, а саме, гарантовані запаси сталості та можливість їх підтримання в процесі експлуатації СЕС. Зміна параметрів об'єкту регулювання та умов експлуатації СЕС є природним чинником за причин відпрацювання ресурсу і деградації параметрів об'єкту регулювання. Тому забезпечення робастності АСР є суттєвим чинником, що впливає на показники техніко-економічної ефективності СЕС.

Звідси, проблемним науково-прикладним завданням є покращення характеристик суднових АСР на основі методів теорії чутливості, зокрема методів, що враховують можливість змін параметрів об'єкту регулювання та умов експлуатації СЕС, та забезпечують гарантовані запаси сталості.

Методи теорії чутливості (робастності) отримали достатньо розповсюдження [1,2,3,4] в АСР. Тому такі методи можуть мати перспективу відносно відомих методик налаштувань ПІД – регуляторів. В розглядаємій галузі методи теорії робастності визначають технічні переваги [5,6].

Робастні регулятори в АСР СЕС, що засновані на відповідній теорії чутливості, мають властивості, що дозволяють значно зменшити вплив зміни параметрів АСР в процесі експлуатації на показники сталості. Але встановлення таких

умов і залежностей параметрів ПД – регуляторів для забезпечення вказаних вимог є ще невирішеним завданням. Відомо, що регулятор, що синтезується методом логарифмічних амплітудних частотних характеристик (ЛАЧХ), повинен забезпечити нахил бажаної ЛАЧХ незмінної частини розімкненої АСР в області перетину вісі частот не більше, ніж 20 db/dec для забезпечення найменшої чутливості відносно зміни параметрів АСР. Але такий підхід пропонується виключно з досвіду експлуатації і є емпіричним, не обґрунтованим аналітичними методами. Тому пропонованим методом дослідження АСР з такими регуляторами є комплексне застосування аналітичних методів та методів математичного моделювання.

Метою пропонованого дослідження є встановлення умов та можливостей покращення експлуатаційних характеристик судових АСР при застосуванні робастних регуляторів, що засновані теорії чутливості систем керування.

Сутність пропонованого підходу складається в комплексному застосуванні аналітичного аналізу АСР та методу комп'ютерного моделювання. Пропонована методика дослідження складається в наступному:

- Будується комп'ютерна модель досліджуваної АСР, що включає об'єкт регулювання та класичний ПД – регулятор, налаштований за типовою методикою, для порівняння та верифікації отриманих результатів.

- Розраховуються аналітичним методом умови та обмеження сталості АСР, що надають багатовимірну область параметрів ПД – регулятору, що задовольняє встановленим запасам сталості.

- Розглядається конфігурація встановлення умов та запасів сталості: точка перетину амплітудно-фазової частотної характеристики (АФЧХ) розімкненої системи з регулятором вісі уявних значень у лівій її площині.

- У вказаній конфігурації знаходяться запаси сталості по амплітуді, та умови робастності: уявна частина АФЧХ є тотожно нуль, часткова похідна модуля АФЧХ за частотою також тотожно нуль, що забезпечує перший перетин АФЧХ уявної вісі під кутом в 90 град.

- Вказані умови надають, по-перше, частоту, на якій виконуються вказані умови, по-друге, рівняння, що зв'язує параметри регулятору, що можуть забезпечити його робастність. Вказана множина параметрів повинна бути підмножиною багатовимірної області параметрів ПД – регулятору, що задовольняє встановленим запасам сталості. Виконується додаткова перевірка збіжності результатів моделювання для різних параметрів ПД – регулятору.

- За позитивним результатом перевірки встановлюються межі застосування в АСР робастного регулятора.

Деталізація пропонованої методики полягає в наступному.

Дійсно, найкращі показники робастності може мати така АСР, в якій регулятор забезпечує перший перетин АФЧХ розімкненої системи уявної вісі у лівій на півплощині під кутом в 90 град. Тобто дотична до годографу АФЧХ (годографу Найквіста) в такій точці повинна бути мати нахил саме 90 град. Будь-який інший кут перетину призводить до збільшення чутливості запасів сталості

від зміни параметрів АСР. Розуміється, що така точка повинна мати розташування справа від критичної точки межі сталості з координатами $(-1, j0)$ і встановлює запас сталості по амплітуді.

Звідси встановлюється безпосередньо обґрунтування емпіричної вимоги щодо регулятора, що синтезується методом ЛАЧХ, який повинен забезпечити нахил бажаної ЛАЧХ незмінної частини розімкненої АСР в області перетину вісі частот не більше, ніж 20 db/dec. Нахилу асимптотичної ЛАЧХ у 20 db/dec відповідає АЧХ що має параметричне рівняння кола, дуга якого найбільш наближена на дійсного ходу АФЧХ в охресті вказаної точки частоти перетину уявної вісі.

Таким чином, методика відшукування умов робастності АСР з АФЧХ розімкненої частини $W_r(j\omega)$ щодо запасів сталості має наступний вигляд.

По-перше, знаходяться рішення наступного рівняння відносно частоти

$$\operatorname{Im}\{W_r(j\omega)\} = 0.$$

Рішення такого рівняння відносно частоти у випадку наявності у складі АСР об'єкту з запізненням мають деяку множину коренів, з яких обирається таке значення частоти перетину ω_k вісі у лівій на півплощині, що є найменшим.

По-перше, знаходяться рішення наступного рівняння відносно параметрів регулятора

$$\left(\frac{\partial}{\partial \omega} \operatorname{Re}\{W_r(\omega)\} \right)_{\omega=\omega_k} = 0.$$

Для пропорційного регулятора таке рівняння може мати один корінь, або взагалі не мати коренів. Але такий випадок не має практичного застосування. Для ПІ – регулятора таке рівняння дає залежність параметрів, що відповідає виконанню умов робастності. Таку залежність доцільно навести на площині параметрів пропорційної та інтегральної складових разом з межою гарантованої сталості для обрання раціонального сполучення параметрів. Якщо вказана залежність не знаходиться в межах області гарантованої сталості, рішення поставленого завдання не існує і потрібно обрати більш складний ПІД – регулятор. Але, в такому випадку, залежність параметрів, що відповідає виконанню умов робастності, становить поверхню, що ускладнює відшукування їх раціонального сполучення.

Слід вказати, що забезпечення робастних властивостей АСР ще не гарантує виконання вимог щодо якості перехідних процесів. Більш того, неважко встановити, що найкращими показниками робастності володіють перехідні процеси коливального характеру. Але таке явище не є перешкодою для забезпечення необхідних властивостей АСР.

Верифікація пропонованого підходу виконана на прикладі суднової АСР тиску пари у допоміжному котлі та отримала задовільні результати.

Висновки. Запропоновано та обґрунтовано підхід до удосконалення суднових систем автоматичного регулювання на основі нового класу регуляторів, що мають робастні властивості. Отримані умови функціонування автоматичних систем регулювання при застосуванні типових регуляторів та регуляторів, що володіють властивостями найменшої чутливості до зміни параметрів системи. Встановлено взаємозалежність параметрів регуляторів, що забезпечують властивості робастності. Обґрунтовані межі застосування пропонованих регуляторів. Запропонована методика дослідження чутливості систем автоматичного регулювання, що застосовують регулятори, синтезовані за пропонованим підходом. Застосування пропонованих робастних регуляторів може покращити експлуатаційні показники суднових автоматичних систем.

Перспективи подальших досліджень полягають в обґрунтуванні меж застосування робастних регуляторів в суднових системах автоматичного регулювання з урахуванням реальних умов експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. R.C. Dorf, R.H. Bishop., Modern Control Systems // Prentice Hall– 2004. – 832 с
2. Жукова Н.В. та ін. Сучасна теорія керування динамічних систем // Навч. посібник. . – Донецьк, . – ДонНТУ. 2013 – 292 с..
3. Дубовой В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування : навчальний посібник / В. М. Дубовой. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 308 с..
4. Попович М.Г. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник – К.: Либідь, 2005. - 680 с.
5. Пушкар, М.С. Проектування систем автоматизації [Текст]: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с.
6. Myrhorod, V. “Dynamic Systems, Similar to the Time Scale” in Books of Abstracts/ V. Myrhorod, I. Hvozdeva // Tenth International Conference on Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences 20-25 June 2018, Albena, Bulgaria, P.43-44.

УДК 004.942: 629.4.001.4

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ДЕМПФУВАННЯ КРУТИЛЬНИХ КОЛИВАНЬ У СУДНОВИХ КОМБІНОВАНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ

В.А. Щербінін, старший викладач

І.М. Гвоздева, д.т.н., професор

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: В роботі проведений аналіз підходів до вирішення проблеми демпфування крутильних коливань у суднових комбінованих енергетичних установках. Встановлено, що за рахунок використання електроприводів, які безпосередньо вбудовані у валопровід суднових енергетичних установок, існує змога діагностувати технічний стан демпфера, фіксувати максимальні крутильні моменти та адаптивно перерозподіляти навантаження між механічним та електричним демпфером.

Ключові слова: суднова комбінована енергетична установка, крутильні коливання, демпфер, резонанс, система управління.

ANALYSIS OF APPROACHES TO SOLVING THE PROBLEM OF DAMPING
TORSIONAL OSCILLATIONS IN SHIP COMBINED POWER PLANTS

V. Shcherbinin, Senior Lecturer

I. Hvozdeva, Dr. of Science, Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The paper analyzes approaches to solving the problem of damping torsional oscillations in ship combined power plants. It was established that due to the use of electric drives, which are directly built into the shaft of ship power plants, it is possible to diagnose the technical condition of the damper, fix the maximum torques and adaptively redistribute the load between the mechanical and electric damper.

Key words: ship combined power plant, torsional oscillations, damper, resonance, control system.

Високі вимоги до безвідмовної роботи сучасних суднових пропульсивних установок в умовах форсування диктують необхідність оцінки ризику виникнення резонансних крутильних коливань валопроводу, а також створення засобів для зменшення їх негативного впливу [8].

Валопровід суднової енергетичної установки є пружно - дисипаційною системою, що працює в умовах змінних навантажень, викликаних дією сил та обертальних моментів. В результаті дії цих навантажень у валопроводі виникає комплекс коливань, який складається з крутильних, аксіальних та згинальних коливань. Однією з вимог до експлуатації створюваних конструкцій різного призначення є здатність контролювати і управляти коливаннями, що виникають в процесі їх роботи.

Оскільки валопровід є пружною системою він має власні частоти які відповідають певним формам коливань. Найбільшу небезпеку для його роботи представляють резонансні коливання, що виникають при збігу частот навантажень з однією з власних частот. Амплітуди коливань і деформації тих ділянок валопроводу, в яких міститься вузол, різко зростають при частотах, близьких до резонансних, і можуть перевищити гранично допустимі значення. Такі коливання можуть привести не лише до поломок самого валопроводу, але і викликати сильну вібрацію корпусних конструкцій, особливо поблизу опор валопроводу. Безпосередньою причиною поломок є втома матеріалу в місцях (вузлах) виникнення найбільшої напруги. Найчастіше трапляються пошкодження упорних підшипників, колінчастих і грибних валів, що пов'язано з конструктивними особливостями даних ділянок валопроводу.

Проблеми екології і економії нафтового палива наводять розробників до необхідності створення і впровадження в транспортні засоби комбінованих енергетичних установок, в яких джерелом механічної енергії є, як двигун внутрішнього згорання, так і електродвигун спільно з електричними накопичувачами енергії при різних варіантах їх спільної роботи.

Число відмов, пов'язаних з вібрацією, в судновому машинобудуванні досягає високих показників. Враховуючи високу вартість сучасних валопроводів, додаткові витрати на відновлення їх протягом терміну служби транспортних за-

собів, зменшення динамічного навантаження в судновому валопроводі є важливою і актуальною проблемою сучасного суднобудування.

Мета пропонованого дослідження полягає у аналізі підходів до вирішення проблеми демпфування крутильних коливань у сучасних суднових комбінованих енергетичних установках.

На сьогодні в судноплаванні широко застосовуються пружино-масляні та силіконові демпфери та муфти для зменшення амплітуди крутильних коливань валопроводу. Перші призначені для гасіння резонансних коливань моторної форми при якій один із вузлів двохвузлової форми потрапляє на колінчатий вал двигуна. Таки гасники мають власну частоту коливань інертної маси. При неграмотному налаштуванні та зміні параметрів внаслідок втрати пружності пластин або протіканні чи зміні в'язкості масла власні резонансні коливання можуть бути шкідливими для самого демпфера або муфти.

Силіконові демпфери (муфти) більш надійні та мають більший ресурс роботи. Вони призначені для гасіння крутильних коливань у всьому діапазоні робочих частот двигуна завдяки перетворенню механічної кінетичної енергії коливань в теплову, однак при експлуатації таких гасників виникають проблеми із діагностуванням їх технічного стану.

При неправильному підборі параметрів демпфера великі амплітуди коливань інертної маси можуть привести до розриву прошарків силіконового шару, що теж веде до втрати демпферової здібності гасника. При великих амплітудах коливань інертної маси спостерігається перегрів силіконового демпфера (рис. 1). Контроль за температурою силіконових демпферів не дозволяє надійно діагностувати їх технічний стан. Тому єдиним способом визначення технічного стану таких демпферів, визнаним світовими класифікаційними суспільствами, є періодичне торсіографування. Ця проблема частково вирішується на сучасних суднах встановленням енкондерів на протилежних кінцях колінчастого валу [3]. Також одним із методів діагностики (визначення стану) силіконових демпферів, являються стрічки, які змінюють колір при аварійному стані демпферу (рис. 2), але усі ці заходи, не надають повного контролю стану демпфера.



Рисунок 1 – Руйнування гребного валу та гуми муфти, перегрів демпфера внаслідок розвитку крутильних коливань

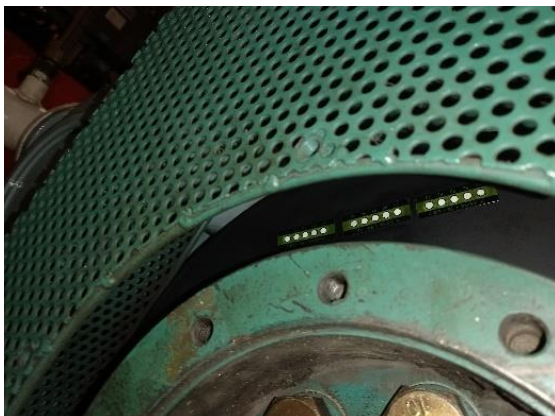


Рисунок 2 – Стрічки для визначення стану демпфера

На сьогоднішній день практично всіма класифікаційними суспільствами здійснюється контроль за розвитком крутильних коливань суднових валопроводів на судах, які знаходяться в експлуатації [4]. У зв'язку із розвитком систем управління режимами роботи суднових енергетичних установок (СЕУ) з'являються нові проблеми, пов'язані з виникненням параметричних резонансів [5], а при форсуванні дизельних установок значно відчутним стає виникнення зв'язаних аксіально-крутильних коливань, які становлять небезпеку для упорних підшипників [5]. Тому суднобудівна компанія MAN B&W практично на всіх малообертових двигунах встановлює демпфер аксіальних коливань [6] та демпфери крутильних коливань.

Варто відмітити екологічний аспект, пов'язаний з крутильними коливаннями. Міжнародними екологічними суспільствами значна увага приділяється зменшенню викидів шкідливих речовин таких, як NO_x . Зменшення викидів цієї речовини при будь-яких способах здійснюється за рахунок зменшення потужності двигуна, що, в свою чергу, веде до зменшення частоти обертання валопроводу. При наявності в робочому діапазоні резонансних частот можливе попадання в зону критичних обертів.

Забезпечення безвідмовної роботи об'єктів суднової енергетики неможливо без широкого використання на всіх етапах їх життєвого циклу технічних засобів діагностування та управління судновими технічними системами і комплексами. Аварійні ситуації на морському й річковому транспорті та інших комплексах можуть бути значно зменшені або зовсім виключені, якщо ефективно застосовувати автоматизовані системи в тих робочих процесах, де втручання людини-оператора небажано або зовсім неможливе.

Однією з вимог до експлуатації конструкцій різного призначення є здатність контролювати і управляти коливаннями, що виникають в процесі їх роботи. У теорії електроприводу існує два основні підходи до проблеми демп-

фування пружних механічних коливань та обмеження динамічних навантажень засобами електроприводу.

Перший підхід полягає в проектуванні системи управління таким чином, щоб привод не реагував на пружні коливання, що виникають в механічній частині. Прибічниками цього методу є, наприклад, автори роботи [7]. Для нечутливості системи управління до пружних коливань механічної частини пропонується налаштування регуляторів з високими коефіцієнтами згасання на частотах, близьких до частот коливань механічної частини. За цих умов система стає нечутливою до коливань механічної частини. Для систем управління швидкістю другої маси, які не потребують значної швидкодії, авторами [8] пропонується встановлювати фільтри на виходах тахогенераторів, розташованих на валу другої маси, що дозволяє запобігти впливу механічних коливань через зворотний зв'язок за швидкістю. Ці методи дозволяють значно обмежити динамічні навантаження, але вони не в змозі зменшити їх в максимально можливій мірі, оскільки при таких налаштуваннях повністю не використовується демпфуючий ефект електроприводу.

Згідно другому підходу, в електромеханічній системі необхідно розглядати взаємодію коливань механічної частини і двигуна, тобто двигун стає активним елементом в процесі збудження пружних коливань. Основні принципи такого підходу демпфування електроприводом пружних коливань викладені в роботі [9]. Згідно цьому підходу, демпфуючий ефект електроприводу виникає унаслідок електромеханічного зв'язка електричної і механічної підсистем. Енергія пружних механічних коливань за певних умов розсіюється в дисипативних елементах електроприводу або повертається в живлячу мережу. Таким чином, на механічну підсистему двигун подає дію, подібну до дії в'язкого тертя або електродинамічного гасника коливань.

В роботах [10, 11, 12] запропоновано другий підхід до обмеження динамічних навантажень засобами електроприводу. За рахунок використання електроприводів, які безпосередньо вбудовані у валопровід СЕУ існує змога діагностувати технічний стан демпфера, фіксувати максимальні (критичні) крутильні моменти (відхилення) та адаптивно перерозподіляти навантаження між механічним та електричним демпфером.

Висновки. На основі аналізу підходів до вирішення проблеми демпфування крутильних коливань у сучасних суднових комбінованих енергетичних установках можна зробити висновки, що поліпшення властивостей демпферів за рахунок вживання електричних машин дозволить продовжити міжремонтний (експлуатаційний) період експлуатації судна; підвищити термін експлуатації механічних демпферів; зменшити металоємність гребного валу і, тим самим, зменшити інерційні втрати; підвищити термін служби колінчастих валів двигу-

нів внутрішнього згорання; понизити вібрацію та повернути частину потужності (2%) у вигляді електричної потужності назад в мережу або у вигляді механічної потужності у вигляді крутного моменту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wilson, W. K., Practical Solution of Torsional Vibration Problems, 1, New York, New York: John Wiley & Sons Inc., 1956.
2. Den Hartog, J.P., Mechanical Vibrations, New York, New York: Dover Publications, Inc., 1985.
3. Homik Wojciech. Damping of torsional vibrations of ship engine crankshafts – general selection methods of viscous vibration damper/ Polish maritime research, No 3, 2011, P.43–47.
4. International standard ISO 3046-5: Reciprocating internal combustion engines-Performance- Part 5: Torsional vibrations, 2001. - 10 p.
5. Song X.G., Song T.X., Xue D.X. and Li B.Z. Progressive torsional-axial continued vibrations in crankshaft systems: a phenomenon of coupled vibration. *Trans. ASME, Rotat.Mach.Veh. Dyn.*, 1991, P. 319–323.
6. Hyundai-MAN B&W. Final drawing for main engine, 2010, A14-340318-0, P.1-10.
7. Видмиш А.А., Ярошенко Л.В. Основы электропривода. Теория та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с
8. Павленко Т. П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. / Т.П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 132 с.
9. Донець О. В. Теорія електропривода : конспект лекцій / В. І. Колотіло, О. В. Донець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 148 с.
10. Система передачі потужності суднового двигуна на гребний гвинт. Деклараційний патент України на корисну модель. МПК В63Н 21/00/ Щербінін, В.А.; заявник та володар патенту Щербінін, В.А. - № 85542; заявл. 07.05.2013. - опубл. 25.11.2013, бюл. № 22/2013.
11. Активний електромеханічний демпфер крутильних коливань. Заявка на винахід № а 2021 00820.
12. Система керування багатомашинною судновою енергетичною установкою з активним демпфером. Заявка на винахід № а 202003923.

Секція 10. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 628.32.2

ОГЛЯД МЕТОДІВ ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ВІД ОКСИДІВ СІРКИ

Удолатій В.Б., асистент
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Під час експлуатації суден у навколишнє середовище викидається велика кількість вихлопних газів. Проблема забруднення довкілля нині є надзвичайно актуальною. Проаналізовано новітні технології скорочення шкідливих викидів з суден, відповідно до Додатку VI Міжнародної конвенції МАРПОЛ 73/78. Розглянуто існуючі методи очищення відпрацьованих газів від оксидів сірки та заходи щодо зниження забруднення повітря від викидів суднових установок. Визначено пріоритетні напрямки у вирішенні даної проблеми.

Ключові слова: екологічні норми, відпрацьовані гази, шкідливі викиди, оксиди сірки.

REVIEW OF METHODS FOR REDUCING THE TOXICITY OF GAS EMISSIONS OF SHIP POWER PLANTS FROM SULFUR OXIDES

Udolatiy V.B., Assistant
National University «Odesa Maritime Academy»

Abstract: During the operation of ships, a large amount of exhaust gases is emitted into the environment. The problem of environmental pollution is extremely urgent nowadays. The latest technologies for reducing harmful emissions from ships in accordance with Annex VI of the International Convention MARPOL 73/78 are analyzed. Existing methods of exhaust gas purification from sulfur oxides and measures to reduce air pollution from ship emissions are considered. Priority directions in solving this problem are determined.

Keywords: environmental standards, exhaust gases, harmful emissions, sulfur oxides.

Експлуатація суднових двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) супроводжується спалюванням вуглеводневих палив і викидом в атмосферу великої кількості відпрацьованих газів (ВГ), основну масу яких становлять азот, кисень, двоокис вуглецю і водяна пара. Поряд із цими нешкідливими для довкілля компонентами ВГ в атмосферу викидаються також екологічно небезпечні компоненти - шкідливі викиди (рис. 1) [2].

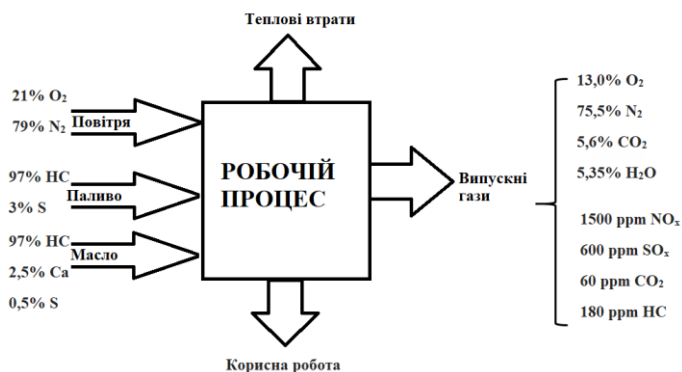


Рисунок 1 – Типовий склад відпрацьованих газів суднового дизеля

При цьому під шкідливими викидами (ШВ) розуміють оксиди азоту, сірки та вуглецю - NO_x , SO_x , CO_2 , що містяться у відпрацьованих газах у невеликій кількості (менше ніж 0,5%), а також вуглеводні C_xH_x та тверді частинки (зола, сажа). Частка NO_x і SO_x у відпрацьованих газах становить понад 80% від обсягу всіх шкідливих викидів, тому зниження емісії цих компонентів становить стрижень проблеми. Вміст оксидів сірки (SO_x) у ВГ зумовлений наявністю сірки в паливі. Під час окислення сірки в камері згоряння дизеля утворюються SO_2 і SO_3 , причому переважно SO_2 (співвідношення 15:1). Викиди оксидів сірки з відпрацьованих газів суднових енергетичних установок є серйозною екологічною проблемою (таблиця 1). У зв'язку з цим виникає необхідність оцінки екологічних збитків від токсичних викидів і вживання заходів щодо їх зниження.

Таблиця 1 – Викиди оксидів сірки з відхідними газами різними типами суден, т/день [3].

Тип судна	Частка типу суден у світовому флоті, %	SO_x , т/день
Автомобілевози	7,6	573
Балкери	9,6	832
Контейнеровози	48	8490
Універсальні	7,3	467
Пасажирські	7	1024
Рефрижератори	0,5	68
Судна типу Ro-Ro	0,3	150
Танкери	19,7	1613
Сумарно	100	13216

Метод боротьби за зниження надходження в атмосферу оксидів сірки від СЕУ повинен бути комплексним, що поєднує первинні і вторинні заходи.

До первинних заходів належать:

- очищення палива від небажаних домішок - поліпшення якості палива (збагачення вихідної сировини);
- удосконалення топкових процесів шляхом пригнічення утворення шкідливих речовин під час горіння (поліпшення конструкцій топків, технологічні методи і режимні заходи).

Технології уловлювання шкідливих домішок належать до вторинних заходів, що включають способи, призначені для грубого і тонкого очищення димових газів (мокрі методи, сухі методи, абсорбери для очищення продуктів згоряння від оксидів сірки, циклонно-пінні апарати). Очищення димових газів від оксидів сірки здійснюється з використанням способів, призначених для виборчого очищення від конкретного компонента, або технології, що використовує методи спільного очищення газів від оксидів сірки та оксидів азоту.

Знизити токсичність викидів оксидів сірки від СЕУ можна за допомогою таких заходів:

- попереднє очищення палива від сполук сірки;

- паливopідготовка і регулювання режимних параметрів (зміна конструктивних параметрів);
- заміна виду палива або форми експлуатації СЕУ при вході в прибережну зону. Паливо змінюють на більш легке і таке, що містить меншу кількість токсичних сполук;
- очищення вихлопних газів перед викидом в атмосферу;
- зменшення викидів оксидів сірки, можливо, шляхом використання скрубера;
- одним із простих і найбільш розповсюджених способів видалення оксидів сірки з відпрацьованих газів є метод скрубрування з використанням морської води;
- найпоширеніший метод - мокрий процес, коли відпрацьовані гази, наприклад, барботують через розчин вапняку, в результаті чого утворюються сульфід або сульфат кальцію.

Вимоги Міжнародної морської організації (ІМО) передбачають зниження обсягу парникових газів у судноплаванні не менше ніж на 50% до 2050 року. При цьому головною метою стає досягнення, за можливості, нульових викидів, над чим наполегливо працюють вчені.

За даними консалтингової організації в галузі судноплавання і морських технологій Великої Британії UMAS, досягти поставлених цілей можна за рахунок повного переходу на поновлювані джерела енергії або біопаливо. Єдиного рішення, придатного для всіх типів суден, не існує. Кожне судно потребує індивідуального опрацювання. Однак UMAS розглядає кілька способів зниження викидів, які можна впровадити вже зараз, отримавши позитивний результат (рис. 2).



Рисунок 2 – Способи зниження шкідливих викидів в атмосферу із суден

З діаграми видно, що найкращий результат можна досягти за рахунок:

- оптимізації обводів корпусу - до 13%,
- оптимізації вантажного простору - до 24%,
- використання енергії вітру - до 30%,
- зниження швидкості ходу - до 34%.

За даними незалежного дослідницького центру CE Delft, викиди парникового газу з трьох типів суден (контейнеровози, балкери і танкери) можуть скоротитися на третину за рахунок зниження швидкості їхнього ходу.

При зниженні швидкості суден на 30% обсяг викидів у період з 2018 по 2030 рр. скоротиться на 2,5 гігатонни.

У травні 2019 року понад 100 компаній, задіяних у морському бізнесі, надіслали письмовий запит до Міжнародної морської організації про обмеження швидкості суден, оскільки "це найпростіший спосіб скоротити обсяг викидів".

Висновки.

Викиди оксиду сірки та оксиду азоту від СЕУ є достатньо великими і становлять від 18 до 30%. [3]. Зниження викидів оксиду сірки (SO_x) є найбільш важливим моментом, оскільки вміст сірки в паливі має достатньо високе значення. Проектувальники та судновласники застосовують такі шляхи зниження викидів SO_x :

- проектування и будівництво суден з використанням поновлювальних джерел енергії або біопалива;
- використання суднового палива з низьким вмістом сірки або дистилляту в наявному обладнанні;
- встановлення нового обладнання, переобладнання наявного обладнання, призначеного для роботи на альтернативному паливі;
- встановлення системи очищення відпрацьованих газів;
- використання нових технологічних методів і режимних заходів.

У результаті використання розглянутих технологій, можна домогтися істотного зниження шкідливих викидів від судових енергетичних установок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sulphur 2020 – cutting sulphur oxide emissions [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/sulphur-2020.aspx> (дата звертання: 13.09.2022).
2. Осипов О.В., Воробьев Б.Н. Судовые дизельные двигатели: Учебное пособие. - СПб.: Издательство «Лань», 2018. - 356 с.
3. Fournier A. Controlling Air Emission from Marine Vessels: Problems and Opportunities – University of California Santa Barbara, 2018. – 85 p.
4. Удолатій В.Б. Напрями вдосконалення системи очищення відпрацьованих газів на судах // Science, research, development № 29 TECHNICS AND TECHNOLOGY. – Гданьск\Gdańsk – 2020. – С. 66-69.

УДК 629.56

ВИКОРИСТАННЯ ПРИМУСОВОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПОДВІЙНОЇ ДІЇ В АЗИМУТАЛЬНІЙ ГВИНТО-РУЛЬОВІЙ КОЛОНЦІ НА НИЗЬКИХ ШВИДКОСТЯХ

В. В. Будашко, д.т.н., професор
В. В. Нікольський, д.т.н., професор
С. Г. Хнюнін, к.т.н., доцент
А. К. Сандлер, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:** Розглянуто існуючі методи протидії ефекту Коанда під час роботи азимутальної гвинто-рульової колонки. Проаналізовано недоліки цих методів для використання у складі малих суден, що комплектуються одним-двома рушійми. Регулювання моменту виникнення цього ефекту пропонується змінювати шляхом змішування водного та повітряного середовища для чого пропонується використання спільно із системою моніторингу вентилязованого гвинта.*

***Ключові слова:** вентиляований гребний гвинт, азимутальна гвинто-рульова колонка.*

USING OF FORCED DOUBLE ACTION VENTILATION FOR AZIMUTHAL RUDDER COLUMN AT LOW SPEED

Vitalii Budashko, Dr. of Science, Professor
Vitalii Nykolskyi, Dr. of Science, Professor
Sergii Khniunin, Ph.D., Associate Professor
Albert Sandler, Ph.D., Associate Professor
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:** The existing methods of counteracting the Coanda effect during the operation of the azimuth rudder propeller are considered. The shortcomings of these methods for use as part of small vessels, which are equipped with one or two propellers, are analyzed. It is proposed to change the adjustment of the moment of occurrence of this effect by mixing water and air media, for which it is proposed to use a ventilated propeller in conjunction with a monitoring system.*

***Keywords:** vented propeller, azimuthal rudder column.*

У даний час розвиток технологій дуже впливає на розробку та експлуатацію безпілотних апаратів. Застосування таких апаратів обумовлено низкою переваг. Зменшується частка коштів на утримання у зв'язку з відсутністю екіпажу – не потрібно утримувати фахівців, які мають проходити навчання та періодичне перенавчання, а також виключаються всі аварії, що відбуваються з вини людського фактору. Однак відсутність екіпажу негативно позначається на неможливості проведення аварійних робіт за місцем відразу після їх виникнення та більш ретельнішому плануванні періодичного технічного обслуговування всього обладнання.

Завдання збільшення термінів періоду технічного обслуговування є актуальним і дозволить не лише знизити кількість коштів, що спрямовуються на цей вид робіт, але й збільшити час безперервної роботи безпілотного апарату під час виконання поточного завдання.

У разі використання безпілотних плавальних апаратів у режимі фіксації на одній позиції або повільного руху (судна-кабелеукладачі, пускові платформи,

мінні постановники, автоматичні станції стеження за оперативною обстановкою в заданому квадраті та інші судна) велике значення має тимчасовий діапазон між поверненням дрону на базу. Або якщо об'єкт використовується стаціонарно, час між приїздами технічної обслуговуючої групи.

У якості рушійної установки в такому типі суден найчастіше використовуються азимутальні гвинто-рульові колонки (АГРК) при використанні яких у режимі утримання позиції є ймовірність виникнення ефекту, коли під дном створюється розрядження, яке відхиляє потік рідини, що рухається. Це відхилення веде за собою підвищення зношування підшипників і ущільнень, розташованих на валу з гребним гвинтом.

На даний час всі існуючі системи протидії ґрунтуються на механічному впливі для зміни кута нахилу потоку рідини. До них відносяться насадки на гвинт та введення кута (фіксованого або регульованого) нахилу балеру АГРК. Оцінити ефективність існуючих конструкцій можна було лише у лабораторних умовах. Проведені дослідження [1] дозволили розробити та одержати патенти [2, 3] на кілька конструкцій системи моніторингу, що дозволяють у режимі реального часу відстежувати момент виникнення ефекту Коанда.

Застосування розробленої системи ефективне лише у випадку, якщо в АГРК застосовано конструкцію з регульованим кутом нахилу, а такі АГРК мало поширені. Якщо корзина АГРК має фіксований нахил або застосовуються насадки на гвинт, то застосування системи малоефективне, оскільки регулювання можна проводити тільки зміною швидкості потоку – зменшуючи до тих значень, коли ефект Коанда ще не проявляється або збільшуючи швидкість, що веде до зриву прилипання потоку до днища судна. І таке незаплановане збільшення (або зменшення) швидкості однієї АГРК має бути компенсовано іншими рушійними, що входять до системи динамічного позиціонування. Це стосується лише великих об'єктів – напівзанурювальних бурових платформ, суден-кабелеукладачів і дослідницьких суднах. Якщо ж ми говоримо про безпілотні плавальні судна, то кількість рушіїв рідка буває понад два.

Виходячи зі сказаного, вище видно, що існуючі на даний момент способи для класу малих суднах малоефективні і потрібні нові рішення поставленого завдання. В авто- і авіабудуванні цей ефект давно відомий і його застосування використовується не тільки в експериментальних зразках, але і моделях, що серійно випускаються.

Була висловлена наукова гіпотеза, що оскільки цей ефект виникає і у водному і повітряному середовищах, то змішанням цих середовищ ми можемо регулювати момент виникнення відхилення потоку на різних швидкостях робочого середовища [4]. Для організації подачі повітря до диску гребного гвинта пропонується система з використанням вентильованого гребного гвинта.

Розрізняють частково занурені гребні гвинти, в яких повітря потрапляє до гвинта шляхом довільного підсмоктування та вентильовані гребні гвинти – в які повітря подається примусово у область диску гребного гвинта. Спільним для цих типів гвинтів є робота у водогазовій суміші.

На даний момент ці типи гвинтів застосовуються для проектування та експлуатації високошвидкісних суден, де зменшення опору виступаючих частин валопроводу на глісуючих суднах досягає 25 %, а на спортивних – до 50 %. Також перевагами такого застосування є підвищення ККД та зменшення небезпеки кавітації та ерозивних ушкоджень гвинта. Максимальна їхня ефективність проявляється при застосуванні в швидкохідному (спортивному) типі суден при швидкостях 45 – 80 км/год [5], але в інших типах суден вони широкого застосування не знайшли.

З іншого боку, вентиляція гребного гвинта істотно впливає на експлуатаційні характеристики гвинта. Проведені дослідження таких безканальних підрулюючих пристроїв [6] показали, що в деяких випадках робота гвинта у водогазовій суміші (навіть коли гвинт занурений у воду) може призвести до втрати тяги.

Повітряна подушка створюється шляхом подачі повітря через повітропроводи на розподільний пристрій, встановлений на маточині гребного гвинта [7]. Фірмою АВВ у системі охолодження як робоче тіло використовується повітряна суміш (рис. 1).

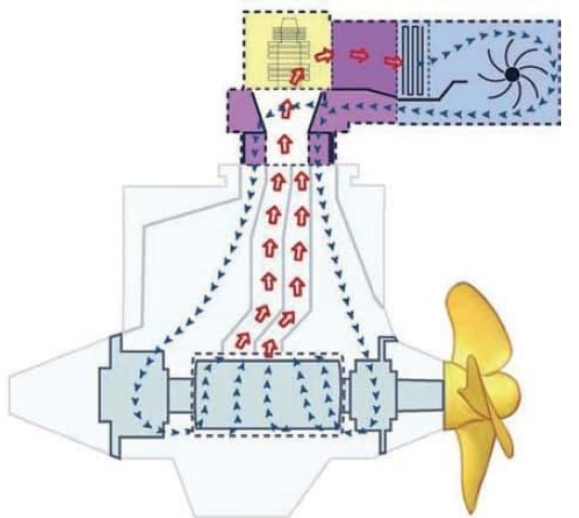


Рисунок 1 – Конструкція блоку повітряного охолодження електродвигуна Azipod

До складу блоку повітряного охолодження входить два вентилятори і два або чотири теплообмінники. Можливе часткове або повне резервування повітряного блоку охолодження. Трубопроводи охолодження оснащені фільтрами. Використання двигунів вентилятора з регульованими приводами дозволяє контролювати потужність охолодження залежно від режиму роботи блоку Azipod та теплових втрат [8]. Ця вже існуюча конструкція дозволить без капітальних змін використовувати наявну повітряну суміш для підведення повітря до лопатей гребного гвинта в потрібний момент.

Висновки. Розглянуто існуючі методи протидії ефекту Коанда під час роботи азимутальної гвинто-рульової колонки. Проаналізовано недоліки цих методів для використання у складі малих суден, що комплектуються одним-двома рушіями. Регулювання моменту виникнення цього ефекту пропонується змінювати шляхом змішування водного та повітряного середовища для чого пропонується використання спільно із системою моніторингу вентильованого гвинта.

Дослідження проводяться в рамках науко-дослідних робіт кафедр Навчально-наукового інституту Національного університету «Одеська морська академія» [9-25].

ЛІТЕРАТУРА

1. Vitaliy Budashko, Vitaliy Nikolskyi, Oleg Onishchenko, Sergii Khniunin Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – 3/8 (81). – P. 10 – 21.
2. Пат. 100819 Україна, МПК G01L 9/08, 5/12, 1/16. Суднова система моніторингу для попередження ефекту Коанда / В.В. Будашко, В.В. Нікольський, С.Г. Хнюнін. – № u201501854; заявл. 02.03.2015; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15.
3. Пат. 107006 Україна, МПК G01L 9/08, 5/12, 1/16. Суднова система моніторингу для попередження ефекту Коанда / В.В. Будашко, В.В. Нікольський, С.Г. Хнюнін. – № u201512962; заявл. 28.12.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9.
4. Хнюнін С.Г. Підвищення ефективності роботи азимутальної гвинторульової колонки на низьких швидкостях // "Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт": міжнародна науково-технічна конференція 24.03.2022 – 25.03.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2022. – С. 56 – 60. <http://www.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2022/06/Tezysy-2022-1.pdf> (дата звернення 15.11.2022).
5. Жинкин, В. Б. Теория и устройство корабля : учебник для вузов / В. Б. Жинкин. – 5-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2022. – 379 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-11349-5. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/494164> (дата звернення 13.11.2022).
6. Carlton J.S. Marine propellers and propulsion, 2 edn, 2007. Elsevier, Oxford, 2007. – 516 p. URL: https://www.academia.edu/40316816/Marine_Propellers_and_Propulsion_Second_Edition_JS_Carlton_2007 (дата звернення 13.11.2022).
7. Sharatov A. S., Gorbenko A. N. Improvement of mooring tests of main engine running to fixed pitch propeller. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*, 2021. – № 2. – С. 32 – 42. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-2-32-42.
8. Системи Azipod® VI і ICE. Огляд. : веб-сайт. URL: https://new.abb.com/docs/librariesprovider55/default-document-library/%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B-azipod-vi-%D0%B8-ice_final.pdf?sfvrsn=a383a116_2 (дата звернення 13.11.2022).
9. Nikolskyi, V. Development of a Computer System of Technical Condition for the Electric Podedd Azimuth Thrusters [Text] / V. Nikolskyi, V. Budashko, S. Khniunin, M. Nikolskyi // *Information technologies and computer modelling: proceedings of the International Scientific Conference May 14-19, 2018 Ivano-Frankivsk, Ukraine: Suprun V. P.* – P. 157-160. ISBN 978-617-7468-26-3. Режим доступу: \WWW/ URL: <http://itcm.comp-sc.if.ua/2018/zbirnyk.pdf>.
10. Nikolskyi, V. Parametrization and identification of energy flows in the ship propulsion complex [Text] / V. Nikolskyi, V. Budashko, S. Khniunin, M. Nikolskyi // *2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Slavske, 20-24 Feb. 2018, Ukraine: IEEE. – P. 288-294. Doi: [10.1109/TCSET.2018.8336205](https://doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336205). Режим доступу: \WWW/ URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8336205>.
11. Budashko, V. Synthesis of the Management Strategy of the Ship Power Plant for the Combined Propulsion Complex [Text] / V. Budashko, V. Shevchenko // *2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)*, Kyiv, 16-18 Oct. 2018, Ukraine: IEEE.

- P. 106-108. Doi: [10.1109/MSNMC.2018.8576266](https://doi.org/10.1109/MSNMC.2018.8576266). Режим доступу: \WWW/ URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8576266>. – 5.1.2019 р. – Загол. з екрану. **Scopus**.
12. Будашко, В.В. Підвищення ефективності гібридних суднових комбінованих пропульсивних комплексів за різними критеріями стратегій енергоменеджменту [Текст] / В. В. Будашко // Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика // Матеріали науково-методичної конференції, 05.12.2018 – 06.12.2018. – Одеса: НУ ОМА, 2019. – С. 10-27. Режим доступу: \WWW/ URL: http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/electro_conf_50_60ka_228str.pdf
13. Budashko, V. Multicriteria strategy of power managing system for ships power plants for combined propulsion complexes [Text] / Budashko V. // IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE). – 2019. – V. 14, I. 5. – P. 14-28. e-ISSN: 2278-1676, p-ISSN: 2320-3331. Doi: [10.9790/1676-1405011428](https://doi.org/10.9790/1676-1405011428).
14. Hvozdeva, I. Problems of Improving the Diagnostic Systems of Marine Diesel Generator Sets [Text] / I. Hvozdeva, V. Myrhorod, V. Budashko, V. Shevchenko // 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavske, 25-29 Feb. 2020, Ukraine: IEEE. – P. 350-354. Doi: [10.1109/TCSET49122.2020.235453](https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235453).
15. Budashko, V. Improvement of the operation for electromechanical system under non-permanent loading [Text] / V. Budashko, I. Hvozdeva, O. Onishchenko, V. Shevchenko, R. Kudelkin // 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavske, 25-29 Feb. 2020, Ukraine: IEEE. – P. 35-39. Doi: [10.1109/TCSET49122.2020.235588](https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235588).
16. Budashko, V. [Thrusters physical model formalization with regard to situational and identification factors of motion modes](#) [Text] / V. Budashko // [International journal of energy and environment](#). – 2020. – V. 14. – P. 5-8, ISSN: 2308-1007. Doi: [10.46300/91012.2020.14.2](https://doi.org/10.46300/91012.2020.14.2).
17. Budashko, V. Thrusters physical model formalization with regard to situational and identification factors of motion modes [Text] / V. Budashko // 2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE), Istanbul, 12-13 June 2020, Turkey: IEEE. Pp. 1-6. Doi: [10.1109/ICECCE49384.2020.9179301](https://doi.org/10.1109/ICECCE49384.2020.9179301).
18. Myrhorod, V. Multi-parameter Diagnostic Model of the Technical Conditions Changes of Ship Diesel Generator Sets [Text] / V. Myrhorod, I. Hvozdeva, V. Budashko // 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP), Kremenchuk, 21-25 Sept. 2020, Ukraine: IEEE. Pp. 1-5. Doi: [10.1109/PAEP49887.2020.9240905](https://doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240905).
19. Budashko, V. V. Ship's power plants of combined propulsion complexes: concepts, technologies, researching: Monograph / Budashko V. V.. – Odessa: NU "OMA", 2020. – 136 p. ISBN 978-617-7857-01-2.
20. Будашко, В. В. Високовольтні технології в морській електроінженерії: монографія [Текст] / В. В. Будашко, О. М. Піпченко, В. В. Пономаренко, В. А. Шевченко // Одеса: НУ «ОМА», 2020. – 398 с. ISBN 978-617-7857-02-9.
21. Budashko, V. Power plant, propulsion complex and control system of autonomous dual-purpose underwater vehicle [Text] / V.V. Budashko // 15th International Naval Engineering Conference and Exhibition (INEC/iSCSS 2020), 5-9 October 2020, Virtual online conference. Pp. 1-9. Aviable at: <https://events.rdmobile.com/Lists/Details/1071014>.
22. Budashko, V. The synthesis of control system to synchronize ship generator assemblies [Text] / V. Budashko, V. Shevchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – V. 1. – № 2(109). – P. 45-63. ISSN 1729-3774. Doi: [10.15587/1729-4061.2021.225517](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225517).
23. Budashko, V. Solving a task of coordinated control over a ship automated electric power system under a changing load [Text] / V. Budashko, V. Shevchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – V. 2. – № 2(110). – P. 54-70. ISSN 1729-3774. Doi: [10.15587/1729-4061.2021.229033](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229033).
24. Budashko, V. Optimization of the control system for an electric power system operating on a constant power hyperbole [Text] / V. Budashko, A. Sandler, V. Shevchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. – V. 1. – № 8(115). – P. 6-17. ISSN 1729-3774. Doi: [10.15587/1729-4061.2022.252172](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252172).
25. Budashko, V. Diagnosis of the Technical Condition of High-tech Complexes by Probabilistic Methods [Text] / V. Budashko, A. Sandler, V. Shevchenko // International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav). – 2022. – V. 16. – № 1. – P. 105-111. ISSN 2083-6473, ISSN 2083-6481 (electronic version). Doi: [10.12716/1001.16.01.11](https://doi.org/10.12716/1001.16.01.11).

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ СУДНОВИХ УТИЛІЗАЦІЙНИХ КОТЛІВ

А.К.Сандлер, к.т.н доцент
Г.О.Кузнецова, д.ф.-м.н, професор
О.В. Глазева, к.т.н доцент

Національний університет "Одеська морська академія"

Анотація. Для побудови системи ефективного використання вуглеводневих палив у суднових енергетичних установках та утилізаційних парових котлах необхідно забезпечити не тільки відповідний рівень екологічної безпеки, але й суттєво зменшити витрати на ремонтно-відновлювальні роботи з усунення наслідків забруднення. Існуючі засоби протидії забруднення робочих поверхонь утилізаційних парових котлів та технічними характеристиками не повною мірою відповідають згаданім задачам. Запропоновано нове схемотехнічне рішення автоматизованої системи запобігання забруднення утилізаційного парового котла. У розробленій системі застосовані новітні композиційні матеріали та волоконно-оптичні датчики. Застосування системи, що пропонується, дозволить у цілому сприяти суттєвому збільшенню кількісних показників екологічної безпеки суднових енергетичних установок, що працюють на вуглеводневому паливі.

Ключові слова: утилізаційний котел, забруднення, датчики

AUTOMATED POLLUTION PREVENTION SYSTEM SHIP EXHAUST GAS BOILERS

A.K. Sandler, Ph.D., Associate Professor
H.O. Kuznetsova, Dr. of Science, Professor
O.V. Glazeva, Ph.D., Associate Professor
National University "Odesa Maritime Academy"

Abstract. In order to build a system of efficient use of hydrocarbon fuels in ship power plants and exhaust gas steam boilers, it is necessary to ensure not only the appropriate level of environmental safety, but also to significantly reduce the costs of repair and restoration work to eliminate the effects of pollution. The existing means of countering pollution of the working surfaces of exhaust gas steam boilers and their technical characteristics do not fully meet the mentioned tasks. A new circuit-technical solution of the automated system for preventing contamination of the exhaust gas steam boiler is proposed. The developed system uses the latest composite materials and fiber-optic sensors. The application of the proposed system will, in general, contribute to a significant increase in the quantitative indicators of environmental safety of marine power plants operating on hydrocarbon fuel.

Key words: exhaust gas boiler, pollution, sensors

В умовах дефіциту паливно-енергетичних ресурсів проблема їх раціонального використання постає перед усіма судноплавними компаніями миру. Один зі шляхів її розв'язку в морегосподарському комплексі полягає в підвищенні економічності суднових енергетичних установок (СЕУ). Підвищення ефективності використання палива в дизельних і газотурбінних двигунах досягається: підвищенням коефіцієнта корисної дії окремих елементів енергетичної установки, шляхом удосконалювання їх конструкції; підвищенням початкових параметрів термодинамічного циклу за рахунок використання більш жароміцних матеріалів і оптимальних систем охолодження; оптимізацією теплових схем дизельних і газотурбінних пропульсивних установок за допомогою

раціонального використання теплоти відпрацьованих газів двигунів і охолоджувальної води в утилізаційних установках; грамотною технічною експлуатацією й обслуговуванням СЕУ.

Оптимальне використання вторинних енергоресурсів (ВЕР) у тепло-утилізаційних контурах, у сукупності з ефективними системами автоматичного управління, є істотним резервом підвищення техніко-економічних показників перспективних суднових енергетичних комплексів.

Завдання автоматизації управління утилізаційних котлів (УК) визначаються в основному призначенням і конструктивними особливостями утилізаційної установки, особливостями експлуатації й вимогами до точності підтримки регульованих параметрів. Утилізаційні котлові установки працюють в умовах, що відрізняються від розрахункових, що пояснюється зміною режиму роботи головного двигуна, неможливістю точної оцінки навантаження УК при проектуванні або під впливом забруднення поверхонь нагрівання [1-3].

На теперішній час широкого поширення набрали такі технічні рішення боротьби із забрудненням поверхонь УК.

Відома система захисту утилізаційного парового котла від забруднення, що складається з вхідного газового патрубка, регульованої газової засувки, вхідної камери, дренажного патрубка, вмонтованого у днище вхідної камери та відбійного конусу [4].

Застосування лише одного елемента, що протидіє потраплянню забруднення до поверхонь УК обумовлює ряд суттєвих недоліків, а саме:

- наявність тільки пасивного елемента захисту - відбійного конусу, що запобігає потраплянню залишків паливо-мастильних матеріалів, що неповністю згоріли, до поверхонь, що виробляють пару;
- наявність дистанційного ручного приводу керування газовою засувкою;
- використання для керування газовою засувкою параметру "оберти двигуна внутрішнього згорання";
- складність очищення котлу та вхідної камери від забруднень.

Більш досконалою є система захисту утилізаційного парового котла від забруднення, що складається з вхідного газового патрубка, регульованої газової засувки, вхідної камери, дренажного патрубка, вмонтованого у днище вхідної камери та набору відбійних поверхонь [5].

Але й перехід від одного до набору відбійних поверхонь не дозволяє позбавитися від таких недоліків системи як:

- наявність тільки пасивного елемента захисту – статичних відбійних поверхонь, що запобігає потраплянню залишків паливо-мастильних матеріалів, що неповністю згоріли, до поверхонь, що виробляють пару;
- використання для керування газовою засувкою параметру "оберти двигуна внутрішнього згорання";
- складність очищення котлу та поверхонь від забруднень.

Таким чином, можна вважати сформованим запит практики на створення система захисту утилізаційного парового котла від забруднення, у якій підви-

щена ефективність захисту поверхонь, що виробляють пару, від залишків паливно-мастильних матеріалів, що неповністю згоріли, застосовуються більш інформативні параметри газового середовища для керування газовою засувкою, спрощено видалення залишків паливно-мастильних матеріалів, що неповністю згоріли та одночасно збережені ефективні схемотехнічні рішення систем відомих типів.

Запропоновано вирішити поставлену задачу впровадженням автоматизованої системи захисту утилізаційного парового котла від забруднення яка відрізняється від існуючих зразків тим, що вхідна камера являє собою циліндричну ємність з конічним днищем, до бічної поверхні якої тангенціально під'єднано вхідний газовий патрубок, що містить газову засувку. Управління газової засувки здійснюється автоматично за сигналами від датчиків тиску і температури відпрацьованих газів. Замкнена порожнина між стінками камери має обігрів паром, а у внутрішній порожнині містяться вторинний газовий патрубок, який сполучається з вхідною камерою через віброзахисні елементи, а з рухомою крилаткою через підшипники.

Суть системи пояснюється кресленням (рис. 1), де зображено вхідний газовий патрубок 1, у якому містяться регульована газова засувка 2 та датчики тиску 10 та температури 11 відпрацьованих газів.

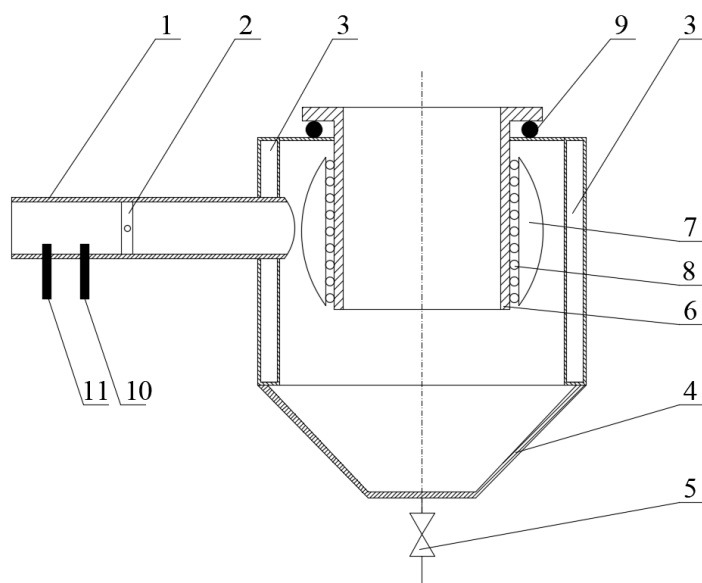


Рисунок 1 – Автоматизована система запобігання забруднення утилізаційного парового котла: 1 – вхідний газовий патрубок; 2 – регульована газова засувка; 3 – циліндрична ємність вхідної камери; 4 – конічне днище вхідної камери; 5 – дренажний клапан; 6 – вторинний газовий патрубок; 7 – рухома крилатка; 8 – підшипники; 9 – віброзахисні елементи; 10 – датчик тиску відпрацьованих газів; 11 – датчик температури відпрацьованих газів.

Вхідний газовий патрубок тангенціально приєднано до циліндричної ємності вхідної камери 3, яка має конічне днище 4. У днищі розташований дренажний клапан 5. У внутрішній порожнині циліндричної ємності вхідної камери міститься вторинний газовий патрубок 6. Патрубок сполучається з кришкою циліндричної ємності вхідної камери через віброзахисні елементи 9. На www.femire.onma.edu.ua

зовнішньому боці вторинного патрубка міститься рухома крилатка 7, що сполучається з патрубком через підшипники з синтетичних матеріалів.

При потраплянні відпрацьованих газів під тиском до вхідної камери вони приводять до руху рухомих крилаток. Завдяки відцентровим силам залишків паливно-мастильних матеріалів, що неповністю згоріли, відкидаються до внутрішніх стінок циліндричної ємності вхідної камери, а очищені відпрацьовані гази потрапляють до котла. У внутрішню порожнину циліндричної ємності вхідної камери подається пара, яка підтримує залишки паливно-мастильних матеріалів у рідкому стані. Завдяки чому вони легко потрапляють до конічного днища вхідної камери та видаляються за межі колової установки.

Застосування двох параметрів відпрацьованих газів для керування газовою засувкою дозволяє більш оперативно виконувати зміну руху потоку газів та підвищити захищеність котлової установки.

Що стосується технічних особливостей системи. З оглядом на результати дослідження [6, 7] датчик тиску та датчик температури відпрацьованих газів доцільно застосовувати створеними за волоконно-оптичними технологіями на основі штучного сапфіру з захисними покриттями з наноматеріалів [8].

Що стосується підшипників та віброзахисних елементів, які працюють в умовах високих температур та ерозійного впливу продуктів згорання.

Удосконалювання термонапружених елементів УК неможливо без підвищення вимог до рівня експлуатаційних навантажень і діапазону робочих температур елементів, виготовлених з новітніх матеріалів. Для підвищення вагової ефективності УК необхідні матеріали з низькою щільністю, здатні до експлуатації при температурах порядку 400 °С, що зберігають високу працездатність під впливом твердих експлуатаційних факторів (ерозійні потоки твердих часток, механічні удари різного ступеня інтенсивності тощо).

Серед відомих матеріалів найбільший інтерес представляє Аримид Т, як найбільш термостійкий синтетичний матеріал. Діапазон його працездатності – 27 ... +450°С, у якому він у повному осязі зберігає еластичність та характеристики міцності. Для поліімідних матеріалів характерно практично повне відновлення пружних деформацій при підвищених температурах [9-12].

Сукупність властивостей поліімідного композиційного матеріалу дозволила рекомендувати його для виготовлення деталей ковзання підшипників і віброзахисних елементів пропонованого схемотехнічного рішення [13].

Автоматизована система запобігання забрудненню утилізаційного парового котла може застосовуватися у декілька режимів.

У статичному режимі (режим калібровки), визначається датчиками температури та тиску вплив параметрів навколишнього середовища, який в подальшому враховується як відповідна поправка.

У першому динамічному режимі (двигун внутрішнього згорання або газова турбіна, сполучені з УК у режимі пуску та неповного навантаження) завдяки сигналам з датчиків тиску та температури, газова засувка перекриває доступ відпрацьованих газів до котлу і байпасує їх.

У другому динамічному режимі (енергетична установка у режимі повного навантаження) завдяки сигналам з датчиків тиску та температури, газова засувка перекриває байпасний газопровід та спрямовує відпрацьовані гази до вхідної камери. При потраплянні відпрацьованих газів під тиском до вхідної камери вони приводять до руху рухому крилатку. Завдяки відцентровим силам залишків паливно-мастильних матеріалів, що неповністю згоріли, відкидаються до внутрішніх стінок циліндричної ємності вхідної камери, а очищені відпрацьовані гази потрапляють до котла. У внутрішню порожнину циліндричної ємності вхідної камери подається пара, яка підтримує залишки паливно-мастильних матеріалів у рідкому стані. Завдяки чому вони легко потрапляють до конічного днища вхідної камери та видаляються за межі колової установки.

У другому динамічному режимі (енергетична установка у режимі короткочасного перебільшення номінального навантаження) завдяки сигналам з датчиків тиску та температури та з метою запобігання пошкодження котлової установки, газова засувка перекриває доступ відпрацьованих газів до котлу і байпасує їх.

Таким чином, можна вважати, що комбінація форм вхідної камери у вигляді аеродинамічного циклонного фільтру, новітніх матеріалів та датчиків може забезпечити:

- підвищений ступінь очищення відпрацьованих газів від залишків паливо-мастильних матеріалів, що неповністю згоріли;
- здійснення процесу керування режимом експлуатації утилізаційного кола у автоматичному режимі за двома параметрами;
- збільшення періоду між регламентними очистками поверхонь котлу, що виробляють пару;
- зменшення експлуатаційних витрат.

Застосування системи, що пропонується, дозволить у цілому сприяти суттєвому збільшенню кількісних показників екологічної безпеки суднових енергетичних установок, що працюють на вуглеводневому паливі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Беляев, И. Г. Эксплуатация судовых утилизационных установок. – М.: Транспорт, 1987. – 175 с.
2. Милтон, Д. Х., Лич, Р. М. Судовые паровые котлы. Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1985. – 295 с.
3. Корнилов, Э. В., Бойко, П. В., Афанашенко, В. Н. Вспомогательные и утилизационные котлы морских судов. – Одесса, Феникс. – 172 с.
4. Енин, В. И., Денисенко, Н. И., Костылев, И. И. Судовые котельные установки: Учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1993. – 216 с.
5. Патент РФ RU №2394184. МПК F22B1/18. Утилизационный паровой котел Сень/ Л. И. Сень; Владелец патента Сень Л. И.; – опубл. 01.2006.
6. Сандлер, А. К. Метод підвищення ефективності діагностування технічного стану суднових газотурбінних установок на основі волоконно-оптичних технологій: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20. – К., 2021. – 159 с.
7. Сандлер, А. К. Чувствительный элемент волоконно-оптического акселерометра на основе сапфирового стекла / А. К. Сандлер // IX Міжнародна науково-методична конференція "Суднова

електроінженерія, електроніка і автоматика". Матеріали конференції. – 2019. – С. 27-33.

8. Патент РФ RU 2543694. МПК G02B1/10. Защитное покрытие для гигроскопичных оптических материалов на основе лазерно-осаждаемых углеродных нанотрубок для целей оптоэлектроники и медицинской техники / Н. В. Каманина, П. Я. Васильев, П. В. Кужаков; Владелец патента Открытое акционерное общество "Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова". – 2013118962/28; – заявл. 23.04.2013; – опубл. 10.03.2015.

9. Гуняева, А. Г., Курносов, А. О., Гуляев, И. Н. Высокотемпературные полимерные композиционные материалы, разработанные во ФГУП "ВИАМ", для авиационно-космической техники: прошлое, настоящее, будущее (обзор) // Труды ВИАМ. – 2021. – № 1 (95). – С. 43-53.

10. Maréchal, E., Wilks, E. S. Generic source-based nomenclature for polymers (IUPAC Recommendations 2001) (англ.) // Pure and Applied Chemistry: journal. – 2001. – Vol. 73, no. 9. – P. 1511-1519.

11. Крамарев, Д. В. Композиционные материалы на основе термопластичного полиимида и полиарамидной ткани: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.06. – М., 2018. – 139 с.

12. Крутько, Э. Т., Прокопчук, Н. Р. Перспективные пути создания новых термостойких материалов на основе полиимидов // Труды БГТУ. Химия и технология органических веществ, материалов и изделий. – 2013. – № 4. – С. 145-149.

13. Сандлер, А. К., Логишев, И. В., Сандлер, А. А. Инвариантный волоконный акселерометр // Энергетика судна: эксплуатация та ремонт: матеріали науково-технічної конференції. – Одеса: ОНМА. – 2011. – С. 277-279.

УДК 681.518.5:681.586.5

ВОЛОКОННА ОПТИКА В ЗАДАЧАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИКОВАНИЯ СУДОВЫХ КОМПРЕССОРНЫХ МАШИН

Д.П. Данчук, здобувач вищої освіти бакалаврського рівня
Г.Д. Долломанжи, здобувач вищої освіти бакалаврського рівня
А.К. Сандлер, к.т.н, доцент
Національний університет "Одеська морська академія"

Анотація. Організація об'єктивного контролю елементів судових компресорних машин виключно на базі використання традиційних засобів вимірювань має досягла своєї верхньої межі. Це обумовлено відсутністю можливості моніторингу вібраційних процесів в масштабі реального часу у всьому частотному діапазоні без втрати достовірності результатів вимірювання, а також прогнозування з наступним плануванням. Аналіз ситуації дозволив сформулювати коло вимог до розподіленого волоконно-оптичного мультидіапазонного датчика вібрації. Датчик представляється як компресорна конструкція, у якій використані відомі елементи, присутня термोकорекція при порушенні геометрії й властивостей чутливих елементів і одночасно зберігається високий рівень чутливості аналогічних традиційних датчиків.

Ключові слова: компресор, вібрація, волоконно-оптичний датчик

FIBER OPTICS IN TECHNICAL PROBLEMS DIAGNOSTIC OF SHIP COMPRESSOR MACHINES

D. P. Danchuk, bachelor's degree holder of higher education
H. D. Dolomanzhi, bachelor's degree holder of higher education
A. K. Sandler, Ph.D., Associate Professor
National University "Odesa Maritime Academy"

Abstract. The organization of objective control of elements of ship compressor machines exclusively on the basis of the use of traditional means of measurement has reached its upper limits. This is due to the

lack of the ability to monitor vibration processes on a real-time scale in the entire frequency range without losing the reliability of the measurement results, as well as forecasting with subsequent planning. The analysis of the situation made it possible to form a circle of requirements for a distributed fiber-optic multi-range vibration sensor. The sensor was presented as a compromise design, in which known elements are used, thermal correction is present in case of violation of the geometry and properties of sensitive elements, and at the same time the high level of sensitivity of similar traditional sensors is preserved.

Key words: compressor, vibration, fiber optic sensor

Сучасні тенденції розвитку суднового компресоробудування свідчать про масове застосування систем контролю технічного стану в процесі експлуатації. Це є найбільш ефективним способом забезпечення безвідмовності роботи суднових компресорних машин (СКМ) й підвищення надійності на експлуатаційному рівні.

Як показують статистичні дані, у світовій структурі виробництва 80 ... 80% загальної потреби припадає на поршневі компресори. У СКМ такого типу внаслідок зворотно-поступального руху поршня, виникає нестационарність динамічних впливів, що характеризується більш складним, на відміну від роторних машин, характером віброакустичного стану. Це приводить до виникнення додаткових вторинних джерел механічних коливань в елементах СКМ. Однієї з характерних відмінностей вібродіагностування СКМ поршневого типу є те, що коливання, що обумовлені несправностями, накладаються на загальний вібраційний стан від неврівноваженості мас.

Сукупний вплив різних джерел вібрації приводить до складного коливального руху станини машини з фундаментом. Слід зазначити, що амплітуда вібрації від дії неврівноважених моментів сил інерції збільшується з ростом висоти розташування датчика над рівнем основи фундаменту. Тому підприємствами-виробниками їх рекомендується відстежувати у вікнах станини. Напроти, для оцінки сил інерції, з метою рятування від шкідливого впливу моментів, вимірювання необхідно здійснювати як найближче до основи фундаменту в його середній точці.

Поряд з проблемою рознесення точок контролю, в умовах контактного руху деталей, спостерігаються модульовані високочастотні коливання з циклічним характером навантаження вузла. Частота цих коливань визначається швидкістю обертання коленвала, значеннями зазорів у всіх сполученнях механізму, триботехнічним режимом, тощо. Високочастотні коливання генеруються внаслідок того, що взаємний рух деталей відбувається не плавно, а "ривками" – через вплив зазорів у підшипниках.

Незважаючи на те, що амплітудне значення коливань напруг високочастотного циклу менше, чим низькочастотного, число їх знакозмінних циклів від впливу зазорів набагато більше. Це може створити умови для зародження усталісних тріщин у навантажених елементах СКМ і, як наслідок, до зменшення ресурсу або повної деструкції [3].

Основне ускладнення у застосуванні високочастотної віброакустичної діагностики дефектів, що тільки починають зароджуватися у елементах СКМ, полягає у тому, що на початковій стадії деструкції, складові вібраційних процесів, що містять інформацію про виникнення ушкодження, мають енергетичну складову занадто зашумлену та малої інтенсивності. Існуючі технічні засоби преве-

нтивної діагностики недостатньою мірою відповідають задачам моніторингу високочастотних вібрацій вузлів суднових СКМ.

Аналіз тенденцій розвитку діагностичних систем вказує на те, що подальше удосконалення процесів діагностування технічного стану СКМ доцільно реалізовувати на основі впровадження технічних рішень, які добре зарекомендували себе в атомній енергетиці, а саме переходу до застосування високоточної вимірювальної техніки, створеної на основі волоконно-оптичних технологій [4-6].

На підставі аналітичного огляду наукової літератури, запропоновано схемотехнічне рішення, які можуть бути використані у суднових системах технічного моніторингу СКМ. А саме:

акселерометри, принцип дії яких заснований на модуляції величини фази світлового випромінювання під дією контрольованої величини, можуть забезпечити вимірювання з максимальною точністю;

для запобігання проблем вимірювання, обумовлених неідентичністю датчиків доцільно застосовувати розподілені волоконно-оптичні датчики, які у межах однієї мережі можуть бути використані для вимірювання вібрації у всіх необхідних діапазонах одночасно [9].

Конструкція таких датчиків надана у [6-8]. До пропонованої системи залучені волоконно-оптичні датчики, орієнтовані на контроль як високочастотної, так і низькочастотної вібрації, а також додаткова коригувальна котушка з оптичного волокна, що сформована на циліндрі зі сплаву $Fe - Ni$.

безпосередньо запропонована схема системи обробки сигналу та корегування розподіленого волоконно-оптичного датчику вібрації (рис. 1).

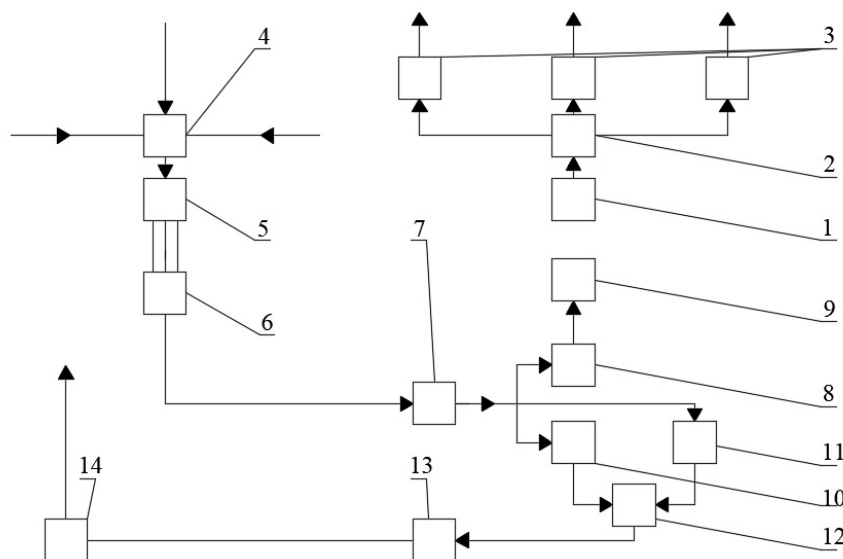


Рисунок 1 – Схема система обробки сигналу та корегування розподіленого волоконно-оптичного датчику вібрації: 1 – блок джерела оптичного випромінювання; 2 – оптичний розгалужувач; 3 – вихідні оптичні фільтри; 4 – оптичний розгалужувач; 5 – оптичні входні фільтри; 6 – фотоприймальний блок; 7 – підсилювач; 8 – фільтр високих частот; 9 – реєстратор; 10, 11 – фільтр низьких частот; 12 – суматор; 13 – блок зворотного зв'язку; 14 – джерело струму

При активації діагностичної системи світло від блоку джерела оптичного випромінювання 1, крізь оптичний розгалужувач 2 та вихідні оптичні фільтри 3 розподіляється за довжинами хвиль й надходить до усіх датчиків.

Після перетворення у датчиках під впливом коливальних процесів у елементах компресорної машини, випромінювання крізь оптичний розгалужувач 4 вхідні оптичні фільтри 5 надходить до фотоприймального блоку 6.

Випромінювання від кожного датчика надходить зі своєю довжиною хвилі. Отриманий електричний сигнал підсилюється у підсилювачі 7 та надходить до фільтрів. У фільтрі високих частот 8 виділяється частка сигналу що відповідає вібраційній компоненті і фіксується реєстратором 9. Одночасно сигнал надходить до фільтру низьких частот 10, де отримується сигнал пропорційний вібраціям, що мають ударну природу. У фільтрі низьких частот 20 отримується сигнал пропорційний температурному впливу. У суматорі 11 обидва низькочастотні сигнали складаються на надходять до блоку зворотного зв'язку 12 й джерела струму 14. Струм від джерела струму надходить до циліндру зі сплаву $Fe - Ni$. При проходженні струму змінюються лінійні розміри циліндру та розташованої на ньому коригувальної котушки. Таким чином відбувається корегування інформаційного сигналу з врахуванням та компенсацією впливу експлуатаційних та кліматичних факторів [10, 11].

Перед початком роботи системи налаштовують початкову різницю фаз інтерферуючих променів за допомогою джерела струму що дорівнює 90° . Необхідна зміна зсуву фаз відбувається через те, що при подачі струму на циліндр зі сплаву $Fe - Ni$, останній змінює свої лінійні розміри й оптичні параметри коригувальної оптичної котушки. Заміна біметалевого циліндру на циліндр зі сплаву обумовлена майже лінійною залежністю зміни лінійних розмірів останнього від величини електроструму, що проходить крізь циліндр. Це призводить до додаткового натягу волокна в предметної волоконної котушці і зміни оптичного шляху для одного з інтерферуючих променів. Біметалевий циліндр, з причини невеликого градієнту температурної флуктуації, використовується в парі з волоконною котушкою для фіксації температурного впливу.

Після попереднього налаштування системи, пульсації температурного поля (низькочастотного характеру) та пульсації акустичної природи (високочастотного характеру) виділяються за допомогою фільтрів високих і низьких частот.

Блок зворотного зв'язку відпрацьовує відповідний керуючий сигнал за рівнем пульсацій низькочастотного характеру, що подається на суматор, та керуючий вхід джерела струму, який, в свою чергу, направляє на циліндр зі сплаву $Fe - Ni$ струм. При цьому відбувається додатковий натяг або ослаблення волокна предметної волоконної котушки до тих пір, поки робоча точка на робочій кривій інтерферометра поки вернулася на своє колишнє місце.

Таким чином, в розробленій системі обробки сигналу та корегування розподіленого волоконно-оптичного датчику вібрації комбінація оптичних елементів забезпечує:

більш адекватне перетворення параметрів вібраційних низько- та високочастотних сигналів у зміни інформаційного сигналу;

врахування й компенсацію впливу дестабілізуючих неконтрольованих факторів на вимірювальний канал розподіленого датчику;

Використання пристрою, що пропонується, дозволить адекватно і достовірно оцінювати кількісні показники виброакустичних сигналів елементів СКМ у повному частотному діапазоні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Давыдов, В. М., Жуков, Р. В. Особенности технической диагностики поршневых компрессорных машин // Материалы Российской научно-технической конференции "Неразрушающий контроль и диагностика". – С-Пб. – 2002. – С. 149 - 153.
2. Пластинин, П. И. Поршневые компрессоры. – М.: Колос, 2000. – 456 с.
3. Гриб, В. В., Сафонов, Б. П., Жуков, Р. В. Динамика механизма движения поршневого компрессора с учетом зазоров в подвижных соединениях // Вестник машиностроения. – 2002. – №4. – С. 3-7.
4. Будашко, В. В., Сандлер, А. К., Шевченко, В. А. Імовірнісний підхід вирішення задач діагностування технічного стану високотехнологічних суднових установок// XI міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 23.11.2021 - 24.11.2021 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ "ОМА". – 2021. – С. 211-226. DOI: 10.31653/2706-7874.SEEEE-2021.11.1-238.
5. Веретенник, О. М., Сандлер, А. К. Технічне діагностування об'єктів суднових енергетичних установок: довідник. – Одеса: Фенікс, 2019. – 167 с.
6. Сандлер, А. К. Інформаційно-вимірювальні пристрої на основі волоконно-оптичних технологій: навчальний посібник. – Одеса: Видатінформ НУ "ОМА", 2018. – 165 с.
7. Сандлер, А. К. Метод підвищення ефективності діагностування технічного стану суднових газотурбінних установок на основі волоконно-оптичних технологій: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20. – К., 2021. – 159 с.
8. Сандлер, А. К. Чувствительный элемент волоконно-оптического акселерометра на основе сапфирового стекла / А. К. Сандлер // IX Міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика". Матеріали конференції. – 2019. – С. 27-33.
9. Кульчин, Ю. Н. Распределенные волоконно-оптические измерительные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 272 с.
10. Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М. Волоконно-оптический инвариантный гидрофон // Наукові праці: Науково-методичний журнал. – 2016. – Вип. 271. – Т. 283. Комп'ютерні технології. – Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили. – С. 16-20.
11. Сандлер, А. К., Логишев, И. В., Сандлер, А. А. Инвариантный волоконный акселерометр // Энергетика судна: експлуатація та ремонт: матеріали науково-технічної конференції. – Одеса: ОНМА. – 2011. – С. 277-279.

ЗАСІБ ПРОТИДІЇ ПЕРЕВАНТАЖЕННЮ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

А.К. Сандлер, к.т.н доцент

О.В. Дрозд, доцент

Анотація. У статті наведені, розглянуті та проаналізовані конструкції приводних барабанів стрічкових конвеєрів. Обґрунтована конструкція приводного барабана стрічкового конвеєра більш раціональної конструкції циліндричної форми з додатковими конструкційними елементами.

Ключові слова: приводний барабан, стрічковий конвеєр, стрічка, зношування, торці барабана.

MEANS OF PREVENTION OVERLOAD OF BELT CONVEYOR ELECTRIC DRIVE

A.K. Sandler, Ph.D., Associate Professor

O.V. Drozd, Associate Professor

Abstract. The article presents, considers and analyzes the constructions of drive drums of belt conveyors. Reasonable design of the drive drum of the belt conveyor of a more rational design of a cylindrical shape with additional structural elements.

Key words: drive drum, belt conveyor, belt, wear, drum ends.

Постановка задачі

Багаторічний досвід експлуатації стрічкових конвеєрів підтверджує головні достоїнства конвеєрного транспорту - високий рівень продуктивності, можливість транспортування вантажу на великі відстані і низькі виробничі витрати.

Вони є одним з основних засобів безперервного дільничного і магістрального транспорту в морських портах та логістичних центрах з обробки сипучих вантажів. Застосування стрічкових конвеєрів постійно зростає в зв'язку з ростом вантажопотоків і відстаней транспортування, що обумовило необхідність створення високопродуктивних стрічкових транспортерів більшої довжини і потужності.

Досить високі капітальні витрати на придбання конвеєрів компенсуються низькими експлуатаційними витратами. Собівартість одиниці вантажу, що перевозиться стрічковими транспортерами нижче, ніж у інших транспортних засобів, що застосовуються для перевезень вантажу на ту ж відстань [1, 2].

Аналіз наявних досліджень та актуальність

Стрічкові конвеєри, для забезпечення безперервного технологічного логістичного циклу, повинні бути довговічними, надійними, економічними при застосуванні протягом всього життєвого циклу. Забезпечення цих вимог на етапах проектування та експлуатації суттєво ускладнюються такими негативними факторами як: зсув центрального положення стрічки на приводному барабані відносно осі конвеєра під час роботи, нерівномірне зношування стрічки у попе-

речному перерізі, обумовлене різними діаметрами барабанів по їх довжині. Як наслідок виникає перевантаження електропривіду конвеєра.

Відомі технічні рішення подолання проблеми які полягають у застосуванні бочковидних барабанів, центрувальних роликів, датчиків навантаження стрічки, прикінцеві конусні ділянки барабанів лінійної та нелінійної залежності збільшення діаметрів, циліндричні та конусні центральні частини барабанів та інші [3].

Але, як показує досвід технічної експлуатації, повністю позбавитися явища нестійкого центрування стрічок по всіх барабанах конвеєрів та їх зношування у місцях зміни діаметрів по довжині барабанів не можливо. Тому, проблема стабілізації геометрії руху стрічки у процесі роботи стрічкового конвеєра та експлуатації електроприводу конвеєра на специфікаційних режимах є актуальною науково-технічною задачею.

Мета досліджень полягає у обґрунтуванні нового схмотехнічного рішення комплексу "барабан – стрічка – електропривід" для запобігання перевантаженню електропривіда в наслідок зсувів стрічки з барабану.

Задачі дослідження

визначити фактори, які впливають на порушення геометрії руху стрічки відносно барабану;

обґрунтувати та запропонувати нове схмотехнічне рішення приводу до руху стрічки конвеєра для забезпечення протидії перевантаженню електропривіда в наслідок зсувів стрічки з барабану.

Основний зміст роботи

Як слідує із аналізу роботи конструкцій приводних барабанів стрічкових конвеєрів, основними важливими недоліками автори розглядали наступні, а саме:

- підвищення натягу у вузькій центральній частині стрічки та її зношування;
- утворення продольного перегину стрічки у центральному місці та місцях з'єднання горизонтальних та нахилених ділянок;
- випуклість та циліндричність форми поверхні барабана яка є такою, що не має надійного зчеплення стрічки з поверхнею барабана;
- недостатність у повному обсязі центрування стрічки під час роботи конвеєра із барабаном ввігнутої форми;
- неефективність центрування стрічки у зв'язку із проковзуванням стрічки та пульсації навантаження, що виникає передчасне зношування стрічки;
- складність виготовлення торцевих поверхонь із кривизною (конусністю) різного порядку [3].

З оглядом на приведені недоліки існуючих конструкцій приводних барабанів, розроблено конструкцію приводного барабана стрічкового конвеєра (рис. 1) [5]. Прикінцеві ділянки мають гвинтоподібні нарізки (у осьовому перерізі барабана – хвильової форми), які розходяться на кінцеві торці барабана, (рис 1,

вид А, вид В). Вал барабана муфтою з'єднаний із редуктором та проміжною муфтою із електродвигуном.

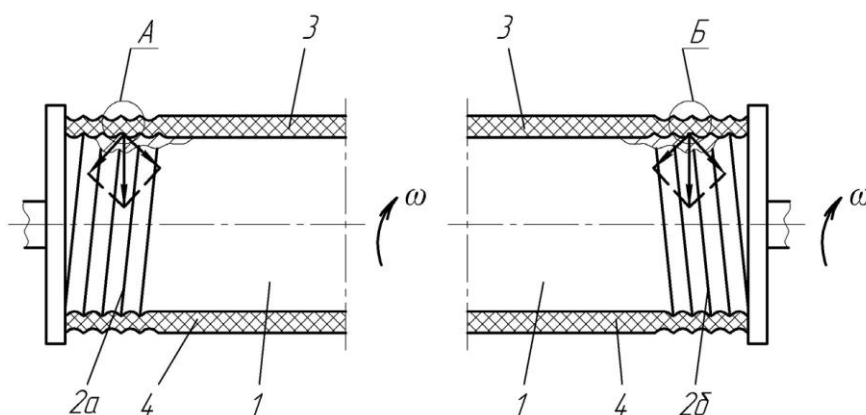


Рисунок 1 – Розрізи привідного барабана: 1 – середня частина; 2а, 2б – нарізні частини; 3, – набігаючі та збігаючі гілки стрічки; 4 – збігаюча гілка стрічки; 5 – підшипники; 6 – вал барабана

При обертанні барабана поверхневий шар внутрішньої сторони стрічки спочатку стикається із барабаном та у подальшому обкочується по нарізній частині та за один оберт переміщує продольну лінію розміщення точки дотику на величину одного кроку нарізки (лівої частини) або (правої частини).

Виготовлення привідного барабана здійснюється виточуванням горизонтальної ділянки та нарізанням гвинтових нарізок із округленими вершинами витків.

Поряд з явними гідностями запропонованого рішення, на нашу думку, залишилися невирішеними питання, пов'язані з принциповими і технічними недоліками, які суттєво обмежують можливості барабану з проточками. Причиною цього можуть бути об'єктивні труднощі, пов'язані зі підвищеним зношуванням стрічки у зоні контакту з нарізними частинами барабану та значні витрати, пов'язані з монтажними-ремонтними заходами та виключенням конвеєру з експлуатації на тривалий час.

У ситуації що склалася може бути доцільним застосування досвіду та рішень, які добре виправдовували себе при експлуатації стрічкових конструкцій в надважких умовах – а саме рушіїв бронетанкової техніки [6].

Для імплементації цих рішень до конструкції стрічкового конвеєра пропонується додати до неї такі елементи. На одному валу з барабанами розташувати зубчати зірочки, вкриті захисними кожухами. До самої стрічки прикріпити смуги зі втулками на кінцях. Зірочки зі втулками утворять аналог цевочного зачеплення (рис. 2).

Ведуча зірочка входить своїми зубами в проміжки між втулками стрічкових смуг та фіксує їх від подовжнього ссузу уздовж барабану. З зовнішнього боку зону руху втулок слід також слід захистити кожухом. Такий рушій дозволить жорстко запобігнути порушенню руху вантажної стрічки. Застосування

відносно жорстких смуг з втулками, що розташовані з певним кроком уздовж стрічки, збереже її від вигину у поперечному напрямку.

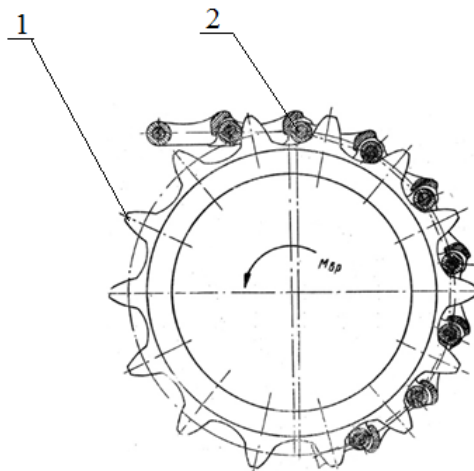


Рисунок 2 – Комплекс "зірочка-втулка": 1 – ведуча зірочка; 2 – втулка на стрічковій смузі

У гусеничних рушіях критичним параметром, що впливає на работоспроможність рушія, є відстань між центрами втулок. При її збільшенні виникає порушення контакту втулки та зубців зірочки та заклинювання або розрив рушія. Для конвеєра порушення відстані між центрами втулок може свідчити про зношування безпосередньо самої вантажної стрічки. Контроль цього процесу доцільно здійснювати за віброакустичними характеристиками сполучення "зірочка-втулка" у нійьбькочастотному діапазоні. Оскільки експлуатація вантажних конвеєрів у морських та річних портах сполучена з впливом великої кількості дестабілізуючих факторів доцільним є застосування волоконно-оптичних датчиків вібрації [7].

Висновки

Запропоновані та обґрунтовані конструктивні рішення приводних барабанів стрічкових конвеєрів які забезпечують:

жорстке центрування стрічки на барабані із додатковими зірочками;

запобігання перевантаженню електропривода у наслідок порушення умов зчеплення контактуючих поверхонь стрічки і барабана.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сандлер, А. К., Дрозд, О. В. Роликовий вузол стрічкового транспортера // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2018. – Т. 10. – №. 4. – Одеса: ОНАХТ. – С. 73-76. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1237>
2. Дрозд, О. В., Сандлер, А. К. Проблеми технічної експлуатації суднових стрічкових транспортерів // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2019. – Т. 11. – №. 1. – Одеса: ОНАХТ. – С. 24-26. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i1.1324>.
3. Колісник, М. П., Березюк, А. М., Шевченко, А. Ф., Засць, Г. В, Червоноштан, А. Л. Обґрунтування конструктивних рішень приводних барабанів із боковими гвинтовими нарізними поверхнями стрічкових конвеєрів // Hebezeuge und Fördermittel. – 2021. – №2 (66). – С. 62-70.

4. Суглобов, В. В. Обоснование конструктивных параметров барабанов ленточных конвейеров, обеспечивающих центрированное движение ленты / Суглобов В. В., Семенюк В. Ф., Гринько П. А. // Підйомно-транспортна техніка. – 2015. – №3. – С. 36-45.

5. Патент України № 147299. МПК B65G 15/00. Привідний барабан стрічкового конвеєра / Заявники та володілі патенту: Колісник М.П., Березюк А.М., Шевченко А.Ф., Заяц Г.В., Червоноштан А.Л. (Україна). – u202007123. – Заявл. 06.11.2020; опубл. 28.04.2021, Бюл. №17. – 5 с.

6. Зайчиков, Ю. Н. Трансмиссия и ходовая часть танка Т-72. – К.: ИНФРА-М, 2021. – 124 с.

7. Сандлер, А. К., Логишев, И. В., Сандлер, А. А. Инвариантный волоконный акселерометр // Энергетика судна: експлуатація та ремонт: матеріали науково-технічної конференції. – Одеса: ОНМА. – 2011. – С. 277-279.

УДК 629.735.33/621.763

ЗАСТОСУВАННЯ НОВІТНІХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОМБІНОВАНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК З ВІТРОРУШІЄМ

М.О. Опришко, старший викладач

О.Ю. Карпілов, старший викладач

А.К. Сандлер, к.т.н., доцент

В.М. Філін, к.т.н., доцент

Національний університет "Одеська морська академія"

Директор компанії "Belra Impex Inc."

Анотація. Одним зі шляхів підвищення ефективності вітрорушійного комплексу (ВРК) є широке застосування полімерних конструкційних матеріалів, що забезпечує не тільки вагову, але й економічну доцільність і ефективність протягом усього життєвого циклу експлуатації суден з вітрорушієм. Оскільки ВРК являє сукупність вітрил, рангоуту та систем управління, його загальна ефективність виробу залежить від якості всіх його складових, і у першу чергу, найбільш напружених. Впровадження ефективних конструкцій із новітніх матеріалів визначається обґрунтованим вибором конструктивно-технологічних рішень, конструктивно-силової схеми комплексу, оптимального вибору технологічних процесів виробництва, конструкційних матеріалів тощо.

Ключові слова: вітрорушійний, електроенергетичний, економічність

APPLICATION OF THE NEWEST MATERIALS FOR CREATION ELEMENTS OF COMBINED ELECTRICAL ENERGY POWER PLANTS WITH SAILING COMPLEX

M. O. Opryshko, Senior Lecturer

O. Yu. Karpilov, Senior Lecturer

A. K. Sandler, Ph.D., Associate Professor

V.M.Filin, Ph.D., Associate Professor

National University "Odessa Maritime Academy"

Company Director "Belra Impex Inc."

Abstract. One of the ways to increase the efficiency of the wind sailing complex is the wide use of polymer structural materials, which ensures not only weight, but also economic expediency and efficiency during the entire life cycle of the operation of wind turbine vessels. Since the sailing complex is a combination of sails, mast and control systems, its overall product efficiency depends on the quality of all its components, and first of all, the most stressed ones. The implementation of effective constructions from the latest

materials is determined by a well-founded choice of structural and technological solutions, structural and strength scheme of the complex, optimal choice of technological processes of production, structural materials, etc.

Key words: *internal propulsion, electric power, economy*

Використання поновлюваної енергії вітру на морських судах шляхом застосування вітрорушійних комплексів (ВРК) демонструє стійку тенденцію до зростання. Цьому активно сприяють такі економічні фактори як:

- подальшого росту цін на вуглеводневе паливо;
- погіршення екологічної ситуації й жорсткі економічні санкції за забруднення атмосфери продуктами згоряння нафтопродуктів;
- збільшення економічності суден, що застосовують кобіновану енергетичну установку "електродвигун – вітрорушій" без шкоди для своїх функцій; прикладом таких судів можуть бути судна забезпечення морських промислів у районах з активним вітровим режимом, дослідницькі судна, туристські судна;
- активне впровадження результатів дослідницьких робіт щодо створення ВРК підвищеної ефективності з мінімальною потребою в їхньому обслуговуванні екіпажем судна, підвищенням ступенем автоматизації та безпеки [1-5].

Одним зі шляхів підвищення ефективності ВРК є широке застосування полімерних конструкційних матеріалів (ПКМ), що забезпечує не тільки вагову, але й економічну доцільність і ефективність протягом усього життєвого циклу експлуатації суден з вітрорушієм. Оскільки ВРК являє сукупність вітрил, рангоуту та систем управління, його загальна ефективність виробу залежить від якості всіх його складових, і у першу чергу, найбільш напружених. Впровадження ефективних конструкцій із ПКМ визначається обґрунтованим вибором конструктивно-технологічних рішень, конструктивно-силової схеми комплексу, оптимального вибору технологічних процесів виробництва, конструкційних матеріалів тощо.

Аналіз світового досвіду показує стрімке зростання застосування ПКМ у елементах ВРК і збільшення кількості складних технологічних процесів виробництва й переробки композитів у готові вироби. Значні переваги адитивних технологій і безавтоклавних методів формування, пов'язані з високим коефіцієнтом використання матеріалу, зниженням собівартості виробів і високим ступенем повторюваності при забезпеченні якості, гарантують їх широке впровадження у проектах ВРК.

Так, сьогодні прогнозується, що сучасні тенденції розвитку науки і техніки призведуть до створення принципово нових і серед них – "інтелектуальних" матеріалів з функціями самодіагностики і адаптації до спектру діючих навантажень і умов зовнішнього середовища при експлуатації. Вони будуть здатні адекватно здійснювати оцінку рівня і небезпеки напруженого стану і ступеня пошкодження, і на основі цієї інформації здійснювати превентивну діагностику, визначати залишковий ресурс і направлено корегувати свої параметри в складних або екстремальних ситуаціях з метою збереження працездат-

ності ВРК і зведення до мінімуму негативних наслідків зовнішнього впливу [1, 6].

Серед відомих новітніх матеріалів уявляється найбільш перспективними ароматичні полііміди – клас синтетичних, термостійких полімерів, що містить у полімерних ланцюгах циклічні імідні групи, що утворюються при поліконденсації ангідридів ароматичних тетракарбонових кислот з ароматичними діамінами. Полііміди мають набір унікальних властивостей: високу термічну, криогенну, радіаційну стійкість, вогнестійкість, відмінні показники міцності у великому діапазоні температур. Це обумовлює їхнє широке застосування у високотехнологічних областях, таких як аерокосмічний комплекс, атомна енергетика, транспортне машинобудування, електроніка, електротехніка тощо.

Одними з технологічних прийомів, спрямованих на зміну властивостей цього матеріалу, є його металізація й армування.

Оскільки плівки ПМ і ПЕТФ в області створення елементів ВРК можуть бути альтернативними матеріалами, то становить інтерес порівняння для цих плівок параметри деформаційно-міцнісних властивостей, які ставляться до головних характеристик якості плівок, а також з'ясувати який вплив на їхню міцність виявляє металізація (табл. 1).

Таблиця 1 – Параметри механічної міцності металізованих і неметалізованих плівок ПМ і ПЕТФ

Вид плівки	Товщина, мкм	Число вимірів	Лінійна деформація ε	Межа міцності при розтяганні G , МПа	Модуль пружності $E \cdot 10^3$, МПа
ПМ-1ЭУ	12	7	$0,20 \pm 0,03$	90 ± 9	$1,3 \pm 0,1$
ПМ-1ЭДА	12	15	$0,46 \pm 0,14$	170 ± 30	$1,9 \pm 0,2$
ПМ-1ЭУ	21	9	$0,44 \pm 0,16$	170 ± 30	$1,6 \pm 0,2$
ПМ-1ЭДА	21	11	$0,48 \pm 0,18$	170 ± 30	$1,8 \pm 0,1$
ПЕТФ	20	10	$1,1 \pm 0,2$	410 ± 70	$2,7 \pm 0,3$
ПЕТФ- ДО-ОА	20	7	$1,2 \pm 0,2$	350 ± 40	$2,6 \pm 0,2$

Аналіз даних табл. 1 показує, що для плівок ПМ малої товщини (12 мкм) металізація практично у два рази підсилює характеристики міцності, тоді як для зразків з більшою товщиною (21 мкм) механічна міцність неметалізованих і металізованих плівок ПМ однакова й визначається, очевидно, тільки властивостями самого полімеру. Очевидно також, що з ростом товщини неметалізованих плівок ПМ їх характеристики міцності поліпшуються, тоді як для металізованих плівок – залишаються незмінними.

Для неметалізованих і металізованих плівок ПЕТФ товщиною 20 мкм (як і для плівок ПМ товщиною 21 мкм) також спостерігається рівність параметрів ε , G і E . Очевидно також, що плівки ПЕТФ (неметалізовані й металізовані) є більш міцними, чому ПМ плівки – параметри ε , G і E плівок ПЕТФ в 1,5 ... 2 рази перевищують ті ж параметри плівок ПМ при однаковій товщині [7].

Іншим параметром, що визначає працездатність елементом ВРК у плині всього життєвого циклу, є термостійкість використовуваних полімерних матеріалів. Це обумовлене тим, що довгостроковий вплив підвищеної температури викликає руйнування полімерів як у результаті дії власне температури, так і внаслідок більш швидкого протікання хімічних реакцій при підвищених температурах під дією води, кисню та хлоридів морського повітря. У полімерів, у порівнянні з низькомолекулярними речовинами, значення коефіцієнтів теплового розширення на один - два порядки більше, ніж у металів. Ця особливість полімерів призводить, найчастіше, до небажаних явищ: в композиційних матеріалах типу „полімерна матриця-наповнювач ": виникають залишкові напруження, що обумовлюють виникнення значних термопружних зусиль, які викликають руйнування композитного матеріалу. Тому зниження коефіцієнта температурного лінійного поширення армованих поліімідним волокном Арамідом-Т органопластиків на 32% можна вважати позитивним ефектом, який зменшить вірогідність розтріскування органопластиків. як під впливом температури, так і в контакті полімер-метал (табл. 2).

Таблиця 2 – Коефіцієнт термічного лінійного розширення та температури склування

Температурний інтервал, К	$\alpha \cdot 10^6, K^{-1}$ при вмісті Арімиду-Т, мас.%				
	0	5	10	15	20
298 ... 310	16,67	19,84	26,23	10,20	15,06
298 ... 323	14,99	22,96	22,95	11,75	14,99
298 ... 335	19,79	24,02	21,87	13,34	17,65
298 ... 348	27,01	26,15	22,53	17,74	20,58

Армування фенілону поліімідним волокном впливає на його теплофізичні властивості, як через різні за абсолютною величиною характеристики в'язучого і армуючого компонентів, так і за рахунок обмеження рухливості частини макромолекул полімерів, обумовленої їх переходом в граничні шари [8].

Таким чином, для підвищення рівня захисту елементів ВРК від зовнішніх впливів можливо також використання, крім зовнішнього захисного шару з поліефірної металізованої тканини, пакетів (до 10 і більш шарів) металізованих поліімідних плівок. Подібні пакети можуть бути зібрані з металізованих поліімідних плівок шляхом їхнього склеювання за допомогою поліімідної плівки, поміщеної між двома 28 металізованими плівками. Замість адгезива доцільно використовувати поліфункціональні речовини, здатні взаємодіяти з функціональними групами поліімідів (поліаміни або полиизоцианати). Остаточне формування матеріалу шляхом щільного контакту й нагрівання, металізованих плівок, що з'єднуються, з поміщеної між ними поліімідної плівкою, на яку по обидва боки нанесена обрана поліфункціональна речовина [9].

Отримані пакети характеризуються високої міцністю на зсув, герметич-

ністю, термостійкістю й стійкістю до впливу факторів навколишнього середовища. Тобто є потенційна можливість забезпечення всіх вимог до застосування суднового ВРК за рахунок застосування вказаних матеріалів.

Окрім цього, застосування новітніх матеріалів та ВРК у складі комбінованих електроенергетичних установок значним чином відповідає принципам "зеленої" хімії та "зеленої" інженерії, спрямованих на економію ресурсів та енергії [10].

ЛІТЕРАТУРА

1. Карпилов, А. Ю., Сандлер, А. К. Волоконная оптика в системах мониторинга жестких парусов // Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт: матеріали науково-технічної конференції – Одеса: ОНМА. – 2012. – С. 160-161.
2. Карпилов, А. Ю., Сандлер, А. К. Волоконная оптика в системах управления ветровыми двигателями // Научно-практическая конференция "Актуальные вопросы судовой электротехники и радиотехники", 12-18 декабря 2012 г.: материалы конференции. – Одеса: ОНМА. – 2012. – С. 30-32.
3. Сандлер, А. К., Карпилов А. Ю. Повышение точности управления ветродвигателем // Энергетика судна: эксплуатация и ремонт: материалы научно-технической конференции. – Одеса: ОНМА. – 2014. – С. 120-122.
4. Заїчко, С. І., Сандлер, А. К., Карпілов, О. Ю. Система керування роторним багатосекційним вітрорушієм // Судовождение. – 2017. – Вып. 27. – Одесса: НУ "ОМА"– С. 85-90. DOI: 10.31653/2306-5761.27.2017.85-90
5. Міусов, М. В., Сандлер, А. К., Карпілов, О. Ю. Волоконно-оптичний датчик вітру // Міжнародна науково-технічна конференція "Суднові комп'ютерно-інтегровані технології", 08-09 листопада 2018 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ "ОМА".
6. Андреев, О. В. Научные основы повышения эффективности создания конструкций транспортных летательных аппаратов из полимерных композиционных материалов на этапах жизненного цикла изделия: дис. ... докт. техн. наук: 05.07.02. – К., 2020. – 333 с.
7. Мураева, О. А., Панаева, Т. Д. О влиянии металлизации на деформационно-прочностные и микроскопические свойства пленок ПЭТФ и ПМ// Коммунальное хозяйство городов. – 2013. – № 110. – С. 118-125.
8. Буря, О.І., Ткаченко, Е.В., Бурмістр, М.В., Яремко, Ю.О. Дослідження теплофізичних властивостей органопластиків на основі фенілону, армованого поліімідними волокнами// Вопросы химии и химической технологии. – 2008. №6. – С. 43-46.
9. Вплив режиму формування на міцнісні властивості полііміду YS-20 / О. І. Буря, О. О. Набережна, С. В. Калініченко, О. А. Терентієва // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. –2017. – Том I. – С. 19–20.
10. Опришко, М. О. Застосування зелених нанотехнологій у суднобудуванні та судноремонті // Матеріали науково-технічної конференції "Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт". – Одеса: НУ "ОМА". – 2022. – С. 44-48.

УДК 621.74.041:669.15

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВИХ ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ

А.К. Сандлер, к.т.н доцент

О.В. Дрозд, доцент

Національний університет "Одеська морська академія"

Анотація. Аналіз аварій при підйомі великогабаритних і великовагових вантажів показує, що має місце пошкодження конструкцій суднового корпусу, зниження остійності судна або її повна втрата. При цьому, остійність різко зменшується у момент підвішування вантажу судновим краном, в початковий момент переміщення вантажу на причал або при обриві вантажного канату ВПЗ.

Тому, перед проведенням таких вантажних операцій, як правило, проводяться превентивні розрахунки з оцінки осадки й остійності судна, у тому числі оцінюється втрата метацентричної висоти судна для самих несприятливих моментів вантажної операції. Однак, розрахунки не гарантують повної безпеки проведення таких вантажних робіт, тому що в них ймовірно може бути закладена помилка, пов'язана з визначенням фактичної величини метацентричної висоти судна до початку проведення робіт. Необхідність підвищення безпеки вантажних робіт змушує проводити роботи, спрямовані на підвищення надійності та безпеки ВПЗ. Таким чином актуальним науково-технічним завданням є створення уловлювача для вантажопідйомних механізмів, який є інваріантним до впливу експлуатаційних та кліматичних чинників, у якому підвищена зносостійкість як гальмівних елементів так і вантажного канату, знижені експлуатаційні ремонтні витрати та одночасно збережені простота схемотехнічних рішень уловлювачів відомих конструкцій.

Поставлена задача вирішується тим, що уловлювач для вантажопідйомних машин, який містить установлений на металоконструкції зрівняльний блок, огинаний канатом, та гальмові елементи, та який відрізняється тим, що гальмові елементи являють собою конічні сегменти, що разом з пружиною, стопором та механічним датчиком швидкості канату, містяться у, змонтованому на конструкції зрівняльного блоку, корпусі, який містить пневматичний гальмівний циліндр, у штиці з поршнем якого поздовжня свердловина для вантажного канату та конічне місце для контакту з гальмовими елементами.

Ключові слова: кран, безпека, уловлювач

AUTOMATED TOOL OF INCREASING SECURITY OF CARGO VESSELS OPERATIONS

A.K. Sandler, Ph.D., Associate Professor

O.V. Drozd, Associate Professor

Abstract. Analysis of accidents during the lifting of large and heavy cargo shows that there is damage to the structures of the ship's hull, reducing the stability of the ship or its complete loss. At the same time, stability decreases sharply at the moment of suspension of cargo by the ship crane, at the initial moment of movement of cargo on the berth or at break of a cargo rope of ship technical means. Therefore, before carrying out such cargo operations, as a rule, preventive calculations are carried out to assess the draft and stability of the vessel, including the loss of metacentric height of the vessel for the most unfavorable moments of the cargo operation. However, the calculations do not guarantee the complete safety of such cargo operations, as they are likely to contain an error related to the determination of the actual metacentric height of the vessel before the start of work. The need to increase the safety of cargo works forces to carry out work aimed at improving the reliability and safety of ship technical means. Thus, the urgent scientific and technical task is to create a trap for lifting mechanisms, which is invariant to the influence of operational and climatic factors, which increases wear resistance of both brake elements and cargo rope, reduced maintenance

nance costs and simple simplicity of circuit solutions of known designs. The problem is solved by the fact that the catcher for lifting machines, which contains a leveling unit mounted on a metal structure, bent by a rope, and brake elements, and characterized in that the brake elements are conical segments, together with a spring, stopper and mechanical rope speed sensor, contained in a housing mounted on the structure of the leveling unit, which contains a pneumatic brake cylinder, in the rod with the piston of which is a longitudinal well for the cargo rope and a conical place for contact with the brake elements.

Key words: crane, safety, catcher

Вступ. Аналіз статистичної інформації щодо міжнародного судноплавства свідчать про те, що збитки судовласних компаній щорічно, через вимушені простої судів досягають 10 ... 12 % максимальної величини можливого річного доходу. Домінуюча частина цих втрат пов'язана із простоем суден через проведення технічного обслуговування та ремонту судових технічних засобів (СТЗ). Причина виникнення непродуктивних простоїв на техобслуговування обумовлена сильним впливом рівня технічного стану СТЗ на безпеку й ефективність судноплавства в цілому. Цей фактор, на тлі росту обсягів вантажоперевезень морем і інтенсивності судноплавства у Світовому океані, активно сприяє розвитку й використанню методів і засобів, призначених для керування надійністю складних технічних об'єктів.

До об'єктів, надійність яких прямо пов'язана з ефективністю комерційної експлуатації судів, можна віднести вантажопідйомні засоби (ВПЗ). Судновим ВПЗ властива висока механічна напруженість елементів конструкції. ВПЗ характеризуються відсутністю резервованих деталей і вузлів. Деструкція будь-якого основного елемента конструкції приводить, як правило, до втрати його робото-спроможності або має катастрофічні наслідки.

Аналіз аварій при підйомі великогабаритних і великовагових вантажів показує, що має місце пошкодження конструкцій судового корпусу, зниження остійності судна або її повна втрата. При цьому, остійність різко зменшується у момент підвішування вантажу судовим краном, в початковий момент переміщення вантажу на причал або при обриві вантажного канату ВПЗ.

Тому, перед проведенням таких вантажних операцій, як правило, проводяться превентивні розрахунки з оцінки осадки й остійності судна, у тому числі оцінюється втрата метацентричної висоти судна для самих несприятливих моментів вантажної операції. Однак, розрахунки не гарантують повної безпеки проведення таких вантажних робіт, тому що в них ймовірно може бути закладена помилка, пов'язана з визначенням фактичної величини метацентричної висоти судна до початку проведення робіт. Необхідність підвищення безпеки вантажних робіт змушує проводити роботи, спрямовані на підвищення надійності та безпеки ВПЗ [1-3].

Аналіз літературних джерел та постановка задачі. Для пошуку шляхів поліпшення ситуації з вантажними операціями з вантажами великої ваги були проаналізовані конструкції найпоширеніших типів пристроїв підвищення безпеки.

Відомий уловлювач для вантажопідйомних механізмів, який містить установлений на рамі зрівняльний блок, обгинаємий канатом, фрикційні гальмові

елементи, кінематично зв'язані з канатом за допомогою важільної системи, котра включає в себе підпружинені двоплечі важелі, кожен з яких забезпечений установленим на верхньому плечі роликом, взаємодіючим з канатом, на бокових поверхнях рами є фрикційні гальмові колодки з можливістю взаємодії з відповідною гілкою каната, при цьому двоплечі важелі установлені на спільній осі їх обертання і зв'язані між собою за допомогою, цю вісь пружини, що охоплює цю вісь [4].

Недоліком пристрою є:

- складність і громіздкість конструкції внаслідок наявності механізму включення уловлювача в роботу після обриву каната: до складу такого механізму входить важільна система, котра містить у собі установлені на спільній осі їх обертання двоплечі важелі, зв'язані між собою за допомогою пружини, котра охоплює зазначену вісь, на верхніх кінцях важелів є ролики, взаємодіючі з канатом;

- великі динамічні навантаження на утримуючу гілку каната, що обумовлено використанням на нижніх кінцях важелів фрикційних гальмових елементів з можливістю заклинювання відповідної гілки каната між гальмовою колодкою і робочою поверхнею гальмового елемента.

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до технічного рішення, що пропонується, є уловлювач, який містить установлений на металоконструкції зрівняльний блок, огинаний канатом, з котрим зв'язані основні гальмові елементи, кожен з яких виконано у вигляді планок, підпружинених і притиснутих до канату регулюючими гвинтовими з'єднаннями, на металоконструкції з зазорами до торців гальмових планок встановлено упори, та додаткові зв'язані з канатом і розміщені з зазорами між кожним упором і торцями планок кожного основного гальмового елемента один і більше амортизуючих гальмових елементів [5].

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням основних та додаткових гальмових планок, підпружинених і притиснутих до каната регулюючими гвинтовими з'єднаннями:

- зменшення експлуатаційного ресурсу та фрикційних властивостей постійно підпружинених і притиснутих до каната гальмових планок;
- необхідність регулярного огляду, очищення та ремонту гальмових планок;
- суттєвий вплив на фрикційні властивості гальмових планок кліматичних чинників та експлуатаційних забруднень;
- потенційне пошкодження волокон вантажного канату через постійний контакт з гальмовими планками.

Мета та задачі дослідження. Таким чином актуальним науково-технічним завданням є створення уловлювача для вантажопідйомних механізмів, який є інваріантним до впливу експлуатаційних та кліматичних чинників, у якому підвищена зносостійкість як гальмівних елементів так і вантажного кана-

ту, знижені експлуатаційні ремонтні витрати та одночасно збережені простота схемотехнічних рішень уловлювачів відомих конструкцій.

Результати дослідження. Поставлена задача вирішується тим, що уловлювач для вантажопідйомних машин, який містить установлений на металоконструкції зрівняльний блок, огинаний канатом, та гальмові елементи, та який відрізняється тим, що гальмові елементи являють собою конічні сегменти, що разом з пружиною, стопором та механічним датчиком швидкості канату, містяться у, змонтованому на конструкції зрівняльного блоку, корпусі, який містить пневматичний гальмівний циліндр, у штоці з поршнем якого поздовжня свердловина для вантажного канату та конічне місце для контакту з гальмовими елементами.

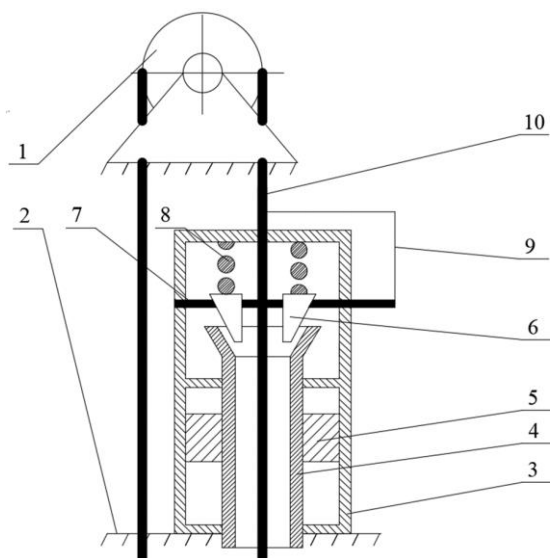


Рисунок 1 – Уловлювач для вантажопідйомних машин: 1 – зрівняльний блок; 2 – металоконструкції зрівняльного блоку; 3 – пневматичний гальмівний циліндр; 4 – шток; 5 – поршень; 6 – гальмові елементи; 7 – стопор; 8 – пружина; 9 – механічний датчик швидкості канату; 10 – гілка вантажного канату

Суть схемотехнічного рішення пояснюється кресленням (рис.1), де зображено зрівняльний блок 1, металоконструкції зрівняльного блоку 2, на яких змонтовано пневматичний гальмівний циліндр 3. У корпусі містяться шток 4 з поздовжньою свердловиною у якій проходить вантажний канат. Шток сполучений з поршнем 5. У верхній частині штоку розташований конічний отвір, подібний за геометрією до зовнішніх поверхонь гальмових елементів 6. Між гальмовими елементами та корпусом пневматичного гальмівного циліндру міститься пружина 8. Гальмові елементи разом з пружиною утримуються в первинному стані стопором 7, який має привід від механічного датчика швидкості вантажного канату 10.

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію механічних елементів.

У статичному режимі вантажний канат вільно пересувається уздовж штоку пневматичного гальмівного циліндру. Гальмові елементи разом з пружиною утримуються в первинному стані стопором, який має привід від механічного датчика швидкості вантажного канату.

У першому динамічному режимі (обрив канату, первинне демпфування) механічний датчик швидкості канату звільняє стопор, пружина надає рух гальмовим елементам. Гальмові елементи надходять до конічного отвору у штоці та входять у контакт з вантажним канатом. В наслідок стискування канату здійснюється первинне жорстке затискування обірваної гілки канату.

У другому динамічному режимі (вторинне демпфування) шток, разом з гальмовими елементами, що затисли обірвану гілку, починає повільно йти до ни-

зу. Таким чином, здійснюється зменшення динамічного навантаження на елементи вантажопідйомної машини та уповільнюється рух вантажу на обірваній гілці канату.

Висновки

Технічний ефект досягається завдяки тому, що комбінація механічних елементів забезпечує:

- двоступеневе демпфірування динамічних навантажень на елементи вантажопідйомної машини при обриві канату;
- інваріантність до впливу експлуатаційних та кліматичних чинників;
- підвищення експлуатаційного ресурсу та підвищення терміну служби вантажного канату;
- підвищення безпеки вантажних операцій.

Таким чином, впровадження запропонованої розробки, сукупно з розробками [6-10], дозволить створити комплексну автоматизовану систему, яка буде сприяти підвищенню рівня безпеки вантажних операцій на судах

ЛІТЕРАТУРА

1. Сандлер, А. К., Дрозд, Е. В. Модернизация системы управления судовым краном // Автоматика-2012: XIX Міжнародна конференція з автоматичного управління, 26-28 вересня 2012 р.: матеріали конференції. – К.: НУХТ. – 2012. – С. 315-316.
2. Сандлер, А. К., Дрозд, О. В. Суднова система зважування контейнерів // Судовождение. – 2018. – Вып. 28. – Одесса: НУ "ОМА". – С. 176-183.
3. Бадагуев, Б. Т. Грузоподъемные краны. Безопасность при эксплуатации. – М.: Альфа-Пресс, 2013. – 448 с.
4. Авторское свидетельство СССР №1539154, МКИ В66В5/16. Уловитель для грузоподъемных механизмов. 1990.
5. Патент 99477 С2 Україна. МПК В 66 В 5/16, В 66 D 3/04, В 66 D 3/10, D 66 C 15/00. Уловлювач для вантажопідйомних механізмів / Стукаленко М. І., Стукаленко О. М., Стукаленко В. М.; заявник і власник патенту Одеська державна академія будівництва та архітектури. – № 201004014; заявл. 06.04.10; опубл. 27.08.12, Бюл. № 19.
6. Sandler, A. K., Drozd, E. V. Automated lubrication system of guides to move heavy cargoes // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – Вып. 23. – Одесса: НУ "ОМА" – С. 96-100. DOI: 10.31653/1819-3293-2017-1-23-96-99.
7. Сандлер, А. К., Дрозд, О. В. Роликовый вузол стрічкового транспортера // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2018. – Т. 10. – №. 4. – Одесса: ОНАХТ. – С. 73-76. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1237>
8. Дрозд, О. В., Сандлер, А. К. Проблеми технічної експлуатації суднових стрічкових транспортерів // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2019. – Т. 11. – №. 1. – Одесса: ОНАХТ. – С. 24-26. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i1.1324>.
9. Сандлер, А. К., Дрозд, О. В. Роликовый вузол стрічкового транспортера // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2018. – Т. 10. – №. 4. – Одесса: ОНАХТ. – С. 73-76. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1237>
10. Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М. Пристрій для запобігання зсуву вантажів у трюмі // Судовождение. – 2018. – Вып. 28. – Одесса: НУ "ОМА". – С. 189-196. DOI: 10.31653/2306-5761.27.2018.189-195.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ЗАСІБ КОНТРОЛЮ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПАЛИВ

Є.І. Фрізюк, здобувач вищої освіти магістерського рівня
Г.Д. Доломанжи, здобувач вищої освіти бакалаврського рівня
А.К. Сандлер, к.т.н, доцент
Національний університет "Одеська морська академія"

Анотація. Дослідження базується на запиті практики про необхідність розробки й впровадження новітніх волоконно-оптичних засобів контролю властивостей палива, які, за рахунок підвищення вірогідності вимірювальної інформації, забезпечують зниження невиробничих втрат. У роботі вирішене актуальне науково-технічне завдання наукового обґрунтування, розробки й дослідження волоконно-оптичного засобу вимірювання цетанового числа дизельного палива. Пропонований засіб забезпечує підвищення достовірності результатів вимірювання за рахунок використання принципів часткової інваріантності до зовнішніх неконтрольованих впливів вимірювань, яка досягається шляхом синтезу процесів перетворення світла, конструкції, комбінації матеріалів і способу одержання вимірювальної інформації. процеси формування й перетворення інформаційного сигналу у засобі моніторингу ЦЧ у складних умовах експлуатації СДВЗ.

Відповідно, предметом дослідження є волоконно-оптичні засоби вимірювання ЦЧ, що функціонують у складних умовах експлуатації.

Теоретична частина роботи виконана з використанням: а) системного аналізу й дослідження операцій – при визначенні структурних зв'язків між елементами вимірювального засобу діагностики й декомпозиції об'єкта дослідження; б) теорії оптичних хвилеводів – при розрахунках коефіцієнтів оптичного зв'язку складових оптичного хвилевода (ОХ); в) методів аналітичного дослідження процесів взаємодії полів хвилеводних елементів – при дослідженні процесів перетворення світлового випромінювання у ЧЕ під впливом деформацій; г) математичного й комп'ютерного моделювання – при отриманні наближеної оцінки функціонування датчика. Обрані методи, припущення і математичний апарат дослідження.

Ключові слова: паливо, цетанове число, моніторинг, волоконно-оптичний.

FIBER-OPTIC INSTRUMENT FOR CONTROLLING THE PROPERTIES OF HYDROCARBON FUELS

Y.I. Friziuk, graduate of higher education at the master's level
H.D. Dolomanzhi, holder of higher education at the bachelor's level
A.K. Sandler, Ph.D., associate professor
National University "Odesa Maritime Academy"

Abstract. The study is based on a request from practitioners about the need to develop and implement the latest fiber-optic means of controlling fuel properties, which, due to increasing the reliability of measurement information, ensure the reduction of non-production losses. The work solves the actual scientific and technical task of scientific substantiation, development and research of a fiber-optic means of measuring the cetane number of diesel fuel. The proposed tool provides an increase in the reliability of measurement results due to the use of the principles of partial invariance to external uncontrolled measurement influences, which is achieved by synthesizing the processes of light transformation, construction, combination of materials and the method of obtaining measurement information. the processes of formation and transformation of the information signal in the means of monitoring the central station in the complex conditions of operation of the SDVZ. Accordingly, the subject of the research is fiber-optic means of measuring CG that function in difficult operating conditions. The theoretical part of the work is performed using: a) system analysis and research of operations - when determining the structural connections between the elements of the measuring tool of diagnostics and decomposition of the research object; b) theories of optical

waveguides - when calculating optical coupling coefficients of components of an optical waveguide (OH); c) methods of analytical research of the processes of interaction of the fields of waveguide elements - when studying the processes of the transformation of light radiation into CHE under the influence of deformations; d) mathematical and computer modeling - when obtaining an approximate assessment of the functioning of the sensor. Selected methods, assumptions and mathematical research apparatus.

Key words: fuel, cetane number, monitoring, fiber optic.

Вступ. Детонаційна стійкість основних видів вуглеводневих палив визначає їх ефективне використання, обумовлює експлуатаційні та екологічні характеристики морських суден. Детонаційна стійкість характеризується цетановим числом (ЦЧ) для дизельних палив. В умовах безперервного виробництва необхідний постійний оперативний моніторинг детонаційної стійкості як показника, що визначає якість, тому що за час лабораторного аналізу може проводитися неякісний продукт, який практично безконтрольно може потрапити до споживачів [1-6].

Створення й впровадження швидкодіючих пристроїв детонаційної стійкості вуглеводневих палив, що функціонують в режимі реального часу, дозволить не тільки підприємствам оптимізувати процес виробництва, але й здійснювати більш ретельний контроль на судах. Крім відомих методів, заснованих на спалюванні певних обсягів палива по визначенню його детонаційної стійкості непрямыми методами, раціональним є більш енергійне впровадження новітніх методів аналізу, а саме – оптичних, імпедансних, акустичних. Особливо слід зазначити переваги застосування приладів на основі волоконно-оптичних технологій, які полягають у простоті й надійності сенсора, у можливості його установки в технологічний потік, у різноманітних варіантах зміни частоти й форми сигналів, методах калібрування й математичної обробки.

Таким чином, створення приладу для оперативного визначення якості палива є актуальною і доцільною темою кваліфікаційної роботи.

Мета і завдання дослідження. Існуючі суднові засоби і пристрої моніторингу властивостей вуглеводневих палив функціонують в умовах дестабілізуючих факторів – концентрованого впливу потужних електромагнітних і термічних полів, під дією вібрацій, впливу потужного локального судового енергетичного встаткування. Саме ці збурення не дозволяють забезпечити ефективний, відповідний сучасним експлуатаційним вимогам, контроль цетанового числа.

Аналіз відомих рішень доводить, що для сучасної технічної експлуатації СДВЗ затребувані нові засоби моніторингу якості палив, а саме – нечутливі до більшості експлуатаційних дестабілізуючих факторів (ДФ) пристрої волоконної оптики.

Таким чином на підставі запиту практики сформовані мета і завдання дослідження, які полягають у зниженні аварійності, забезпечення високої ефективності використання та надійності роботи СДВЗ, що досягається впровадженням сучасних засобів моніторингу, які забезпечують підвищення вірогідності

процесів контролю властивостей палив за рахунок використання принципів часткової інваріантності до зовнішніх неконтрольованих впливів на вимірювання.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення наступних завдань.

1. Визначення залежностей між показниками палив та їх електродинамічними параметрами.

2. Визначення завадостійких до впливу ДФ засобів моніторингу властивостей палива з подальшою оцінкою можливостей корекції вимірювальних погрешностей.

3. Синтез математичної моделі оцінювання впливу зміни параметрів на метрологічні характеристики завадостійких волоконних датчиків ЦЧ.

Об'єкт, предмет та методи дослідження. Як об'єкт дослідження визначені процеси формування й перетворення інформаційного сигналу у засобі моніторингу ЦЧ у складних умовах експлуатації СДВЗ.

Відповідно, предметом дослідження є волоконно-оптичні засоби вимірювання ЦЧ, що функціонують у складних умовах експлуатації.

Теоретична частина роботи виконана з використанням: а) системного аналізу й дослідження операцій – при визначенні структурних зв'язків між елементами вимірювального засобу діагностики й декомпозиції об'єкта дослідження; б) теорії оптичних хвильоводів – при розрахунках коефіцієнтів оптичного зв'язку складових оптичного хвильовода (ОХ); в) методів аналітичного дослідження процесів взаємодії полів хвильоводних елементів – при дослідженні процесів перетворення світлового випромінювання у ЧЕ під впливом деформацій; г) математичного й комп'ютерного моделювання – при отриманні наближеної оцінки функціонування датчика [7].

Аналіз предмету дослідження та формалізація завдання що розв'язується. На підставі аналізу результатів особливості експлуатації судових двигунів внутрішнього згоряння (СДВЗ) визначено, що до основних елементів, технічний стан яких лімітує ефективність технічної експлуатації, слід віднести, у першу чергу, системи контролю властивостей палива. Надійність, термін використання датчиків багато у чому залежать від умов експлуатації, впливу навколишнього середовища та кількості робочих циклів. На основі дослідження закономірностей зміни технічного стану, причин та видів ушкоджень датчиків властивостей палива, у тому числі датчиків цетанового числа (ЦЧ), визначено, що більшість розглянутих ушкоджень елементів датчиків майже не піддаються математичному опису, мають високу швидкість розвитку до критичного стану і складні для виявлення за непрямыми діагностичними ознаками дефекти.

На підставі багатofакторного аналізу зроблено наступний висновок. Подальше удосконалення процесів волоконно-оптичного засобу контролю властивостей палива можливе на основі впровадження рішень, які добре зарекомендували себе в ракетно-космічній техніці, а саме використання високоточної інформаційно-вимірювальних систем, створених за волоконно-оптичними технологіями.

Таким чином спрямованість дослідження сформована на основі "запиту практики" про необхідність розробки й впровадження нових засобів моніторингу вологості газів, які забезпечать підвищення вірогідності вимірювальної інформації й зниження невиробничих втрат газотранспортному логістичному комплексі.

Створення моделі волоконно-оптичного датчика вологості газу. Відомо [8], що вуглеводневе паливо, як усі інші середовища мають комплексну діелектричну проникність

$$\varepsilon = -j \varepsilon', \quad (1.1)$$

де ε – дійсна частина (відносна діелектрична проникність);

ε' – уявна частина ($j = -1$).

Уявна частина (5.1) характеризує поглинання енергії (діелектричні втрати) у речовині, уведеному в електричне поле. Тангенс кута втрат визначається як

$$\operatorname{tg} \delta = \varepsilon' / \varepsilon. \quad (1.2)$$

Відомо також, що квазістатичної й височастотної областях спектра значення ε' практично дуже мале. Тільки в області аномальної дисперсії значення ε' стає істотним, а при критичній частоті ω_0 досягає максимуму й визначається процесом релаксації вуглеводневої молекули.

Релаксація – це процес установаження статичної рівноваги, що відповідає даним зовнішнім умовам, зокрема процес упорядкування або орієнтаційної поляризації дипольних молекул у статичнім полі після його відключення. Постійна часу релаксації $\tau = 1/\omega_0$. Протягом часу τ після відключення статичного поля орієнтаційна поляризація зменшується в e раз. При частоті зовнішнього поля, суттєво більшої, ніж релаксаційна, орієнтаційна компонент поляризації стає малою. Час, необхідне для повороту молекул, що володіють інерцією, у напрямку поля після його включення, становить Близько $10^8 \dots 10^9$ с. За значенням комплексної діелектричної проникності можна зробити грубу класифікацію органічних сполук, наведену в табл. 1.1 [9].

Таблиця 1.1 – Класифікація хімічних речовин по комплексній діелектричній проникності при температурі 290 К

Групи оргинічних сполук	ε	ε'
Ароматичні вуглеводні	1,8 ... 2,5	0,001 ... 0,025
Галогозаміщені вуглеводні	3 ... 10	0,5 ... 2
Спирти	10 ... 35	2 ... 10
Карбонові сполуки	2 ... 10	1 ... 2
Складні ефіри	4 ... 9	0,5 ... 5
Альдегіди	10 ... 20	2 ... 6
Прості ефіри	2 ... 5	0,2 ... 2
Аміни	3 ... 13	1 ... 3
Нітриди	16 ... 38	2 ... 12
Нітросполуки	5 ... 56	3 ... 15
Ефірні олії	2 ... 17	2 ... 10

Уведення в молекулу вуглеводню однієї полярної групи викликає характерне збільшення діелектричної проникності й провідності (втрат). Для гомологічних рядів знайдені аналітичні залежності між діелектричною проникністю й числом атомів вуглецю. Діелектрична проникність є нафтопродуктів сильно різниться від їхньої хімічної будови. Серед рідин вуглеводні мають найменшу діелектричну проникність. Для вуглеводнів різної структури вона неоднакова. Найбільшими значеннями діелектричної проникності характеризуються ароматичні вуглеводні. Діелектрична проникність нафтопродуктів збільшується зі зростанням щільності, молекулярної ваги й при переході від насичених до ненасичених з'єднань. Значення діелектричної проникності ϵ для нафтових фракцій із вказівкою їх щільності ρ , при температурі 291 К, наведені в табл. 1.2 [10].

Таблиця 1.2 – Діелектрична проникність нафтових фракцій

Нафтопродукти	Температура кипіння, °С	Діелектрична проникність, ϵ	Щільність, ρ , г/см ³
Петролейний ефір	50 ... 80	1,724	0,6550
Бензин	60 ... 150	1,887	0,7668
Гас	140 ... 200	1,958	0,8057
Дизельне пальне	190 ... 250	1,963	0,8081
Нафта	50 ... 300	2,183	0,8627
Мазут	≥ 300	2,401	0,9388

Як видно з табл. 1.2, середня діелектрична проникність легких фракцій, визначена на частотах до 10 ГГц становить 1,877. Товарні нафтопродукти мають трохи більшу діелектричну проникність, тому що мають у своєму складі високооктанові присадки, зокрема ароматичні вуглеводні.

У табл. 1.3 наведені значення діелектричних проникностей типових компонентів вуглеводневих палив на частоті 9,5 ГГц при різних температурах.

Таблиця 1.3 – Величина діелектричної проникності ϵ компонентів вуглеводневих палив на частоті 9,5 ГГц при різних температурах

Сполука	Щільність, ρ , г/см ³	$\epsilon \cdot 10^{-4}$						
		213 К	233 К	253 К	273 К	293 К	313 К	333 К
Пептан	0,6262	1,978	1,942	1,906	1,871	1,835	-	-
Гексан	0,6594	2,019	2,009	1,991	1,984	1,892	1,826	1,781
Гептан	0,6836	2,028	2,000	1,992	1,944	1,916	1,880	1,860
Октан	0,7022	-	2,026	1,998	1,970	1,942	1,914	1,886
Нонан	0,7056	-	2,049	2,022	1,995	1,967	1,941	1,914
Ундскан	0,6958	-	-	2,052	2,026	2,000	1,974	1,948
Додекан	0,7036	-	-	-	2,038	2,014	1,988	1,963
Диметілпептан	0,7087	2,026	2,008	1,992	1,981	1,961	1,945	1,929
Триметілпептан	0,6916	2,068	2,043	2,012	1,986	1,956	1,926	1,987
Циклогексан	0,6966	-	-	-	2,030	2,037	1,989	1,955

З табл. 1.1 – 1.3 видно, що діелектрична проникність кисневмісних, сірчистих і азотних з'єднань значно вище діелектричної проникності нафтопродуктів і можливих присадок до них. Тому навіть малі домішки цих з'єднань у нафтопродуктах значно вплинуть на його діелектричну проникність. Присутність кисневмісних і азотних речовин у паливах за ГОСТ неприпустимо, присутність з'єднань, що містять сірку не більш 2 % від маси. У табл. 1.4 дані значення діелектричних втрат ϵ' компонентів вуглеводневих палив при різних температурах на частоті 9,5 ГГц.

Таблиця 1.4 - Діелектричні втрати компонентів вуглеводневих палив при різних температурах

Сполука	Щільність, ρ , г/см ³	$\epsilon \cdot 10^{-4}$						
		213 К	233 К	253К	273 К	293 К	313К	333К
Пептан	0,6262	22	15	12	8,5	6,5	-	-
Гексан	0,6594	21,5	17,5	14	10	8	5	-
Гептан	0,6836	29,5	24,5	18	13	10	8	5,5
Октан	0,7022	-	24	20	14,5	12	9	8
Нонан	0,7056	-	27	24	19	15	12	9
Ундскан	0,6958	-	-	34	30	25	20	14
Додекан	0,7036	-	-	-	25	22	18	13
Диметілпептан	0,7087	36	30	21	18	13	9,5	5
Триметілпептан	0,6916	63	45	36	28	20	15	12
Циклогексан	0,6966	-	-	-	2	1,95	1,9	1,85

З табл. 1.3, 1.4 видно, що діелектрична проникність і втрати з ростом температури стабільно зменшуються за нелінійним законом. Регресійний аналіз даних може визначити конкретний вид температурної залежності для кожного компонента. Зіставляючи значення табл. 1.1 з довідковими даними по щільності тих же компонентів і застосовуючи до них регресійний аналіз визначається взаємозв'язок між щільністю й відносною діелектричною проникністю

$$\epsilon(\rho) = 5,626 \rho^2 - 6,526 \rho + 3,583. \quad (1.3)$$

Формула (1.3) зв'язує емпірично отримані дані про діелектричну проникність і щільності. Для зіставлення, у табл. 1.5 приведемо значення діелектричних проникностей і тангенса кута втрат $tg\delta = \epsilon'/\epsilon$ для деяких еталонних рідин на частотах, близьких до критичних (9 ... 10 ГГц) при температурі 293 К, використовуваних у різних галузях промисловості в якості калібраторів у диелектрометрії [8, 9].

За даними [10, 11] середнє значення діелектричних втрат для циклічних і ненасичених вуглеводнів становить $\epsilon' = 15$, при цьому точно відомо, що мінімальними діелектричними втратами має циклогексан – $\epsilon' = 1,95$. По таблиці видно, що діелектрична проникність і діелектричні втрати ароматичних вуглеводнів значно вище, чим в інших компонентів.

Таблиця 1.5 – Діелектричні властивості рідин на частотах 9 ... 10 ГГц

Сполука	ε	ε'	$tg\delta \cdot 10^{-4}$
Вода	2,362	31,4	510,6
Толуол	2,362	0,029	122,9
Бензол	2,278	0,0006	2,5
Ізооктан	1,961	0,002	10,2
Гептан	1,916	0,001	5,22
α -метилнафталін	2,063	0,0015	5,14
Гексан	1,892	0,008	42,2

На основі табл. 1.4 можливо отримати середньостатистичну функцію залежності ЦЧ від діелектричної проникності (рис. 1.1). Для цього скористаємося поліноміальною регресією, яка в аналітичному виді має вигляд

$$\varepsilon = 1,931 = 2,855 \cdot 10^{-3} \Omega - 8,873 \cdot 10^{-5} \Omega^2 + 7,813 \cdot 10^{-7} \Omega^3. \quad (1.4)$$

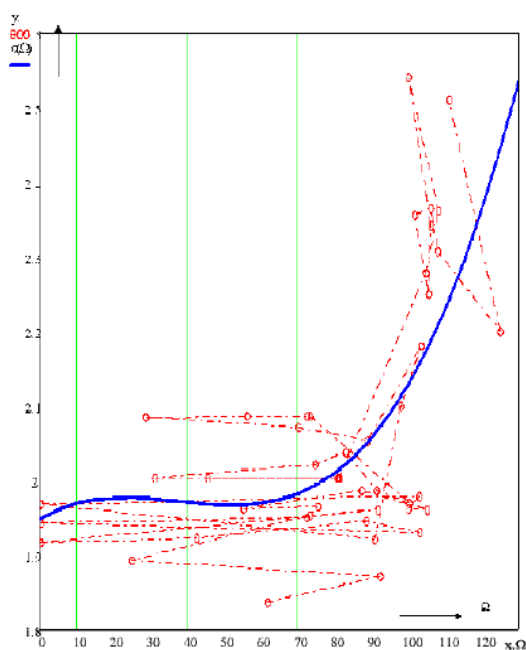


Рисунок 1.1 – Середньостатистична залежність цетанового числа компонентів вуглеводневого палива від діелектричної проникності при температурі 290 К

математичного апарата теорії зв'язаних хвиль (ТСХ). Будь-яке збурювання параметрів хвильоводу генерує зв'язок його мод, величина амплітуди яких повільно змінюється в напрямку поширення. У загальному випадку ТСХ розглядає зв'язок між усіма модами оптичного хвильоводу, що утворюють повну ортогональну систему, у тому числі й моди випромінювання.

Для більшості видів зв'язки хвиль у хвильоводах можна обмежитися двох-вильовим наближенням, коли враховують зв'язок тільки двох мод, для яких виконується умова фазового синхронізму й забезпечується значний обмін потуж-

Представлений матеріал створює теоретичну основу для контролю вуглеводневих палив непрямыми методами, заснованими на вимірі комплексної діелектричної проникності вуглеводневих продуктів [12, 13].

Що стосується оптичного середовища, то відомо, що показник заломлення оптичного середовища пов'язаний діелектричною проникністю ε співвідношенням [14]

$$\varepsilon/\varepsilon_0 = n,$$

де ε_0 – діелектрична проникність вакуума.

Таким чином, шар палива та скляні матеріали, що оточують його, можливо апроксимувати тришаровим ОХ, кожен з яких має власну діелектричну проникність та показник заломлення.

Завдання перетворення оптичного випромінювання у тришарових оптичних хвильоводах доцільно вирішувати в рамках

ністю, а всіма іншими модами зневажають. Представимо ці дві монохроматичні хвилі, що є власними модами незбуреного хвилеводу, у вигляді

$$a_{1b}(z, t) = A_{1m} \exp [i(\omega t - \beta_{2m}z)], \quad (1.5)$$

$$a_{2n}(z, t) = A_{2n} \exp [i(\omega t \pm \beta_{1m}z)], \quad (1.6)$$

де A_{1m} і A_{2n} – комплексні амплітуди хвиль;

β_{1m} і β_{2n} – постійні поширення.

При наявності збурювання у хвилеводі виникає зв'язок і обмін потужністю між модами a_{1m} та a_{2n} у напрямку їх поширення. у більшості випадків збурювання параметрів ОХ можливо представити у вигляді розподіленого джерела поляризації середовища, а сам процес зв'язку й обміну потужністю між модами – як взаємодія поверхневих хвиль із хвилями поляризації. Для поверхневих хвиль (1.5) і (1.6) зміни їх амплітуд визначаються системою рівнянь зв'язаних хвиль

$$\frac{a_{1m}}{dz} = -i\beta_{1m}a_{1m} - iC_{mn}a_{2n}; \quad (1.7)$$

$$\frac{a_{2n}}{dz} = \mp i\beta_{2n}a_{2n} - iC_{nm}a_{1m}. \quad (1.8)$$

де C_{mn} , C_{nm} – коефіцієнти зв'язку хвиль;

$(\beta_{1m} - \beta_{2n})/2 = \delta$ – розлад фаз зв'язаних хвиль.

Знак "мінус" у показнику експоненти в (1.6) і відповідно в рівнянні (1.8) відповідає односпрямованому зв'язку хвиль, коли їх фазові швидкості мають однакові напрямки, а знак "плюс" – різноспрямовані зв'язки. У загальному випадку величина δ залежить не тільки від різниці постійних поширення β_{1m} і β_{2n} , але й від просторових змін збурювання параметрів ОХ, точніше – від різниці постійних поширення порушуваних і збудливих хвиль. Із закону збереження енергії випливає, що

$$C_{mn} = \pm C_{nm}^*, \quad (1.9)$$

де знак "плюс" відповідає односпрямованому, а знак "мінус" – різноспрямованому зв'язку хвиль.

При односпрямованому зв'язку хвиль розв'язок системи рівнянь (1.7) і (1.8) для граничних умов $A_{1m}(0) = 1$ і $A_{2n}(0) = 0$ приводить до наступних виразів для коефіцієнтів передачі потужності, що переноситься модами a_{2n} і a_{1m}

$$n_{2n}(L) = \frac{\sin^2 \left\{ CL \left[1 + \left(\frac{\delta}{C} \right)^2 \right]^{0.5} \right\}}{\left[1 + \left(\frac{\delta}{C} \right)^2 \right]}; \quad (1.10)$$

$$n_{1m}(L) = \frac{\left(\frac{\delta}{C}\right)^2 \sin^2 \left\{ CL \left[1 + \left(\frac{\delta}{C}\right)^2 \right]^{0.5} \right\}}{\left[1 + \left(\frac{\delta}{C}\right)^2 \right] + \cos^2 \left\{ CL \left[1 + \left(\frac{\delta}{C}\right)^2 \right]^{0.5} \right\}}, \quad (1.11)$$

де $C^2 = |C_{mn}|^2$; L – довжина зони зв'язку.

При виконанні умови фазового синхронізму, тобто при $\delta = 0$, повний обмін потужністю між зв'язаними модами відбувається із просторовим періодом $L_0 = \pi/(2C)$ на довжині зв'язку $Lq = L_0(1+2q)$, де q – ціле число. У загальному випадку

$$Lq = \frac{\left(\frac{\pi}{2C}\right)(1+2q)}{\left[1 + \left(\frac{\delta}{C}\right)^2 \right]^{0.5}}. \quad (1.12)$$

При значній фазовій неузгодженості мод, коли $|\delta/C| \gg 1$, обмін потужністю між модами, як видно з (1.10) і (1.11), зневажливо малий.

При повному фазовому синхронізмі зв'язаних хвиль, коли $\delta = 0$,

$$R_{2n}(0) = th^2(CL), \quad (1.13)$$

$$T_{1m}(L) = (ch^2(CL))^{-1}. \quad (1.14)$$

Вид рівнянь, що описують характер поведінки двох зв'язаних хвиль, не залежить від постійної зв'язку C . Однак значення C визначає ступінь зв'язку хвиль або відстань, на якій відбувається заданий обмін потужністю між ними. У загальному випадку постійна зв'язку C залежить від конкретної фізичної причини збурювання параметрів ОХ і інтеграла перекриття складових електричних полів зв'язаних хвиль.

З виразів для амплітуд полів зв'язаних хвиль, видно, що є певні фазові співвідношення між амплітудами полів зв'язаних хвиль. Поле хвилі, потужність якої збільшується, завжди відстає по фазі на $\pi/2$ від поля хвилі, потужність якої зменшується. Формально це прямо відповідає вибору знаків у рівняннях зв'язаних хвиль. З фізичної точки зору причиною відставання фази порушеної хвилі є необхідне фазове співвідношення між поляризацією, створюваною модою a_{1m} , і полем порушеної моди a_{2n} у яку відбувається перекачування потужності. Добре відомо, що дисіпація потужності в діелектрику виникає тоді, коли поляризація середовища відстає по фазі від прикладеного поля. Отже для порушення моди a_{2n} її поле повинне відставати по фазі від поля хвилі поляризації в середовищі, яке збуджується сінфазно полем моди a_{1m} .

Притакий взаємодії зв'язаних хвиль значний практичний інтерес представляє також система трьох зв'язаних мод або трьох зв'язаних ОХ (рис. 1.2).

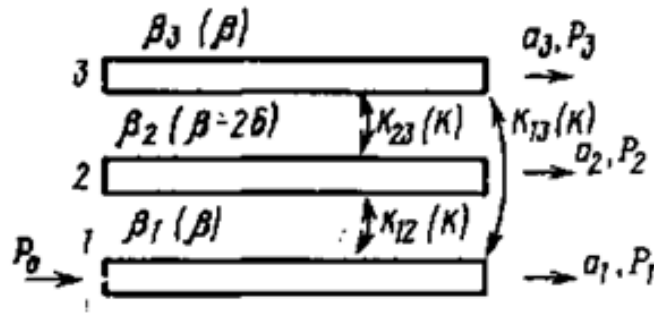


Рисунок 1.2 – Система трьох паралельних зв'язаних оптичних хвильоводів

Комплексні амплітуди $a_i(z)$ хвиль виду (1.5) для трьох зв'язаних хвильоводів з постійними поширення β_i ($i = 1, 2, 3$) при односпрямованому зв'язку хвиль визначаються системою рівнянь зв'язаних хвиль

$$\begin{aligned} da_1/dz &= -i2\delta_{12}a_1 - iC_{12}a_2 - iC_{13}a_3; \\ da_2/dz &= -iC_{12}a_1 - i2\delta_{22}a_2 - iC_{23}a_3; \\ da_3/dz &= -i2C_{13}a_1 - iC_{23}a_2 - i2\delta_{32}a_3, \end{aligned} \quad (4.15)$$

де $2\delta_{12} = \beta_1 - \beta_2$; $2\delta_{22} = \beta_2 - \beta_2 = 0$; $2\delta_{32} = \beta_3 - \beta_2$; C_{12} , C_{13} , C_{23} – коефіцієнти зв'язку між хвильоводами 1 і 2, 1 і 3, 2 і 3 відповідно.

У випадку коли постійні поширення β_1 і β_3 дорівнюють один одному й постійні C_{12} і C_{23} також рівні між собою. Для граничних умов $A_1(0) = 1$ і $A_2(0) = A_3(0) = 0$ розв'язок системи (1.15) приводить до наступних виразів для коефіцієнтів передачі потужності, що поширюється у зв'язаних хвильоводах 2 і 3

$$\eta_2(z) = (C/u)^2 \sin^2(uz); \quad (1.16)$$

$$\eta_3(z) = 0,25\{[\cos(uz) - \cos(vz)]^2 + [(\delta - 0,5C)\sin(uz) - \sin(vz)]^2\}. \quad (1.17)$$

де $u = [(\delta - 0,5C)^2 + 2C^2]^{1/2}$; $v = (1,5C + \delta)$.

Потужність у хвильоводі визначається із закону збереження енергії

$$Pi(z) = \eta_1(z)P_0 = [1 - \eta_2(z) - \eta_3(z)]P_0, \quad (1.18)$$

де $P_0 = A_{12}(0)$.

При відсутності прямого зв'язку між хвильоводами 1 і 3 ($C_{13} = C = 0$) повний обмін потужністю між цими хвильоводами відбувається навіть при значній фазовій неузгодженості хвиль у хвильоводах 1 і 2 ($\beta_1 = \beta_3 < \beta_2$). Зважаючи на $(C/\delta)^2 \ll 1$, з виразів (1.16) - (1.18) випливає, що

$$\eta_1(z) \approx \cos^2(C_{\text{ef}} z); \quad (1.19)$$

$$\eta_3(z) \approx \sin^2(C_{\text{ef}} z); \quad (1.20)$$

де

$$C_{\text{ef}} = \frac{C^2}{2\delta}, \quad (1.21)$$

і тільки дуже мала частина потужності перебуває у хвильоводі 2, тобто $\eta_2 \approx 0$.

Таким чином, систему із трьох зв'язаних хвильоводів (трьох зв'язаних мод) при відсутності непрямого зв'язку між ними й $(C/\delta)^2 \ll 1$ можна розглядати як

систему тільки двох зв'язаних хвильоводів 1 і 3 (відповідно мод 1 і 3) з ефективним коефіцієнтом зв'язку C_{ef} , обумовленим (1.21).

У наближенні сильної фазової неузгодженості зв'язаних хвильоводів (при $(C/\delta)^2 \ll 1$) для розглянутого випадку у (1.19) і (1.20) величина C_{ef} буде мати вигляд

$$C_{ef} = \frac{C^2}{2\delta} - C, \quad (1.22)$$

Тому в загальному випадку систему трьох зв'язаних ОХ (або трьох мод) можна розглядати як систему двох зв'язаних хвильоводів (або мод) з ефективним коефіцієнтом зв'язку C_{ef} , визначеним у (1.22) [15].

Отримані залежності дають підґрунття для нового схемотехнічного рішення волоконно-оптичного датчика ЦЧ (рис. 1.3).

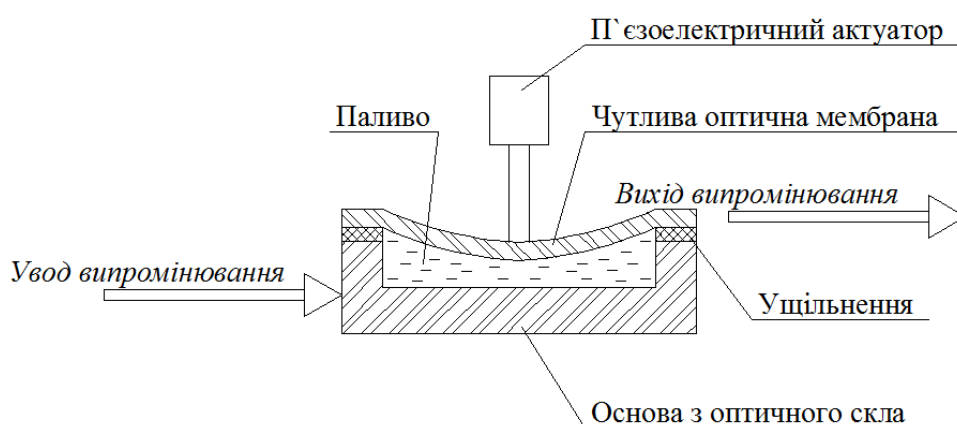


Рисунок 1.3 – Схема волоконно-оптичного датчика ЦЧ

Роль первинного ОХ, до якого уводиться оптичне випромінювання відіграє основа з оптичного скла. До основи, через розділяюче ущільнення прикріплена чутлива оптична мембрана, вигин якої регулюється п'єзоелектричним актуатором. Між мембраною та основою міститься досліджуване паливо. Вихід модульованого випромінювання здійснюється з боку мембрани. Коефіцієнт заломлення мембрани обраний таким чином, щоб не відбувався оптичний зв'язок основи та мембрани. При потраплянні палива у порожнину основи актуатор починає вигин мембрани, що викликає механічні напруження у неї. Пропорційно напруженням зростає показник заломлення у скломатеріалі мембрани. При досягненні певного рівня створюються умови для туннельного зв'язку у оптичній системі "основа – паливо – мембрана". Сигналом такого зв'язку є поява випромінювання на виході з мембрани. Таким чином, величину вигину мембрани можливо вважати пропорційної до ЦЧ палива, що досліджується.

ЛІТЕРАТУРА

1. Справочник по горюче-смазочным материалам в судовой технике/ Тулин Е. И., Якубо Л. П., Сомов В. А., Чечот И. М. – 2 изд. – 224 с.
2. Синюта В. Р. Система методов контроля низкотемпературных и экологических свойств дизельных топлив: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13. – Красноярск, 2019. – 124 с.

3. Шевченко, К. В., Григоров, А. Б. Займистістість вуглеводневих фракцій, отриманих де-струкцією полімерної сировини// Вісник Національного технічного університету "ХПІ" Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – 2021. – № 1 (5). – С. 51-55.
4. Dergachova V. Strategies for development of Ukrainian energy market under conditions of geopolitical challenges / V. Dergachova, N. Pysar, O. Kyvliuk, D. Svyrydenko Naukovyi // Visnyk NHTU. 2018. № 5 (167). P. 148–154. URL: http://nvngu.in.ua/jdownloads/pdf/2018/05/05_2018_Pysar.pdf.
5. Паливо-мастильні матеріали і технічні рідини. Нафтові палива. URL: manualsem.com/book/484-palivo-mastilni-materiali-i-texnichni-ridini-naftovi-paliva/24-Page24.html.
6. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення/ Чабанний В. Я., Черновол М. І., Солових Є. К., Магопець С. О., Бевз О. В., Солових А. Є., Катеринич С. Є. – Кропивницький, 2022. – 487 с.
7. Сандлер, А. К. Метод підвищення ефективності діагностування технічного стану суднових газотурбінних установок на основі волоконно-оптичних технологій: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20. – К., 2021. – 159 с.
8. Нехамкина, Л. Г. Метрологическое обеспечение качества нефтепродуктов. URL:<https://ria-stk.ru/mos/adetail.php?ID=50861>.
9. Ахадов, Я. Ю. Диэлектрические свойства чистых жидкостей. – М.: Издательство стандартов, 1972. – 413 с.
- 10.Надь, Ш. Б. Диэлектрометрия. – М.: Энергия, 1976. – 208 с.
- 11.Шахпаронов, М. И., Филиппов Л. П. Жидкие углеводороды и нефтепродукты. – М.: МГУ, 1989. – 82 с.
- 12.Murthy, M.J. Compendium of experimental cetane number data /M.J. Murthy, J.D. Taylor, R.L. McCormick // National Renewable Energy Laboratory/SR-540-36805. – 2004.
- 13.Santana, R.C. Evaluation of different reaction strategies for the improvement of cetane number in diesel fuels / R.C. Santana, Ph. T. Do, M. Santikunaporn, W.E. Alvarez, J. D. Taylor, E. L. Sughrue, D. E. Resasco // Fuel 85. –2006. – P. 643.
- 14.Снайдер, А., Лав, Д. Теория оптических волноводов. – М.: Радио и связь, 1987. – 656 с.
- 15.Семенов, А. С., Смирнов, В. Л., Шмалько, А. В. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. – М.: Радио и связь, 1990. – 224 с.

Секція 11. ОСВІТНІ ТА ПРОФЕСІЙНІ СТАНДАРТИ

УДК 378

**ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ МАГІСТРІВ ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ
«МЕНЕДЖМЕНТ В ГАЛУЗІ МОРСЬКОГО ТА РІЧКОВОГО ТРАНСПОРТУ» В
НАЦІОНАЛЬНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»**

Ю. С. Медведєва, к.геогр.н., доцент,
К. С. Коновалова, курсант
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:** розглядається як відбувається процес підготовки магістрів на прикладі підготовки магістрів в Національному університеті «Одеська морська академія».*

***Ключові слова:** вища освіта, мігістратура, освітня програма, університет, спеціалізація.*

**FEATURES OF PREPARATION OF MASTERS IN THE SPECIALTY «MANAGEMENT
IN THE FIELD OF MARITIME AND RIVER TRANSPORT» in NATIONAL
UNIVERSITY «ODESSA MARITIME ACADEMY»**

I. S. Medvedieva, Ph. D. of Geographic Sciences, Associate Professor
K. Konovalova, cadet
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:** examines how the process of master's training takes place on the example of master's training at the National University "Odesa Maritime Academy".*

***Key-words:** higher education, master's degree, educational program, university, specialization.*

Модернізація вищої освіти в Україні запровадила нові підходи до організації освітнього процесу закладів вищої освіти. Так, з'явилася такі нові для нашої вищої школи поняття як освітньо-професійна програма, проєктна група, група забезпечення тощо. І для пересічних громадян ці поняття нічого не значать, але не для здобувачів вищої освіти, які обирають конкретний заклад, до якого вступили на навчання, конкретну освітньо-професійну програму, за якою будуть здобувати вищу освіти [1].

Освітньо-професійна програма (ОПП) – представляє собою систему освітніх компонентів на відповідному рівні вищої освіти в межах спеціальності, що визначає вимоги до рівня освіти осіб, які можуть розпочати навчання за цією програмою, перелік навчальних дисциплін і логічну послідовність їх вивчення, кількість кредитів ЄКТС (Європейська кредитно трансферна система), необхідних для виконання цієї програми, а також очікувані результати навчання (компетентності), якими повинен оволодіти здобувач відповідного ступеня вищої освіти. Компетентність визначає здатність особи успішно здійснювати професійну та подальшу навчальну діяльність і є результатом навчання на певному рівні вищої освіти. Результати навчання – сукупність знань, умінь, навичок, інших компетентностей, набутих особою у

процесі навчання за певною освітньо-професійною, освітньо-науковою програмою, які можна ідентифікувати, кількісно оцінити та виміряти.

Другий (магістерський) рівень вищої освіти відповідає сьомому рівню Національної рамки кваліфікацій і передбачає здобуття особою поглиблених теоретичних та/або практичних знань, умінь, навичок за обраною спеціальністю (чи спеціалізацією), загальних засад методології наукової та/або професійної діяльності, інших компетентностей, достатніх для ефективного виконання завдань інноваційного характеру відповідного рівня професійної діяльності [2].

Згідно пункту 5 статті 10 Закону України «Про вищу освіту» Університет відповідно до освітньої програми за кожною спеціальністю розробляє навчальний план, що визначає перелік й обсяг освітніх компонентів у кредитах ЄКТС, їх логічну послідовність, форми організації освітнього процесу, види й обсяг навчальних занять, графік навчального процесу, форми поточного й підсумкового контролю, що забезпечують досягнення здобувачем певного ступеня вищої освіти програмних результатів навчання [2].

Розробку, впровадження й реалізацію освітніх програм і навчальних планів здійснюють відповідні проєктні групи і групи забезпечення спеціальності. Навчально-науковий інститут морського права та менеджменту Національного університету «Одеська морська академія» – готує правників та управлінців, які реалізовуватимуть свій професійний шлях у сферах регулювання використання Світового океану та управління морегосподарським комплексом. Акцентом усіх освітніх програм, за якими надаються освітні послуги в Інституті, є поєднання класичного підходу у підготовці здобувачів вищої освіти в галузі знань «Право» та «Менеджмент» з поглибленим вивченням спеціалізованих освітніх компонентів з морського права та управління морегосподарським комплексом, а також поглиблене вивчення фахової англійської мови протягом усього періоду навчання. Необхідно відмітити, що навчаючись в університеті за спеціальністю «Менеджмент», студенти отримують спеціалізацію «Менеджмент в галузі морського та річкового транспорту».

Спеціалізація в свою чергу передбачає профільну спеціалізовану освітню програму підготовки здобувачів вищої та післядипломної освіти. Ціль розглянутої програми – підготовка фахівців у галузі управління та адміністрування у сфері морського та річкового транспорту відповідно до вимог і запитів сучасного ринку та суспільства. Характеристика програми – вивчення теоретичних, методичних, організаційних та практичних засад управління та адміністрування підприємствами; принципів функціонування управлінських систем; методів та інструментів реалізації функцій менеджменту, інструментарію обґрунтування управлінських рішень щодо

розвитку підприємств; забезпечення економічної безпеки; формування стратегій розвитку підприємств, концепції системного, ситуаційного, процесно-структурованого, адаптивного, інноваційного, проєктного менеджменту.

Здобувачами вищої освіти опрацьовуються такі загальні дисципліни як «Організація наукових досліджень», «Управління якістю», «Антикризове управління підприємств», «Публічне адміністрування» та інші. Також дисципліни обґрунтовані спеціалізацією, які не викладають в інших закладах вищої освіти - це «Управління конкурентоспроможністю в галузі морського та річкового транспорту», «Бізнес-планування в круїзному судноплаванні», «Маркетинг інновацій в галузі морського та річкового транспорту галузі».

Закінчивши своє навчання випускники зможуть працювати на таких первинних посадах за професійними назвами робіт класифікаційного угруповання «Менеджери (управителі) підприємств, установ, організацій та їх підрозділів» та інші, що характеризуються професійними спеціальними компетенціями відповідно до узагальненого об'єкта діяльності (керівники підприємств, установ і організацій; керівники малих підприємств, менеджери (управителі) підприємств, установ, організацій та їх підрозділів, викладачі; інші професіонали та фахівці) [3].

Висновок. Система вищої освіти є невід'ємною складовою розвитку суспільства і відіграє важливу роль у суспільному прогресі. Вона є універсальним інструментом вирішення багатьох проблем людини і суспільства, а саме: впливає на відновлення наукового потенціалу суспільства, бере участь у суспільному відтворенні та соціалізації особистості, стимулює економічний і соціальний розвиток суспільства та сприяє соціальній мобільності.

Освітня політика України ґрунтується на принципах демократизації та гуманізму, орієнтується на досягнення сучасних світових стандартів, відродження самобутнього національного характеру, докорінне вдосконалення змісту, форм і методів навчання, збільшення інтелектуального потенціалу країни.

ЛІТЕРАТУРА

1. Модернізація вищої освіти як виклик часу : бібліографічний анотований покажчик / уклад. О. В. Нестеренко. – Полтава : ПУЕТ, 2015. – 51 с.
2. Закон України «Про вищу освіту». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text>
3. Національний класифікатор України. Класифікатор професій ДК 003:2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va327609-10#Text>
4. Освітньо-професійна програма підготовки магістра «Менеджмент в галузі морського та річкового транспорту». URL: <http://www.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2020/09/Osvitno-profesijnaprograma-pidgotovky-magistra-Menedzhment-v-galuzi-morskogo-ta-richkovogo-transportu-.pdf>

УДК 378.014

НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ НУ «ОМА»

Ю. С. Медведєва, к.геогр.н., доцент,
В.В. Шепель, ст.викладач
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: розглянуті основні нормативно - правові документи НУ «ОМА» задля регулювання дотримання академічної доброчесності.

Ключові слова: освіта, заклад вищої освіти, академічна доброчесність, плагіат.

REGULATORY AND LEGAL FRAMEWORK OF ACADEMIC INTEGRITY NU "OMA"

I. S. Medvedieva, Ph. D. of Geographic Sciences, Associate Professor
V. V. Shepel, Senior Lecturer
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: the main regulatory and legal documents of NU "OMA" for the regulation of compliance with academic integrity were considered.

Key-words: education, institution of higher education, academic integrity, plagiarism.

Задля формування високої академічної культури в Україні система вищої освіти вимагає розроблення нових підходів до навчання та викладання. У зв'язку із введенням нового інституту академічної доброчесності в законодавство у сфері освіти в Україні, є актуальним дослідження особливостей правового регулювання академічної доброчесності. Адже запровадження академічної доброчесності як елемента системи освіти є новацією в освітньому процесі.

У 2017 році набрав чинності Закон України "Про освіту" від 05.09.2017 № 2145-VIII [1]. Даний закон регулює суспільні відносини, що виникають у процесі реалізації конституційного права людини на освіту, прав та обов'язків фізичних і юридичних осіб, які беруть участь у реалізації цього права, а також визначає компетенцію державних органів та органів місцевого самоврядування у сфері освіти. Новацією ЗУ "Про освіту" є запровадження єдиних для всіх рівнів освіти види порушень академічної доброчесності.

Згідно із ч. 1 ст. 42 ЗУ "Про освіту" академічна доброчесність – "це сукупність етичних принципів та визначених законом правил, якими мають керуватися учасники освітнього процесу під час навчання, викладання та провадження наукової (творчої) діяльності з метою забезпечення довіри до результатів навчання та/або наукових (творчих) досягнень" [1]. Крім того, стаття 42 Закону України "Про освіту" визначає особливості дотримання академічної доброчесності науково-педагогічними і науковими працівниками та здобувачами освіти; види академічної відповідальності науково-педагогічних і наукових працівників та здобувачів освіти; права осіб, стосовно яких порушено питання про порушення ними академічної доброчесності тощо.

У Закон України "Про вищу освіту" були внесені зміни відповідно до ЗУ "Про освіту". Було визначено зміст академічної доброчесності. Пункт 1 частини 1 статті 1 ЗУ "Про вищу освіту" визначає академічну доброчесність як "сукупність етичних принципів та визначених Законом України "Про освіту", цим Законом та іншими законами України правил, якими мають керуватися учасники освітнього процесу під час навчання, викладання та провадження наукової (творчої) діяльності з метою забезпечення довіри до результатів навчання та/або наукових (творчих) досягнень" [2].

Відповідно до частини 4 статті 42 ЗУ "Про освіту" порушенням академічної доброчесності вважається: академічний плагіат, самоплагіат, фабрикація, фальсифікація, списування, обман, хабарництво, необ'єктивне оцінювання.

Згідно із рекомендаціями Міністерства освіти і науки України, у внутрішню систему забезпечення якості було включено процедури та заходи для реалізації принципів академічної доброчесності. Національним університетом "Одеська морська академія" було розроблено відповідну нормативно-правову базу у сфері академічної доброчесності.

Основоположний документ, який регулює нормативно-правове закріплення терміну "академічна доброчесність" є Етичний кодекс Університетської спільноти Національного університету "Одеська морська академія", який був затверджений Протоколом № 6 на Конференції трудового колективу від 31 жовтня 2019 року. Відповідно до Розділу 2 "Етичні принципи" академічна доброчесність – "обстоювання чесності, справедливості, поваги, відповідальності, дотримання етичних принципів та визначених законом правил у 3 навчанні, викладанні, у науковій (творчій) діяльності для утвердження довіри до результатів навчання та/або наукових (творчих) досягнень, зокрема: чесності у викладанні та навчанні, у наукових дослідженнях, у пошуку істини, у здобуванні знань; довіри та сприяння вільному обмінові ідеями для створення можливостей кожному найповніше розкрити свій потенціал; об'єктивності в оцінюванні знань добувачів вищої освіти, у дослідницькій роботі, у науково-організаційній діяльності, пов'язаній з присудженням освітніх і наукових ступенів; самоповаги та поваги до людської гідності; поширення академічної доброчесності у викладанні, навчанні й дослідницькій діяльності; дотримання авторських прав та прав на інтелектуальну власність; неприпустимості практики плагіату в будь-якому вияві; відкритості результатів наукових досліджень" [4].

Наступним важливим документом є Рамковий кодекс академічної доброчесності Національного університету "Одеська морська академія". Кодекс був схвалений рішенням вченої ради Університету Протоколом № 6 від 31 січня 2019 року. Кодекс визначає загальні принципи, підходи та відповідальність за недоброчесну поведінку учасників освітнього та наукового процесів під час навчання, викладання, провадження методичної, наукової, організаційно-виховної та інших видів діяльності. Відповідно до пункту 2.1 Розділу 2 поняття академічної доброчесності є тотожним із тим, що зазначено в ЗУ "Про освіту", "Про вищу освіту" та Етичному кодексі НУ "ОМА".

Згідно із Рамковим кодексом академічної доброчесності НУ "ОМА" "Національний університет "Одеська морська академія" дотримується таких принципів професійної етики та академічної доброчесності: законності і верховенства права; свободи та людської гідності; патріотизму та служіння українському народові; професіоналізму та компетентності; чесності і порядності; справедливості і толерантності; партнерства і взаємодопомоги; поваги та взаємної довіри; відкритості і прозорості; колегіальності та демократичності; самостійності виконання здобувачем усіх навчальних робіт; самовдосконалення і саморозвитку; персональної відповідальності та роботи на результат; нетерпимості щодо недотримання правил і норм цього Кодексу" [3].

Дотримання академічної доброчесності педагогічними, науково-педагогічними та науковими працівниками передбачає: "посилання на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей; дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права; надання достовірної інформації про методики і результати досліджень, джерела використаної інформації та власну педагогічну (науково-педагогічну) діяльність; контроль за дотриманням академічної доброчесності здобувачами освіти; об'єктивне оцінювання результатів навчання. Дотримання академічної доброчесності здобувачами освіти передбачає: самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей); посилання на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей;- дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права; надання достовірної інформації про результати власної навчальної (наукової) діяльності, використанні методики досліджень і джерела інформації" [3]. З метою виконання норм цього Кодексу в Університеті створюється Комісія з питань академічної доброчесності, яка наділяється правом одержувати і розглядати заяви щодо порушення цього Кодексу та надавати пропозиції адміністрації Університету щодо накладання відповідних санкцій.

Складовою частиною системи забезпечення якості вищої освіти Національного університету "Одеська морська академія" є також Положення про запобігання академічного плагіату № 2-03-3, схваленого рішенням вченої ради Університету від 25 лютого 2021 року, протоколом № 7. Положенням визначаються заходи з упередження плагіату, організацію перевірки на наявність плагіату та відповідальність за порушення академічної доброчесності. Основою заходів з упередження плагіату в НУ "ОМА" є "дотримання принципів професійної етики педагогічними, науково-педагогічними та науковими працівниками університету та культури академічної доброчесності як здобувачами, так і працівниками НУ "ОМА" [5].

Висновки. Отже, в умовах трансформації системи вищої освіти дотримання принципів академічної доброчесності виступає неодмінною умовою сталого розвитку закладів вищої освіти. Нормативно-правове закріплення інституту

академічної доброчесності відображено у внутрішніх документах Університету таких як Етичний кодекс Університетської спільноти Національного університету "Одеська морська академія", Рамковий кодекс академічної доброчесності Національного університету "Одеська морська академія" та Положення про запобігання академічного плагіату № 2-03-3.

Від того, наскільки ефективно функціонуватиме інститут академічної доброчесності, залежить якість освіти, інноваційний розвиток освіти, самореалізація особистості, забезпечення потреб суспільства, держави та ринку праці, репутація закладів вищої освіти, рейтинг закладів вищої освіти, визнання дипломів закладів вищої освіти, конкурентоспроможність випускників закладів вищої освіти. Відтак академічна доброчесність має стати загальнообов'язковою нормою для здобувачів вищої освіти та спільноти закладів вищої освіти.

ЛІТЕРАТУРА

1. Про освіту: Закон України від 05.09.2017. *Офіційний Вісник України*. 2017. № 78. Стор. 7. Ст. 2392.
2. Про вищу освіту: Закон України від 01.07.2014. *Відомості Верховної Ради України*. 2014. № 37-38. Стор. 2716. Ст. 2004.
3. Рамковий кодекс академічної доброчесності Національного університету "Одеська морська академія" від 31.01.2019. URL: http://www.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2019/03/11.02.2019_Kontrprym-Ramkovyj-kodeks-akademichnoyi-dobrochesnosti.pdf (дата звернення: 10.04.2022).
4. Етичний кодекс Університетської спільноти Національного університету "Одеська морська академія" від 31.10.2019. URL: <http://www.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2020/09/Etycheskyj-kodeks-1.pdf> (дата звернення: 10.04.2022).
5. Про запобігання академічного плагіату № 2-03-3: Положення рішенням вченої ради Університету від 25.02.2021, Протокол № 7. URL: <http://www.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2017/03/Polozhennya-pro-zapobigannya-akademichnogo-plagiatu.pdf> (дата звернення: 15.04.2022).

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС

Рябцов О.В. Альтернативний спосіб транспортування електроенергії [Текст] / *О.В. Рябцов* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.8-10

Рябцов О.В. Оптична комутація сигналів в суднових інформаційних системах [Текст] / *О.В. Рябцов, Д.Д. Дмухайлов* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С. 10-13

Самонов С. Ф. Автоматизація контролю технічного стану суднових електрогідравлічних пристроїв [Текст] / *С. Ф. Самонов, В.О. Дубовик, А.А. Кульбацький, Г.В. Смазнова* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.14-17

Швидкий О.С. Валовий генератор-двигун з широтно-імпульсною модуляцією низької напруги [Текст] / *О.С. Швидкий, В.В. Бушер, Ду Сін* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.17-20

Самонов С.Ф. Явища ферорезонансу на об'єктах морської індустрії [Текст] / *С.Ф. Самонов, В.Б. Власов, В.О. Дубовик* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.21-23

Шестака А.І. Питання модернізації порталного крана порту Ізмаїл [Текст] / *А.І. Шестака, Л.В. Мельнікова* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.24-27

Попов В.Г. Застосування інтегральних рівнянь при математичному моделюванні теплового стану втулки циліндру суднового дизеля [Текст] / *В.Г. Попов* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.28-31

Кирилова О.І. Точний розв'язок задачі моделювання хвильових полів у скінченному пружному циліндрі [Текст] / *О.І. Кирилова, В.Г. Попов* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.32-35

Мішарін А.С. Вплив розміру тріщини, що виходить з жорсткого включення, на напружений стан навколо неї при гармонійному зсувному навантаженні [Текст] / *А.С. Мішарін, В.Г. Попов* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.36-39

Кривий О. Ф. Вплив зміни фазових координат руху судна на характеристики роботи гребного гвинта [Текст] / *О. Ф. Кривий, М.В. Міусов, М.О. Кривий* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.40-43

Кривий О.Ф. Математичне моделювання впливу структурних неоднорідностей на міцність зварних з'єднань [Текст] / *О.Ф. Кривий, Ю.О. Морозов*// Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.44-47

Налева Г.В. Побудова математичних моделей безконтактних електродвигунів суднових електроприводів на основі структурних схем [Текст] / *Г. В. Налева, О. А. Онищенко* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.48-52

Демидов О.В. Застосування модифікованого методу скінченних різниць за часом при математичному моделюванні нестационарних хвильових полів у скінченному циліндрі [Текст] / *О.В. Демидов, В.Г. Попов* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.53-56

Шишкін О.В. Виявлення підроблених повідомлень в автоматичній ідентифікаційній системі [Текст] / *О.В. Шишкін*// Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.57-60

Купровський В.І. Особливості використання суднової станції супутникового зв'язку SAILOR 250 FLEETBROADBAND у випадках лиха [Текст] / *В.І. Купровський* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.60-64

Пашенко О.Л. Особливості ретрансляції лиха в ГМЗЛБ [Текст] / *О.Л. Пашенко*// Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.64-66

Михайлов С.А. Methodology of testing and adjusting for computers information systems [Текст] / *С.А. Михайлов, О.М. Веретеннік, І.М. Кулешов, Н.С. Михайлов*// Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.67-75

Михайлов С.А. Вимоги до архітектури, програмного та апаратного забезпечення кіберзахисених суднових комп'ютерних мереж [Текст] / *С.А. Михайлов, Ю.С. Шевцов, О.О. Таранов*// Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.75-78

Михайлов С.А. Ієрархія цілей та мотивів кіберзлочинів на морському транспорті [Текст] / *С.А. Михайлов, Ю.С. Шевцов, В.В. Ходос, М.С. Баєв* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.79-81

Шевцов Ю.С. Суднові інформаційні автоматизовані системи, вразливі для кібератак [Текст] / *Ю.С. Шевцов, Н.С. Гах, М.С. Денисов, Д.Р. Андрієвський* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.81-84

Kharchenko R.Yu. Methods for automated research of dc voltage converters [Текст] / *R.Yu. Kharchenko, V.A. Zavadskiy, A. V. Kochetkov* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.85-89

Малявін І.П. Математична модель електричних процесів багатофазних імпульсних перетворювачів постійної напруги при граничних струмах дроселів силових каналів [Текст] / *І.П. Малявін* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.89-91

Баландін С. Удосконалення учбового макету та системи дистанційного керування причального контейнерного перевантажувача [Текст] / *С. Баландін, В.В. Бушер, Космас Здрозис* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.91-94

Бушер В.В. Узагальнене аналітичне рішення для методу балансування лінійної напруги в каскадних перетворювачах частоти [Текст] / *В.В. Бушер, Ду Синь, О.В. Глазева* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.95-100

Горб С.І. Вибір режимів перевантаження головного дизеля на судні із гвинтом, крок якого регульований [Текст] / *С.І. Горб, М.І. Будуров* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.101-107

Процевич П.З. Дослідження процесів у судновій системі регулювання рівня води у допоміжному котлі з нечітким регулятором. [Текст] / *П.З. Процевич, В.Ф. Миргород, І.М. Гвоздева* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.108-111

Процевич П.З. Дослідження процесів керованої зміни стану температури води у системі охолодження головного двигуна [Текст] / *П.З. Процевич, В.Ф. Миргород, І.М. Гвоздева* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.112-115

Михайленко В.С. Огляд методів адаптації в системах управління судновими об'єктами [Текст] / *В.С. Михайленко, В.В. Лещенко, С.О. Зеленюк* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.115-118

Дубовик В.О. Системний аналіз режимів роботи та стану головного двигуна з електронною системою управління за допомогою навантажувальної діаграми реального часу [Текст] / *В.О. Дубовик, С.А. Дудко, А.В. Бондаренко* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.118-124

Mukha M. On approach and principle of technical implementation of the ship electric power system monitoring parameters [Текст] / *M. Mukha, A. Drankova*// Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023 – С.124-131

Гвоздева І.М. Трендові статистичні моделі та їх комп'ютерна реалізація в суднових системах діагностики [Текст] / *І.М. Гвоздева, В.Ф. Миргород, І.В. Петков, В.А. Круц* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.132-136

Миргород В.Ф. Дослідження процесів у судновій системі регулювання тиску пари у допоміжному котлі засобами математичного моделювання [Текст] / *В.Ф. Миргород, І.М. Гвоздева, В.В. Рашков*// Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.136-140

Щербінін В.А. Аналіз підходів до вирішення проблеми демпфування крутильних коливань у суднових комбінованих енергетичних установках [Текст] / *В.А. Щербінін, І.М. Гвоздева* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.140-145

Удолатій В.Б. Огляд методів зниження токсичності газових викидів суднових енергетичних установок від оксидів сірки [Текст] / *В.Б. Удолатій* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.146-149

Будашко В.В. Використання примусової вентиляції подвійної дії в азимутальній гвинто-рульовій колонці на низьких швидкостях [Текст] / *В.В. Будашко, В.В. Нікольський, С.Г. Хнюнін, А.К. Сандлер*// Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.150-154

Сандлер А.К. Автоматизована система запобігання забруднення суднових утилізаційних котлів [Текст] / *А.К. Сандлер, Г.О. Кузнецова, О.В. Глазева* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.155-160

Данчук Д.П. Волоконна оптика в задачах технічного діагностування суднових компресорних машин [Текст] / *Д.П. Данчук, Г.Д. Доломанжи, А.К. Сандлер*// Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.160-164

Сандлер А.К. Засіб протидії перевантаженню електропривода стрічкового конвеєра [Текст] / *А.К. Сандлер, О.В. Дрозд* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.165-169

Опришко М.О. Застосування новітніх матеріалів для створення елементів комбінованих електроенергетичних установок з вітрорушієм [Текст] / *М.О. Опришко, О.Ю. Карпілов, А.К. Сандлер* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.169-173

Сандлер А.К. Автоматизований засіб підвищення безпеки суднових вантажних операцій [Текст] / *А.К. Сандлер, О.В. Дрозд* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.174-178

Фрізюк Є.І. Волоконно-оптичний засіб контролю властивостей вуглеводневих палив [Текст] / *Є.І. Фрізюк, Г.Д. Доломанжи, А.К. Сандлер* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.179-190

Медведєва Ю.С. Особливості підготовки магістрів за спеціальністю «Менеджмент в галузі морського та річкового транспорту в НУ «ОМА» [Текст] / *Ю.С. Медведєва, К.С. Коновалова* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.191-193

Медведєва Ю.С. Нормативно-правова база академічної доброчесності НУ «ОМА» [Текст] / *Ю.С. Медведєва, В.В. Шепель* // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.194-197

ДЛЯ НОТАТОК

Наукове видання

МАТЕРІАЛИ

**ХІІ Міжнародної науково-технічної конференції
"СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І АВТОМАТИКА"
22.11.2022 – 23.11.2022**

Комп'ютерна верстка: *О. В. Глазєва*

Підп. до друку 09.02.2023
Формат 60×84/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 11,90
Тираж 50 пр. Замовлення № И23-02-09

НУ «ОМА», центр «Видавінформ»
65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 7
Свідоцтво ДК № 1292 от 20.03.2003
e-mail: publish@onma.edu.ua
Телефони: +38(048) 793-24-50
+38(048) 793-24-51