

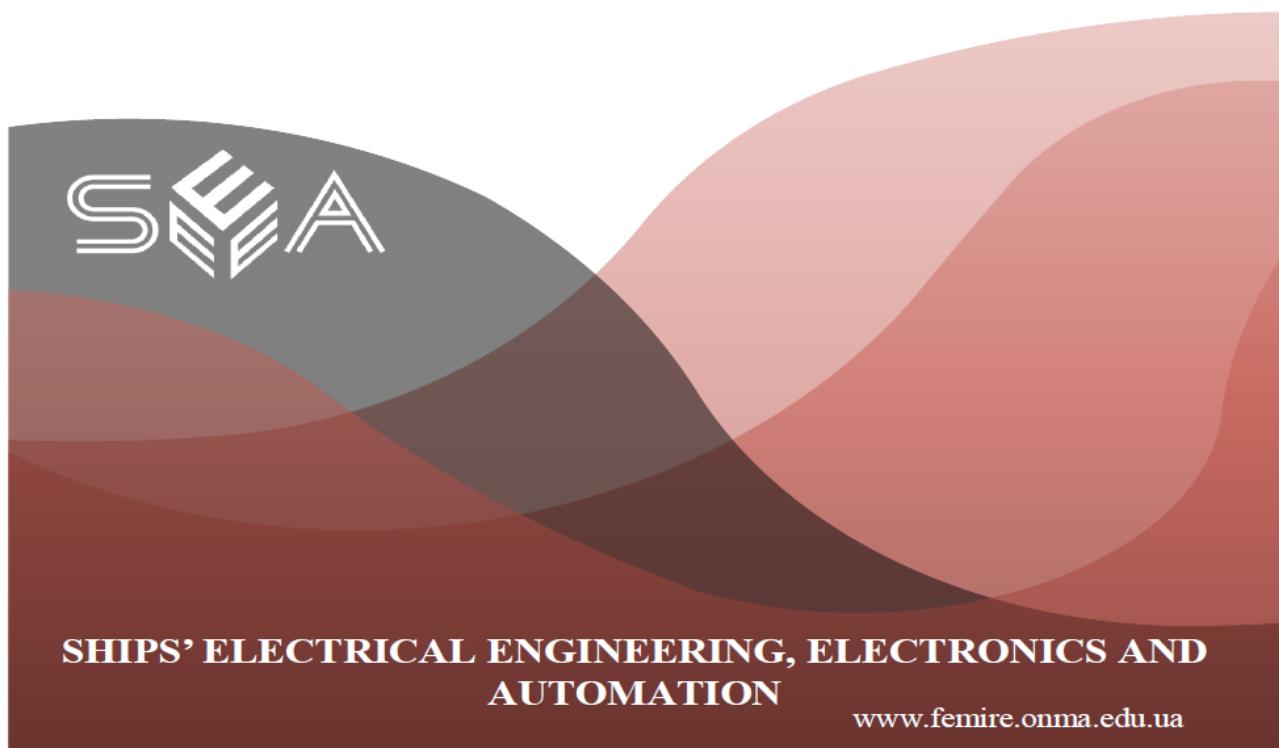
Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Одеська морська академія»
Одеське відділення Інституту морської техніки, науки і технологій Великобританії (IMarEST)
Морський інститут України (Nautical Institute of Ukraine).

МАТЕРІАЛИ

XI Міжнародної науково-технічної конференції

«СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І АВТОМАТИКА»

23.11.2021 – 24.11.2021



Одеса – 2021

Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції

Материалы XI Международной научно-технической конференции

Materials of the 11th international scientific and practical conference

**СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І
АВТОМАТИКА**

**СУДОВАЯ ЭЛЕКТРОИНЖЕНЕРИЯ, ЭЛЕКТРОНИКА И
АВТОМАТИКА**

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

SEEEA-2021

Збірка матеріалів конференції

**23-24 листопада
2021 року
Одеса, Україна**

**23-24 ноября
2021 года
Одесса, Украина**

**November 23-24
2021
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 (Польща);
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);

Михайлів С. А. – д.т.н., професор (Україна);
Гвоздєва 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 Шафік – к.т.н., (Сирія).

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова: **Міюсов М. В.** – ректор НУ «ОМА», д.т.н., професор.

Члени оргкомітету: **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.
Відповідальний секретар: **Глазєва О.В.** – заступник директора навчально-наукового інституту автоматики та електромеханіки.

У збірнику матеріалів конференції розміщено тези доповідей XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», що відбулась 23-24 листопада 2021 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», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – 238 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 O.B., Щербініn B.A., Пащенко O.O.</i>	8
Визначення коефіцієнту завантаження споживачів суднових електроенергетичних систем за допомогою сучасних ICS	
<i>Колебанов O. K., Лебеденко Ю.O.</i>	13
Дослідження системи автоматичного управління судновим краном типу «MACGREGOR»	
<i>Завадський B. A., Харченко P. Ю., Дранчук C. M., Глушико I. C.</i>	17
Прецизійний перетворювач «напруга – частота» для тензометричних датчиків суднового обладнання	
<i>Терновая T.I., Березовский A.C.</i>	21
Пути підвищення ефективності діагностики суднового електрооборудування.	
<i>Гаур T.O., Зарицька O.I., Резниченко I.P., Цацко B.I.</i>	24
Дослідження суднової системи охолодження із тензометричним витратоміром рідини	
<i>Дранчук C.M., Кулеба P.Ю., Цацко B.I.</i>	28
Порівняльний аналіз методів антіфоулінгу суден	
<i>A.O. Дранкова, Д.А. Горбунов</i>	32
Удосконалення контуру регулювання вприску нейтралізатора у системі очищення баластних вод танкеру водозміщенням 112000 тон	

Секція 2. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

<i>Ошмарін E.O., Гвоздєва I.M., Зеленюк C.O., Щербініn B.A., Тумольський O.P.</i>	36
Аналіз технологічних процесів подачі палива в судових двопаливних двигунах.	
<i>Самонов C.Ф., Дубовик B.O., Власов B.Б., Кульбацький A.A.</i>	39
Обґрунтування модернізації пропульсивної установки пасажирського судна водотонажністю 2000 тонн	
<i>Цибух A.O., Химчак M.C., Муха M.Й.</i>	43
Енергоефективне управління системою охолодження танкеру дедвейтом 112 тисяч тон	

Alla Drankova, Igor Krasovskyi	48
Influence of implementation of the exhaust gas purification system on the quality indicators of the ship power network	

Секція 3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Малявін І.П.	51
Математична модель електричних процесів багатофазних імпульсних перетворювачів постійної напруги при безрозривних струмах дроселів силових каналів	

Секція 4. СУЧASNІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, КОМПОНЕНТИ ТА ДІАГНОСТИКА

Вишневський Д.Л., Муха М.Й.	55
Експериментальні дослідження процесів стабілізації напруги асинхронного генератору	
Шестака А. І., Мельнікова Л. В.	57
Застосування сучасних драйверів щіткових двигунів постійного струму в електроприводах актуаторів	

Секція 5. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕлювання ПРОЦЕСІВ і ЯВИЩ В ЕЛЕМЕНТАХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Попов В.Г.	60
Математичне моделювання розподілу температури у втулці циліндра суднового двигуна	
Кривий О.Ф., Міюсов М. В.	64
Нові математичні моделі гідродинамічних сил на корпусі судна для довільних кутів дрейфу і кутової швидкості	
Попов В.Г., Кирилова О.І.	67
Математичне моделювання контактної взаємодії при коливаннях повзувального зсуву	
Кривий О. Ф., Морозов Ю.О.	72
Фундаментальний розривний розв'язок здачі тепlopровідності для неоднорідного трансверсально-ізотропного середовища	

<i>Кривий М. О., Сагін С. В.</i>	76
Вплив властивостей моторних мастил на розподіл тиску в парах ковзання суднових дизелів	
<i>Кривий М. О., Сагін С. В.</i>	79
Визначення максимального контактного тиску в парах ковзання суднових енергетичних установок	
<i>Карпович О. Я., Налєва Г. В., Онищенко О. А.</i>	83
Модель вентильно-індукторного електродвигуна у складі поршневого компресора холодильної установки.	
<i>Демидов О.В., Попов В.Г.</i>	87
Simulation of the dynamic stress state of a finite cylinder with a circular crack	
<i>Попов В.Г., Литвин О.В.</i>	91
Моделювання і дослідження впливу на напружений стан в умовах вібрації лінійних розмірів ланок триланкового включення	
<i>Орлова Н.Д.</i>	95
Можливість використання різних математичних моделей подрібнення рослинної сировини для практичних розрахунків	
<i>Рожков С.О., Кондрашов К.В., Тимофеєв К.В., Бутаков І.Б., Старов М.В.</i>	99
Математична модель системи діагностування в задачах автоматичного контролю	
<i>І.М. Гвоздєва, В.Ф. Миргород, С.В. Колесник, С.В. Корольчук</i>	103
Идентификация математической модели температурного режима судовых дизель-генераторных установок на основе генетических алгоритмов	
<i>В.Ф. Миргород, І.М. Гвоздєва, Д.В. Лутій, О. В. Мурзак</i>	109
Удосконалення характеристик суднових систем автоматичного регулювання за допомогою застосування FUZZY- регуляторів	

Секція 6. РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ ТА ЗВ'ЯЗОК

<i>Koshevyy V., Pashenko O.</i>	113
Periodic compound multiphase signals with an additional amplitude modulation based on the Chebyshev function	
<i>Koshevyy V.M., Shevchenko A.A.</i>	117
Output antenna signals normalization for weak targets selection	

Секція 7. ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА

<i>Михайлов С.А., Шевцов Ю. С., Сочинський Д.Р.</i>	120
Конфігурація системи кібербезпеки судна та бортового персоналу.	
<i>Mikhailov N.S.</i>	123
Cybersecurity procedures for marine computers systems	
<i>Молchanов А.О., Шевцов Ю. С., Харченко Р.Ю.</i>	126
Рекомендації класифікаційних товариств щодо створення комплексного підходу до кібер - ризиків	
<i>Михайлов С.А., Прядко В.А.</i>	130
Кібербезпека для військового-морських сил України	
<i>Mikhailov S., Rusak B.</i>	132
Measures for Protection and Detection of Cyber Security Threats	
<i>Шевченко К.Г., Михайлов С.А.</i>	135
Особенности переподготовки дипломированных-судоводителей в области информационной безопасности	
<i>Допіра М.В., Шевцов Ю.С.</i>	139
Проблеми зростання кібератак на морську індустрію	
<i>Шевцов Ю.С., Чуйко Я.І.</i>	141
Багаторангова стратегія захисту судна від кібератак	

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

<i>Захаров I., Бушер В. В., Ду Синь, Цзян Хайлун</i>	144
Моделювання каскадних перетворювачів частоти з векторним керуванням	
<i>Червяков С., Бушер В. В.</i>	151
Модернізація моделі перетворювача частоти з векторним керуванням для дослідження багаторівневих каскадних інверторів	

Секція 9. АВТОМАТИЗАЦІЯ СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

<i>Войтецький І.Є., Войтецька Т.О., Цуркан Т.В., Мамай В.М., Корольчук С.В.</i>	156
Дослідження процесів паливоспалювання при застосуванні різних структурних схем регулювання співвідношення паливо-повітря	
<i>Войтецький І.Є., Козирєв І.П., Лутій Д.В., Мурзак О.В.</i>	159
Дослідження динаміки зміни рівня води в барабані котла при різних способах регулювання	

<i>Михайленко В.С., Лещенко В.В., Тумольський О.П.</i>	161
Аналіз методів ідентифікації систем автоматичного управління судновими паровими котлами	
<i>Соловйов І.І.</i>	165
Використання автоматизованих робототехнічних систем до пошуку вибухонебезпечних предметів у водному середовищі	
<i>Сандлер А.К.</i>	169
Автоматизований засіб підвищення безпеки морських поромних перевезень	
<i>Шевченко В.А., Теплов Ю.І., Романов А.М., Хілков Г.Б., Пєтков І.В.</i>	174
Автоматизація управління деякими процесами суднових генераторних агрегатів	
<i>Ожсенко Є.М., О.В. Іванов, О.Ю. Лісніченко, Д.Л. Поштару, Б.Д. Бегіашвілі, Д.В. Філіпчук, А.С. Яворський</i>	185
Шляхи розвитку автономного судноплавства	
<i>Сандлер А.К., Макарчук Є.В.</i>	190
Схемотехнічне рішення високотемпературного датчику тиску	

Секція 10. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

<i>Дрозд О. В.</i>	195
Захист механізму підйому вантажного крану	
<i>Кар'янський С.А.</i>	199
Передумови удосконалення системи менеджменту якості експлуатації суден	
<i>Рак О.М., Глазєва О.В., Шабля О.М., Дудко С.А., Бак А.Ю.</i>	203
По слідах надзвичайних ситуацій, або про небезпеку використання ламп розжарювання в трюмах морських суден	
<i>Будашко В. В. , Сандлер А. К., Шевченко В. А.</i>	211
Імовірнісний підхід вирішення задач діагностування технічного стану високотехнологічних суднових установок	

Секція 11. ОСВІТНІ ТА ПРОФЕСІЙНІ СТАНДАРТИ

<i>Медведєва Ю. С., Курдюкова А.О.</i>	227
Зовнішнє забезпечення якості вищої освіти. Акредитація освітньої програми підготовки Магістрів спеціальності 081 Право	
<i>А. С. Кушнірук, В. С. Грищенко</i>	229
Інструменти MICROSOFT 365: загальний опис	

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС 232

Секція 1. СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

УДК 62-97-98

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЕНТУ ЗАВАНТАЖЕННЯ СПОЖИВАЧІВ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧASNІХ ICS

О.В. Рябцов, к.т.н., доцент
В.А. Щербинин, ст. викладач
О.О. Пащенко, студент

Національний університет «Одесська морська академія»

Анотація: у роботі розглянуто питання оцінки ефективності роботи потужного електропоживача суднової електроенергетичної системи з допомогою засобів сучасних інтегрованих комп'ютерних систем на прикладі визначення коефіцієнта завантаження носового підряда.

Ключові слова: Ефективність САЕС, коефіцієнт завантаження, носове кермо

DETERMINATION OF LOAD RATES OF SHIP'S ELECTRICAL CONSUMERS BY MEANS OF MODERN ICS

A. Ryabtsov, Ph.D, Associate Professor

V. Scherbinin, Senior Lecturer

A. Paschenko, student

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The article considers the issue of assessment the efficiency of a powerful electric consumer of a ship's electric power system by means of modern integrated computer systems using the example of determining the load factor of the bow thruster.

Key words: SAEEC efficiency, load factor, bow thruster

Вирішення проблеми глобальної зміни клімату нерозривно пов'язано з підвищеннем ефективності використання вуглеводневих ресурсів планети. На морському транспорті стає неприпустимим низько ефективне використання таких невідновлюваних енергоресурсів, як нафтопродукти, і особливо дизельне паливо. За існуючих тенденцій зростання розмірів та енергоозброєності судів стає особливо актуальним завдання контролю ефективності роботи суднових автоматизованих енергетичних систем (САЕС).

Ефективність САЕС може оцінюватися з урахуванням безлічі як прямих, так і непрямих, економічних, технічних і експлуатаційних показників. Зазвичай оцінка ефективності проводиться з урахуванням конкретного завдання. У даному випадку розглядається вплив коефіцієнта завантаження потужних електропоживачів судна на загальну ефективність САЭС.

Як відомо, за для підвищення керованості судна, особливо у складних штормових умовах, найкращим варіантом все ще вважається застосування пропульсивних рушіїв з найбільшою для даного судна потужністю. Однак ця тенденція, що історично склалася, зараз вступає в протиріччя з сучасними вимога-

ми всілякого зниження витрат на транспортування вантажів і різкого зменшення викидів результатів згоряння палива в атмосферу. У таких умовах коефіцієнт завантаження суднового устаткування стає чинником, що дозволяє оперативно керувати економічнотою ефективністю використання судна.

У недалекому минулому оцінку ефективності використання суднових електроспоживачів на флоті вирішували спеціальні державні організації, які займалися збиранням та обробкою статистичної інформації, пов'язаної з експлуатацією суден. Коефіцієнт завантаження електроустаткування входив до переліку параметрів САЕЕС, які підлягають безперервному контролю та оптимізації. Проте останніми роками така аналітична робота у централізованому порядку на флоті практично не ведеться. Кожна судноплавна компанія змушенана проводити цю роботу самостійно, при необхідності і в межах власного бюджету, у зв'язку з чим завдання залучення кожного члена суднового екіпажу до раціонального використання всіх видів енергії, що виробляється на судні, стає важливою економічною складовою роботи екіпажу. Вміння визначати та оптимізувати основні параметри САЕЕС шляхом обробки статистичних даних, отриманих у процесі роботи судна, має стати необхідною навичкою командного складу на рівні управління. У цій роботі пропонується методика визначення коефіцієнтів завантаження K_3 потужних споживачів САЕЕС за даними, отриманими за допомогою сучасних суднових інтегрованих комп'ютерних систем (ICS) у процесі реальної експлуатації судна. Як приклад обраний носовий підруль (Bow Thruster) у режимі маневрування судна при підході до причалу.

Коефіцієнт завантаження підруля доцільно визначати лише з інтервалі часу, у якому судно здійснює маневрування, оскільки у інший час підруль не використовується. Застосовувана в минулому методика визначення K_3 була пов'язана з чималим обсягом обчислень, у зв'язку з чим використовувалася досить рідко. Проте коефіцієнт завантаження підрулів є одним з найважливіших показників, які визначають режим роботи САЭЭС у режимі маневрування, оскільки від нього, переважно, залежить потужність, споживана від суднової електростанції. Позиція судна насамперед визначалася вручну за допомогою традиційних навігаційних приладів, і відзначалася на карті так само вручну. Зазвичай, позиція судна фіксувалася з 5-хвилинним інтервалом, що знижувало точність.

Зафікований на карті маршрут проходження судна від початку маневру-

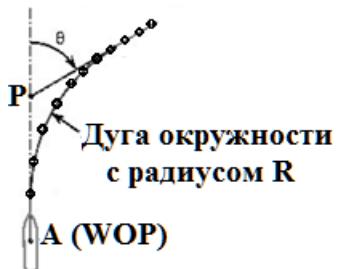


Рисунок 1 - Ділянка траєкторії руху судна

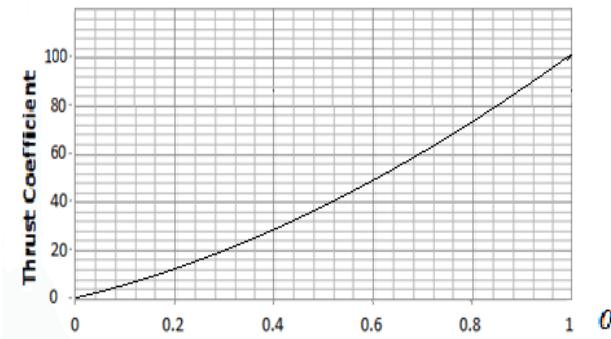


Рисунок 2 - Діаграма навантаження носового підруля

вання (при вході в акваторію порту) до моменту причалювання розбивався на одиничні інтервали часу. На рис. 1 представлена ділянка траєкторії руху судна до причалу, на якому відліки часу проходження кожної ділянки умовно представлені у вигляді крапок. Відстань між точками відповідає одиничним розрахунковим інтервалам (наприклад, 5 хв.), воно зменшується, оскільки судно уповільнює перебіг у процесі підходу до причалу. Траєкторія руху судна умовно розбивалася на кілька ділянок, причому одні ділянки приймалися за прямолінійні, а інші, на яких судно здійснювало зміну курсу чи розворот, характеризувались різними радіусами циркуляції судна та, відповідно, різним коефіцієнтом завантаження підруля. Вочевидь, що радіус повороту судна визначається, переважно, кутом розвороту лопатей гвинта підруля (у разі застосування ВРШ), чи швидкістю обертання гвинта (у разі ВПШ). На рис.2 наведена умовна діаграма навантаження підруля, що показує залежність між кутом повороту лопатей (від 0 до 1 в умовних одиницях) і крутним моментом сили (Torque), пропорційному миттєвій потужності, що споживається підрулем від САЕС при цьому положенні лопатей.

Як відомо з теорії судна, тяга підруля і його момент, що крутить, визначаються виразами [1,2]:

$$T = C_T \frac{1}{2} \rho V_r^2 \frac{\pi}{4} D^2 \quad [kN] \quad (1)$$

$$Q = C_Q \frac{1}{2} \rho V_r^2 \frac{\pi}{4} D^3 \quad [kNm] \quad (2)$$

де: ρ - щільність води [$\text{т}/\text{м}^3$]; V_r - вхідна швидкість [$\text{м}/\text{с}$]; V_a - швидкість просування [$\text{м} / \text{с}$]; n - частота обертання гвинта підруля [с^{-1}]; D - діаметр гвинта [м].

При цьому вхідна швидкість V_r визначається як:

$$V_r = \sqrt{V_a^2 + (0,7\pi n D)^2} \quad (3)$$

Тоді електрична потужність, що споживається підрулем від СЕЕС, визначатиметься його крутним моментом:

$$P_{\text{ел}} = 2\pi Q n \quad (4)$$

Для тунельних підрулюючих пристройів у розрахунках слід враховувати конструктивну асиметрію. Через наявність гребного гвинта всередині тунелю максимальна тяга з одного боку судна відрізняється від іншого. Щоб врахувати цю асиметрію, слід визначити, з якого боку тунельний підрулюючий пристрій передає максимальну тягу. Після визначення поточного значення споживаної потужності $P_{\text{ел}}$ на окремо взятому часовому інтервалі обчислювався миттєвий коефіцієнт завантаження K_{zi} як відношення миттєвої потужності, фактично споживаної обладнанням в даному режимі, до його номінальної потужності $P_{\text{ном}}$, тобто:

$$K_{zi} = P_{\text{ел}i} / P_{\text{ел nom}} \quad (5)$$

Оскільки коефіцієнт завантаження електрообладнання у процесі роботи змінюється, тож K_{3i} підруля має різне значення на ділянках повороту з різними радіусами, у цьому разі необхідно обчислити його усереднене значення за повний час проходження всього маршруту судна за формулою:

$$K_3 = \sum K_{3i} / N \quad (6)$$

де $i = 0 \dots N$; N – загальна кількість ділянок маршруту.

Отримана інформація про значення коефіцієнта завантаження електрообладнання, окрім оперативного управління споживанням палива, дозволяє правильно розподілити наявний резерв потужності СЕЕС, і тим самим підвищити її експлуатаційну надійність та загальну безпеку судна. Використання на судах сучасних інтегрованих комп'ютерних систем дозволяє спростити та автоматизувати процес визначення параметрів потужних споживачів САЕЕС.

В даний час позиція судна зчитується за допомогою GPS, траєкторія маневру зчитується з екрану ARPA-радару або відображається на екрані монітора ECDIS, див. мал.3. Використання сучасних комп'ютеризованих навігаційних приладів суттєво спрощує процес реєстрації та подальші обчислення. Електронні карти, наприклад, ECDIS «NS4000», не тільки відображають маршрут руху судна на екрані, але і можуть зберігати його в пам'яті системи у форматі даних, зручному для подальшої обробки.

Основним режимом роботи ECDIS є виконавча прокладка. Вона включає вирішення наступних завдань:

- прийом та обробку даних від навігаційних систем та зовнішніх пристріїв;
- безперервне відображення символу судна та параметрів його руху на електронній карті;
- реєстрацію та зберігання інформації про поточні навігаційні параметри та обставини плавання;
- та ряд інших

ECDIS дозволяє будувати маршрут проходження судна одним з наступних способів:

- графічним (з використанням вбудованого редактора),
- табличним (з використанням стандартної процедури Passage Plan),
- методом послідовного перенесення точок повороту судна з паперової карти (за допомогою дигітайзера, або завантаженням у пам'ять комп'ютера файлів з даними по каналах суднового зв'язку).

ECDIS автоматично здійснюють інформаційну підтримку при маневруванні, фіксуючи траєкторії маневрів, а також автоматично визначаючи такі параметри руху судна, як: CTW - курс судна після повороту; Radius – радіус повороту судна; Length – довжину лінії очікуваного руху судна; Delay – відстань від місця судна до точки WOP початку виконання маневру; Fdist - дистанцію від WOP

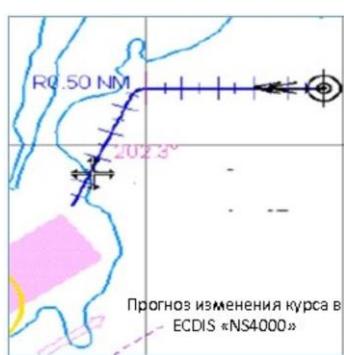


Рисунок 3 - Ділянка траєкторії руху судна на екрані ECDIS

- www.femire.onma.edu.ua

до початку руху по колу; та інши. Отримані значення зберігаються у пам'яті для подальшої обробки.

Для обробки отриманих результатів можливе використання спеціалізованих програмних пакетів (наприклад, SPSS), так і вбудовані аналітичні опції суднових ICS-систем, зокрема опції для обчислення параметрів ефективності системи (KPI - Key Performance Index).

Залежно від розмірів та конструктивних особливостей сучасних суден максимальна потужність всіх підроюючих пристройів може досягати до 30 МВт, наприклад, у випадку серії бурових кораблів Volaris DS. За для енергоефективного та найбільш точного керування електродвигуном підроюючого пристрою дедалі частіше використовують частотні перетворювачі, які дозволяють досягти максимально раціонального використання згенерованої електроенергії.

У сучасну суднову ICS зазвичай інтегровані тисячі сенсорів які у реальному часі читують експлуатаційні данні з пристройів та механізмів, та виводять їх на панель контролю чи екран керуючої SCADA системи, яка дозволяє провести професіональний аналіз отриманих даних, обчислити показники, побудувати графіки параметрів та отримати рекомендації, що до енергоефективного використання суднового електрообладнання.

На рис. 4 та 5 приведені зразки реальних даних, сполучених з експлуатацією підроюючих пристройів під час роботи багатоцільового судна при штормовій погоді. Рис. 4 показує графіки миттєвих значень потужності, які споживають чотири суднових підроюля, а на рис.5 - графіки сумарної згенерованої електричної потужності САЕЕС.

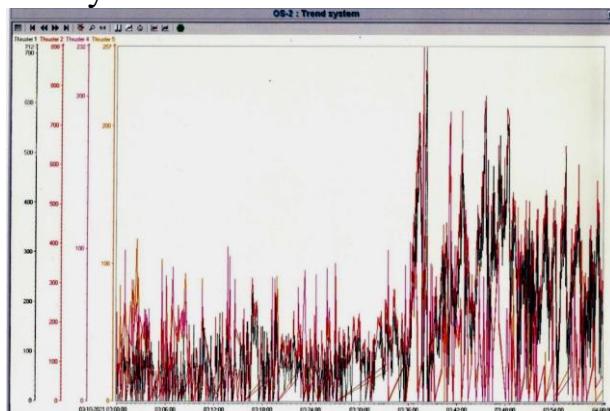


Рисунок 4 - Графіки миттєвого значення потужності (у кВт), яка споживається підроюючими пристроями на протязі однієї години

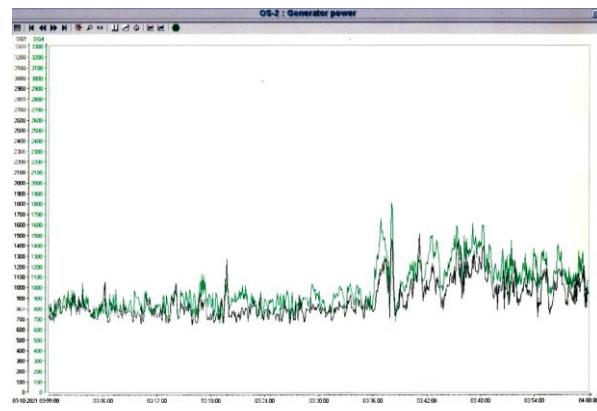


Рисунок 5 - Графік згенерованої електричної потужності САЕЕС за ту ж годину (кВА)

Загальна кількість підроюючих пристройів — 5. Максимальна потужність рівняється: 1-1800 кВт, 2 та 3 — 2150 кВт, 4 та 5- 1425 кВт. Криві навантаження відражают, що споживання електроенергії максимально раціональне. Інтегрована керуюча система розраховує штовхаючий момент підроюля, який необхідно прикласти для протидії погодним умовам, а разом з системою частотного керування електромоторів та системою гідравліки з пропорційним керуванням кута гвинта можна досягти максимально ефективного споживання електроенергії.

Висновки. Методика визначення коефіцієнта завантаження потужних споживачів СЕЕС за допомогою сучасних засобів збирання та обробки інформації в суднових ICS дозволяє підвищити точність та значно знизити трудомісткість обробки статистичних даних у порівнянні з ручним методом, дозволяє оцінити ефективність використання СЕЕС, знизити витрати палива та зменшити забруднення навколошнього середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. <https://wiki.marin.nl>
2. Nieuw U. Analysis of thruster effectivity for low speed maneuvering. - Delft, 1992.
3. <https://present5.com/tema-ispolnitelnaya-prokladka-v-ecdis-1-2-3/>

УДК 621.313.12

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ СУДНОВИМ КРАНОМ ТИПУ «MACGREGOR»

О.К. Колебанов, к.т.н., доцент,
Херсонська державна морська академія
Ю.О. Лебеденко, к.т.н., доцент,
Херсонський національний технічний університет

Анотація: Для приводу механізмів суднових кранів балкерів широке поширення набули електрогідравлічні приводи, в яких навантаженням двигуна зазвичай є аксиально-плунжерна гідромашинна. Метою дослідження є розробка комп’ютерної моделі гідроелектропривода суднового крану типу «Mac Gregor», що дозволить виконувати аналіз процесів в об’єкті керування та визначати ступінь впливу параметрів налаштувань на динамічні та точностні характеристики системи керування. Дві підсистеми зміни вильоту стріли і повороту разом з іншими входять в загальну гідравлічну систему суднового крана і мають деякі загальні елементи, такі як насос і гідробак, однак для спрощення опisu, створення і налагодження Simulink-моделей розглянуті як дві окремі гідросхеми.

Поєднавши два зазначені блоки паралельно, отримано модель трипозиційного гідророзподільника зі зливом рідини в бак в нейтральному положенні.

Ключові слова: суднові крани, гідроелектропривід, гідравлічна система, гідророзподільник, комп’ютерна модель.

INVESTIGATION OF MACGREGOR VESSEL CRANE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

O. Kolebanov, Ph.D., Associate Professor,
Kherson State Maritime Academy
Yu. Lebedenko, Ph.D., Associate Professor,
Kherson National Technical University

Abstract: Electro-hydraulic drives, in which the motor load is usually an axial-plunger hydraulic machine, have become widespread for the drive mechanisms of ship cranes. The aim of the research is to develop a computer model of the hydroelectric drive of the ship crane type "Mac Gregor", which will analyze the processes in the control object and determine the degree of influence of the settings on the dynamic and accurate characteristics of the control system. Two subsystems of change of boom departure and turn together with others are included in the general hydraulic system of the ship crane and have some general elements,

such as the pump and a hydraulic tank, however for simplification of the description, creation and adjustment of Simulink-models are considered as two separate hydraulic schemes.

Combining these two units in parallel, we obtained a model of a three-position valve with draining the liquid into the tank in the neutral position.

Keywords: ship cranes, hydroelectric drive, hydraulic system, hydraulic distributor, computer model.

Вступ. На сучасних суднах, зокрема контейнеровозах та балкерах, часто передбачається самостійне вивантаження за допомогою кранів, встановлених на палубу корабля. Суднові крани призначені для підйому, спуску або переміщення контейнерів, сипучих та інших вантажів, зокрема предметів постачання і продовольства [1]. Перевага кранів полягає в можливості негайногого, якщо це необхідно, проведення робіт. Наприклад, головною особливістю балкерів одного з найпоширеніших нині типів Handymax є власні крани, вантажопідйомністю в середньому 30 тон, що дозволяють їм здійснювати вантажні роботи дешевше і в портах, де не передбачені вантажні засоби для завантаження / розвантаження балкерів. Ці пристрой надають балкер такого типу велику гнучкість, дозволяючи вибирати для вантажних робіт практично будь-який порт, а іноді і на рейді порту. Для приводу механізмів суднових кранів широке поширення набули електрогідралічні приводи, в яких навантаженням двигуна зазвичай є аксиально-плунжерна гідромашинна.

Аксіально-плунжерна гідромашинна палубного крана має зростаючу механічну характеристику, або характеристику з вентиляторним моментом [2]. Чез те, що при малих значеннях швидкості момент опору навантаження гідромашини значно менше номінального, її пуск може бути виконано на знижений напрузі живлення електричного двигуна [3].

Таким чином, на ефективність процесів керування переміщенням вантажу, на динамічні і точностні характеристики суднового крана впливає не тільки система керування електричним приводом, а, насамперед, налаштування гідралічної підсистеми, що викликає певні складнощі при експлуатації.

Метою досліджень є розробка комп’ютерної моделі гідроелектропривода суднового крану типу «Mac Gregor», що дозволить виконувати аналіз процесів в об’єкті керування та визначати ступінь впливу параметрів налаштувань на динамічні та точностні характеристики системи керування.

Основна частина. Гідралічний привід сучасних суднових вантажних пристрой досить складний, і моделювання всього приводу в повному обсязі потребує значних зусиль і витрат часу, тому для навчальних цілей в якості прикладу розглянемо окремі частини від повної схеми приводу, призначені для виконання окремих функцій.

Розглянемо гідропривід суднового крана типу «Mac Gregor» [4]. Принципова гідралічна схема цієї машини створена на основі двох основних типових схем, а саме: схеми поступального руху, в якій вихідним елементом є гідроциліндр (підсистеми зміни вильоту стріли та повороту платформи) (рис. 1), і схеми обертального руху, в якій вихідним елементом є гідромотор (підсистема підйому-опускання вантажної лебідки).

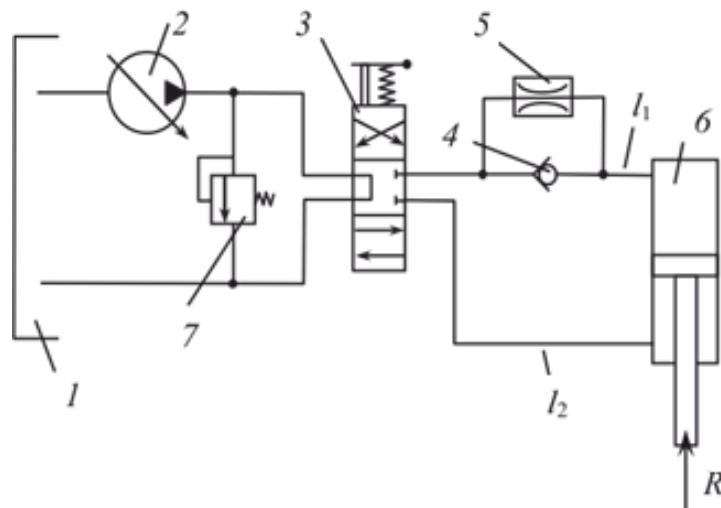


Рисунок 1 – Принципова спрощена гідросхема підйому-опускання стрілі суднового крана

Механізми зміни вильоту стріли за умовами роботи близькі до механізмів повороту. Обмеження розгойдування вантажу також необхідно, як і для механізму повороту. Тому вимоги до швидкісних характеристик механізмів зміни вильоту стріли і повороту аналогічні.

Ці дві підсистеми разом з іншими входять в загальну гіdraulічну систему суднового крана і мають деякі загальні елементи, такі як насос і гідробак, однак для спрощення опису, створення і налагодження Simulink-моделей розглянемо їх як дві окремі гідросхеми. В подальшому ці дві Simulink-моделі можуть бути об'єднані [5].

Simulink-модель гідроприводу підйому-опускання стріли суднового крана (рис. 2) була створена у вигляді підсистеми, що має входи і виходи для взаємодії з підсистемами більш високого рівня в загальній Simulink моделі суднового крана, аналогічно докладно описаній в [6].

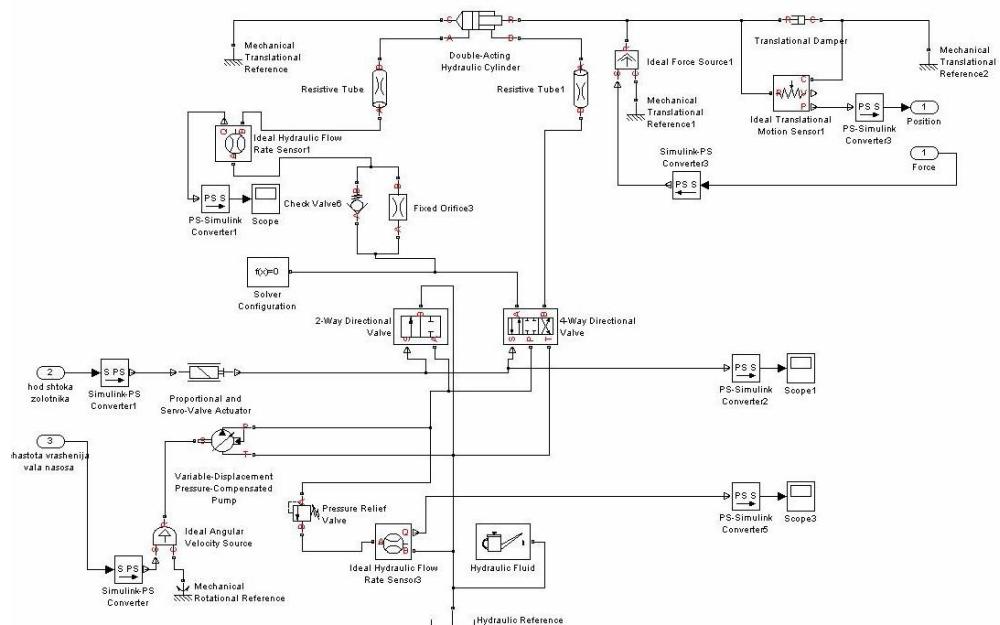


Рисунок 2 – Simulink-модель гідроприводу підйому-опускання стріли суднового крана

В якості вхідних інформаційних параметрів підсистеми гідроприводу виступають: зусилля на штоку гідроциліндра з боку стріли «Force» (вхідний порт 1); ідеальний закон переміщення штока золотника гідророзподільника «hod shtoka zolotnika» (вхідний порт 2); частота обертання валу приводу гідронасоса, що визначається величиною оборотів двигуна суднового крана «chastota vrashenija vala nasosa» (вхідний порт 3). Вихідним параметром є переміщення штока гідроциліндра «Position» (вихідний порт 1).

Структура наведеної на рис. 2 моделі підсистеми гідроприводу обумовлена такими міркуваннями: для моделювання трипозиційного гідророзподільника зі зливом рідини в бак в нейтральному положенні, готовий блок якого відсутній в бібліотеці «SimHydraulics», були використані два наявних стандартних блоку гідророзподільників «2-Way Directional Valve» і «4-Way Directional Valve». Порівнявши два зазначені блоки паралельно, отримано модель трипозиційного гідророзподільника зі зливом рідини в бак в нейтральному положенні. При цьому необхідно, щоб гіdraulічні характеристики золотників двох гідророзподільників були узгоджені між собою. Тобто, коли в нейтральному положенні гіdraulічні канали блоку 4-Way Directional Valve замкнені (золотник закритий, розмір щілини нульовий), в цей же час канали блоку 2-Way Directional Valve повинні бути з'єднані (золотник відкритий, рідина йде на злив).

Розглянемо взаємодію підсистеми гідроприводу циліндра з підсистемою більш високого ієрархічного рівня - підсистемою стріли суднового крана.

Параметр на виході підсистеми гідроприводу – переміщення штока гідроциліндра «Position» – повинен бути перетворений в кут підйому стріли q_8 (точніше, в його «рівноважний» значення, навколо якого відбуваються коливання фактичного значення кута підйому стріли з урахуванням пружності її конструкції). Це перетворення виконується за формулою:

$$q_8 = \varphi - \varphi_0 = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot a \cdot b}\right) - \varphi_0, \quad (1)$$

де $\varphi_0 = \text{const}$; $a = \text{const}$; $b = \text{const}$; $c = \text{Position} + 2,5 \text{ м}$ – довжина гідроциліндра.

Надалі в підсистему гідроприводу повинні передаватися значення: частоти обертання валу насоса «chastota vrashenija vala nasosa» (в даній моделі приймає постійне значення), ідеального закону переміщення штока золотника, відкриває і закриває подачу гідрорідини «hod shtoka zolotnika» і зусилля на штоку гідроциліндра Force [7].

Висновки. Розроблена комп’ютерна модель гідроелектроприводу судного крана типу Mac Gregor дозволяє проводити дослідження процесів, що виникають при експлуатації систем керування судновими палубними кранами, проводити аналіз ступеня впливу параметрів налаштувань на точності та динамічні властивості системи керування гідроелектроприводом. Все це дозволить значно скоротити час на проведення технічного обслуговування, налагоджувальних робіт та діагностики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Топалов В.П. Забезпечення безпечної експлуатації контейнеровозів / В.П. Топалов, В.Г. Торский – 2-е видання, Одеса, 2002. – 224с.
2. Лепешкин А.В. Гидравлика и гидропневмопривод: Учебник, ч.2. Гидравлические машины и гидропневмопривод. / А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин, А.А. Шейпак. Под ред. А. А. Шейпака. – М.: МГИУ, 2003. – 352 с.
3. Головин Ю. К. Судовые электрические приводы. Учебник / Ю.К. Головин – М. : Транспорт, 1991. – 328 с.
4. Deck Crane MacGregor GLH45016/MLC/20030-3. Instructiom Manual. 2012 – 690 pp.
5. Руппель А.А. Моделирование гидравлических систем в MATLAB: учебное пособие. / А.А. Руппель, А.А. Сагандыков, М.С. Корытов – Омск: СибАДИ, 2009. – 172с.
6. Щербаков В.С. Моделирование и визуализация движений механических систем в MATLAB: учебное пособие / В.С. Щербаков, М. С. Корытов, А.А. Руппель, В.А. Глущец, С.А. Милющенко – Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. – 83 с.
7. Лазарев Ю.Ф. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс / Ю. Ф. Лазарев – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2005. – 512 с.

УДК 629.5.064.5

**ПРЕЦІЗІЙНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ «НАПРУГА – ЧАСТОТА» ДЛЯ
ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ДАТЧІКІВ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ****В. А. Завадський**, к.т.н., професор**Р. Ю. Харченко**, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

С. М. Дранчук, к.т.н., доцент**I. С. Глушко**, студент

Одеський національний морський університет

Анотація: В роботі виготовлено прецизійний перетворювач «напруга – частота» для тензометричних датчиків суднового обладнання синхронного типу, який має задовільні характеристики та значну завадозахищеність, що дозволяє використовувати його для вимірювання механічних напруженостей у корпусі судна або при завантаженні суден за допомогою конвеєрних ваг.

Ключові слова: тензорезистивні датчики, частота, перетворювач, передаточна характеристика.

**PRECISION "VOLTAGE-FREQUENCY" CONVERTER FOR STRAIN GAUGES FOR
MARINE EQUIPMENT****V. Zavadsky**, Ph.D, Professor**R. Kharchenko**, Ph.D, Associate Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

S. Dranchuk, Ph.D, Associate Professor**I. Glushko**, student

Odessa National Maritime University

Abstract: We have manufactured a precision voltage-frequency converter for strain gauges of synchronous ship equipment, which has satisfactory characteristics and significant noise immunity, which makes it possible to use it to measure mechanical stresses in a ship's hull or when loading ships using conveyor scales.

Key-words: strain gauges, frequency, transducer, transfer characteristic.

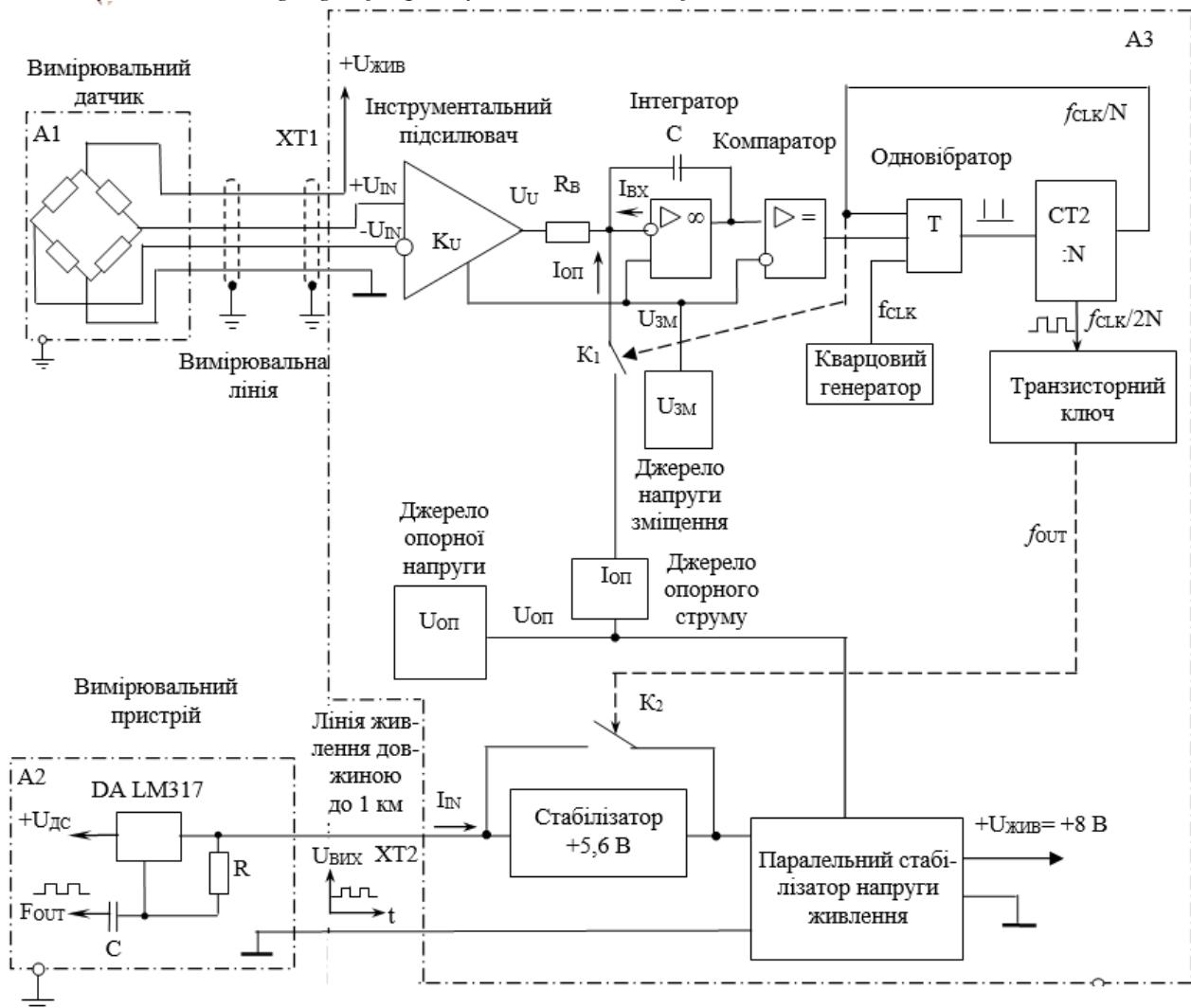


Рисунок 1 – Структурна схема прецизійного перетворювача «напруга – частота»

В даний час в електрообладнанні поширено використовують тензометричні датчики: для вимірювання механічних навантажень на корпус суден [1]. Це важливо при завантаженні суден сипучими матеріалами за допомогою конвеєрних ваг [2], для визначення тиску рідини у трубопроводах [3] та ін.

Вихідний сигнал таких датчиків досить малий, що потребує спеціальних методів для підвищення завадозахищеності вихідного сигналу. Використання перетворювачів аналогового вихідного сигналу від тензометричних датчиків у частотний сигнал типу «меандр», які встановлюються безпосередньо поблизу тензометричного датчика, дозволяє передавати сигнал від датчиків на значні відстані (до 1000 м) без перекручень сигналу у вимірювальній пристрій. У цьому пристрої заміряється частота сигналу, яка пропорційна вихідному сигналу тензометричного датчика. Така частота може бути заміряна достатньо точно відомими методами вимірювання частоти [4]. Якщо частота сигналу не перевищує 1 МГц, то спеціальні вимоги для кабелю передачі частотного сигналу відсутні. Крім того, якщо для живлення блоку перетворення вихідного аналогового сигналу датчика в частоту використовувати джерело струму, то пошко-

дження лінії не викликає пошкодження вимірювального пристрою. У цьому випадку можливо сумістити канал живлення та канал передачі інформаційного частотного сигналу, тобто використовувати тільки два дроти [5].

Усі перетворювачі «напруга – частота» підрозділяються на несинхронні та синхронні. Перші дешевші, але мають малу сталість та гірші характеристики. Другі більш складні, але мають більш поліпшенні характеристики [6].

Метою дослідження даної роботи є розробка блоку синхронного перетворення аналогового сигналу тензорезистивного датчика в частотний сигнал типу меандр.

Структурна схема блоку перетворювача «напруга – частота» наведена на рисунку 1. Блок перетворювача «напруга – частота» А3 складається з наступних вузлів:

1. Інструментального підсилювача, призначення якого підсилити вихідний сигнал вимірювального датчика до рівня напруги, який достатній для роботи перетворювача «напруга – частота».

2. Вузла квазісинхронного перетворювача «напруга – частота», який складається з інтегратора, компаратора, одновібратора, двійкового лічильника, кварцового генератора опорної частоти, керуемого перемикача К1 та джерела опорного струму I_{Op} . Робота цього вузла наведена в [6].Період слідування імпульсів на виході одновібратора пропорційний вихідному сигналу тензометричного датчика. Двійковий дільник дозволяє отримати вихідну частоту перетворювача у вигляді меандру.

3. Паралельного стабілізатора, призначення якого отримати стабільну напругу +8 В для живлення вимірювального датчика А1 та вузлів самого пристрою. Цій стабілізатор працює від джерела струму А2, розташованому в вимірювальному пристрою на значній відстані від блоку перетворювача «напруга – частота». Струм від джерела А2 (100 мА) подається на паралельний стабілізатор за допомогою двохдротової лінії, довжина якої може досягати 1000 м.

4. Вузла формування вихідного частотного сигналу, призначення якого модулювати вихідним частотним сигналом джерело струму А2. Це дає змогу сумістити лінію живлення та вихідний частотний сигнал блоку перетворювача «напруга – частота». Цей вузол побудовано на транзисторному ключі К2 та стабілітрону з напругою стабілізації 5,6 В. В наслідок цього вихідний частотний сигнал має мінімальне миттєве значення напруги на рівні +8 В, а максимальне миттєве значення напруги на рівні 13,6 В. В вимірювальному пристрої для отримання вихідного частотного сигналу з ТТЛ рівнями достатнє пропустити його крізь конденсатор достатньої ємності (рисунок 2).

5. Джерела початкового зміщення рівня інструментального підсилювача та інтегратора U_{Op} . Регулювання цієї напруги дозволяє встановити початкову частоту вихідного сигналу при вихідному сигналі тензометричного датчика рівному 0 мВ. За допомогою роз'єднувача XT1 блок перетворювача «напруга – частота» з'єднується з вимірюваним датчиком, а за допомогою роз'єднувача XT2 виконується живлення блоку та передача вихідного частотного сигналу в вимірювальний пристрій.

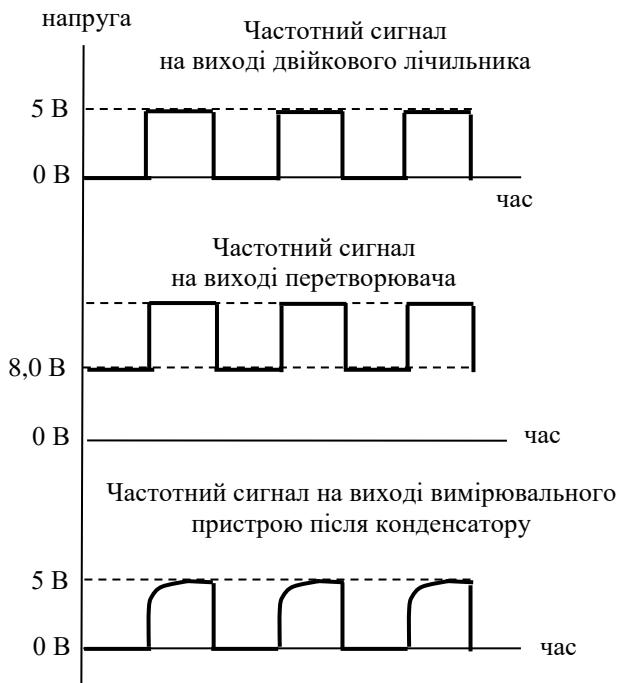


Рисунок 2 – До пояснення формування вихідного частотного сигналу

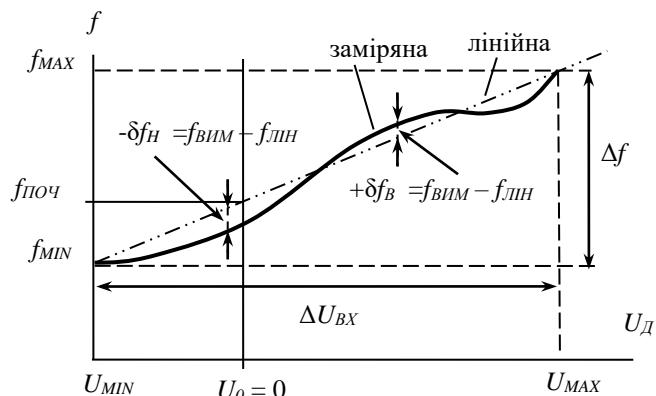


Рисунок 3 – Передаточна характеристика розробленого блоку перетворення аналогового сигналу в частоту.

Передаточна характеристика розробленого блоку перетворювача «напруга – частота» наведена на рисунку 3 і має наступні параметри при кімнатній температурі:

Частота перетворювача при вхідній напрузі $U_0 = 0$: $f_{POCH} = 7500$ Гц.

Частота перетворювача при вхідній напрузі $U_{MAX} = +20$ мВ: $f_{MAX} = 27900$ Гц.

Частота перетворювача при вхідній напрузі $U_{MIN} = -5$ мВ: $f_{MIN} = 2400$ Гц.

Коефіцієнт передачі перетворювача складав $K_P = \frac{\Delta f}{\Delta U_{BX}} = 1020$ Гц/мВ.

Нелінійність вихідної характеристики $\delta = \frac{|+ \delta f_B| + |- \delta f_H|}{\Delta f} \cdot 100\%$ не перевищувала 0,012 %. Розрахунки згідно [7].

Висновки. Розроблено прецизійний синхронний перетворювач «напруга – частота», який дозволяє перетворювати вихідний аналоговий сигнал від тензометричних датчиків у частотний сигнал типу «меандр», який без перешкод можливо передавати на значні відстані у вимірювальний пристрій. Вихідні параметри перетворювача задовільняють вимогам для таких перетворювачем, але необхідне проведення додаткових досліджень з метою визначення температурної сталості перетворювача.

ЛІТЕРАТУРА

- Жадобин Н. Е., Королев, В. В., Заставный С. В., Контроль механических напряжений и деформаций в корпусе судна. «Контроль диагностика», № 2, 2010. с. 38 — 43.
- Гроссман Н.Я., Шнырев Г.Д. Автоматизированные системы взвешивания и дозирования. – М.: Машиностроение, 1988. – 296 с.
- Дранчук С.М., Кочетков О.В., Мудрьонов И.С., Цацко В.И. Дослідження впливу конструкції вимірювального трубопроводу на визначення витрат рідини методом тензометрії. Nauka I studia №13 (215), 2020, pp. 37-46

4. Касаткин, А. С. Автоматическая обработка сигналов частотных датчиков. — М.: Энергия, 1966. — 120 с.
5. Дранчук С.М., Завадський В.А, Чайка А.В. Аналогово-частотний перетворювач для тензометрических датчиків суднового обладнання. Тезиси доклада на IX міжнародній науково-технічній конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика» 05.11.2019 – 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2019, с.50-54.
6. Дерябин В. Преобразователи напряжение частота. – Chip News Инженерная электроника, 2004, №8, с.13-23.
7. Завадський В. А., Харченко Р. Ю., Дранчук С. М., Цацко В. І. Пристрій для дослідження температурної сталості характеристик перетворювачів напруги в частоту. Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2021, No 3–4, с. 9–16. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2021.3-4.09>

УДК 681.518.5

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИАГНОСТИКИ СУДНОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Т.И. Терновая, к.т.н., доцент

А.С. Березовский, студент

Херсонская государственная морская академия

Аннотация: Рассмотрены возможности повышения эффективности диагностики судового электрооборудования путем модернизации структуры экспертной системы. Предложенная структура экспертной системы позволяет повысить качество информационных технологий контроля и диагностики технического состояния электрооборудования.

Ключевые слова: Объект управления, диагностика электрооборудования, экспертные системы, прогнозирование.

WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF DIAGNOSTICS OF SHIP ELECTRICAL EQUIPMENT

T.I. Ternova, Ph.D., Associate Professor

O.S. Berezovsky, student

Kherson State Maritime Academy

Abstract: The possibilities of increasing the efficiency of diagnostics of ship electrical equipment by modernizing the structure of the expert system are considered. The proposed structure of the expert system makes it possible to improve the quality of information technologies for monitoring and diagnosing the technical condition of electrical equipment.

Key-words: Control object, electrical equipment diagnostics, expert systems, forecasting.

Вопросы обеспечения безопасности морских перевозок являются актуальными в настоящее время. Это обуславливает повышение требований к эксплуатации судна, что в значительной мере связано с обеспечением надежности работы судового электрооборудования. В результате значительного износа электрооборудования происходит дополнительная потеря энергии, снижение надежности эксплуатации, возрастание его аварийности и отказов. Вероятность отказов и непрерывное ухудшение исходного технического состояния электрооборудования, в свою очередь, зависят от воздействия различных факторов, режимов и условий работы. На показатели надежности функционирования

электрооборудования влияют не только уровень качества его изготовления, но и то, насколько научно обоснованы эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт [1, 2].

Цель работы состоит в анализе возможности повышения надежности диагностики судового электрооборудования путем интеллектуализации процессов обработки диагностической информации с использованием технологии экспертных систем.

Реальные условия эксплуатации судового электрооборудования существенно отличаются от условий эксплуатации аналогичного стационарного. Поскольку морские суда перемещаются в различных географических широтах, в различных погодных условиях тепловые поля могут быть созданы не только отдельными элементами оборудования, но и воздействием внешней среды. Тепловое излучение ухудшает условия охлаждения объекта и способствует его местному или общему перегреву. Температурное влияние усиливается с повышением частоты и скорости изменения температуры. Все это ведет к быстрому изменению состояния элементов (узлов), что влечет за собой появление отказов. Факторы, характерные для эксплуатации электрооборудования морского судна: бортовая, килевая и вертикальная качка; переменные температура, влажность и давление окружающей среды; переменные нагружочные режимы, связанные с маневром судна; необходимость перехода на разные сорта топлива в зависимости от географической траектории судна повышают износ оборудования и обуславливают требования к организации диагностического обеспечения.

Одна из особенностей судового электрооборудования состоит в том, что многие узлы после отказа могут быть восстановлены посредством их ремонта или замены отказавших элементов запасными, а некоторые машины такие как: главные и вспомогательные генераторы, топливные и масляные фильтры в течение эксплуатации восстанавливаются многократно в процессах среднего и капитального ремонта.

Анализ существующих подходов в организации диагностического обеспечения судового электрооборудования для оценки и прогнозов его технического состояния позволяет выделить основные этапы [2]. Это необходимость исследовать объект диагностирования; определить перечень и классы возможных отказов объекта, условия и признаки их проявления; выбрать известную или построить новую математическую модель объекта; выбрать метод и составить алгоритм диагностирования; оценить качество полученного алгоритма диагностирования; выбрать из известных или разработать новые подходящие средства диагностирования; оценить характеристики выбранных или разработанных средств диагностирования; исследовать систему диагностирования в целом.

Следствием повышенных требований к безопасности, безотказности и долговечности судового электрооборудования является использование и разработка различных экспертных систем, информационных методов и средств контроля для диагностики и оценки технического состояния различных устройств. Индивидуальное наблюдение за изменениями технического состояния в процессе эксплуатации путем контроля и диагностики, которые проводятся с глубиной и периодичностью, установленными технической документацией являет-

ся в настоящее время наиболее эффективным элементом системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования [2, 3].

Применение экспертных систем позволяет решить многие современные задачи, в том числе и задачи управления и диагностики. Такие системы могут базироваться как на правилах классической логики, так и использовать математический аппарат нечеткой логики [1, 4]. Нечеткие системы, так же как и классические, тоже основаны на правилах продукционного типа, однако в качестве посылки и заключения в правиле используются лингвистические переменные, что позволяет избежать ограничений, присущих классическим продукционным правилам. Учитывая объективно существующую неопределенность, неполноту и нечеткость информации об объекте при разработке базы знаний и механизмов вывода экспертной системы, целесообразно использовать аппарат нечеткой логики [4-6], позволяющий объективно оценить техническое состояние и более обоснованно принимать решения по управлению ремонтом судового оборудования.

Поскольку от надежной работы судовой электроэнергетической системы зависит не только скорость судна, но и безопасность плавания судна в теории надежности структурно сложных восстанавливаемых систем электрооборудования ставятся задачи, связанные с оценкой вероятности нахождения названных систем к определенному моменту времени в работоспособном состоянии. Так же является важной задачей получение оценки интенсивности переходов из работоспособного в неработоспособное состояние. Добавление в структурную

схему экспертной системы блока ретроспективного прогноза позволяет получать такие оценки.

Структурная схема такой экспертной системы показана на рис. 1.

Повышение качества распознавания технического состояния объекта за счет возможности применения метода ретроспективного прогноза его состояния обусловлено структурой системы. Предложенная экспертная система позволяет снизить затраты на ремонт за счет выявления потенциальных отказов на ранней стадии их возникновения.

Выводы. Проведен анализ существующих подходов в организации диагностического обеспечения судового электрооборудования для оценки и прогнозов его технического состояния. Предложенная структура экспертной системы позволяет повысить эффективность диагностики.



Рисунок 1 – Структурная схема экспертной системы

ЛІТЕРАТУРА

1. Головко С. В. Диагностика технического состояния судового электрооборудования на основе интеллектуального анализа данных //Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. – №. 2.
2. Нгуен Х. Т., Герман Г. В. Построение диагностической модели дизель – генераторного агрегата гребной электрической установки // Журнал « Образование. Наука. Научные кадры», М., 2014.
3. Стеклов А. С., Ходыкина И. В., Шахов А. В. Диагностика технического состояния судовых энергетических установок на основе интеллектуального анализа данных //Актуальные проблемы электроэнергетики. – 2013. – С. 146-148
4. Горева Т.И. Нейросетевые модели диагностики технических систем / Т. И. Горева, Н. Н. Портнягин, Г. А. Плюкке // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. — 2012. — № 1 (4). — С. 31–43.
5. Молочков В. Я., Молочкова И. Д. Экспертные системы в практике обслуживания и ремонта электрооборудования судов //Научные труды Дальрыбвтуза. – 2009. – Т. 21.
6. Бахусова Е. В. Методы поддержки принятия решений на основе нечеткой математики //Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2013. – №. 9.

УДК 681.121

ДОСЛДЖЕННЯ СУДНОВОЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДИЗЕЛЯ ІЗ ТЕНЗОМЕТРИЧНИМ ВИТРАТОМІРОМ РІДИНИ

Т.О. Гаур, ст.викладач

О.І. Заріцька, к.т.н., доцент

I.P. Резніченко, магістрант

В.І. Цацко, к.ф-м.н, ст.викладач

Одеський національний морський університет

Анотація. Розглянуте застосування тензометричного витратоміру рідини, в якому для підвищення надійності та точності вимірювання було запропоновано вимірювання витрат рідини за різницею статичних тисків в двох різних перетинах труби для системи охолодження дизеля. Показано, що встановлення вимірювального трубопроводу у нагнітальні мережі насосів внутрішнього контуру та зaborтної води не оказує суттєвого впливу на гідравлічні опори. Встановлені переваги конструкції вимірювального трубопроводу типу вузький-широкий-вузький зроблено з широкий-вузький-широкий.

Ключові слова: рідина, витратомір, тензометрія, система охолодження, похибка,

INVESTIGATION OF VESSEL COOLING SYSTEM OF DIESEL WITH TENSOMETRIC LIQUID METER

T. Gaur, senior lecturer

O . Zaritskaya, Ph.D., docent

I. Reznichenko, undergraduate

V. Tsatsko, Ph.D., senior lecturer

Odessa National Maritime University

Abstract. The application of a strain gauge of a liquid flow meter is considered, in which to increase the reliability and accuracy of measurement it was proposed to measure the flow of liquid by the difference of static pressures in two different sections of the pipe for the diesel cooling system. It is shown that the installation of the measuring pipeline in the discharge network of internal circuit pumps and seawater does not have a significant effect on the hydraulic supports. The advantages of the design of the measuring pipeline of the narrow-wide-narrow type in comparison with the wide-narrow-wide are established.

Keywords: liquid, flowmeter, strain gauge, cooling system, error,

Постановка проблеми. При згорянні палива в циліндрах двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) лише 38—42 % теплоти, що отримується при його роботі, перетворюється на корисну роботу [1]. Решта теплоти — це неминучі теплові втрати. Приблизно половина втраченого тепла йде в атмосферу з продуктами згоряння палива, решта передається деталям, що стикаються з гарячими газами. Якщо ці деталі не охолоджувати, робота двигуна стане неможливою і він вийде з ладу. Неможливим стане і мастило двигуна, оскільки мастило згорятиме. Щоб уникнути цього, всі деталі та вузли двигуна, що стикаються з гарячими газами, необхідно охолоджувати. Обов'язковому охолодженню підлягають циліндри, кришки циліндрів та випускний колектор.

Для підвищення швидкодії і якості виконання операцій необхідно проводити вимір витрат робочого середовища.

В багатьох суднових системах в якості робочого середовища використовується рідина.

Аналіз останніх наукових досліджень. Відомі індукційний, тепловий та інші витратоміри, недоліками яких є необхідність встановлення в потоці рідини тих чи інших елементів вимірювання. Це призводить до погрішності вимірювань протягом зростання часу перебування цих елементів в рідині і зменшує їх надійність. Рані нами було показане, що для підвищення надійності та точності в баластно-осушувальній системі можливе використання вимірювання витрат рідини за різницею статичних тисків в двох різних перетинах труби [2]. Встановлено, що при зменшенні швидкості потоку зростає похибка, яка викликана наявністю тертя у трубопроводі. Розрахунки, які були проведені для забортної води, де швидкість потоку обмежена правилами Регістру до значення 3,25 м/с, показали зменшення похибок при зростанні швидкості потоку [3], зменшенні відстані між тензорезисторами. Було показано, що використання способу вимірювань з трьома тензорезисторами [4] дозволяє поширити діапазон швидкостей потоку. Питання можливості використання тензометрії при охолодженні дизеля не розглядалося.

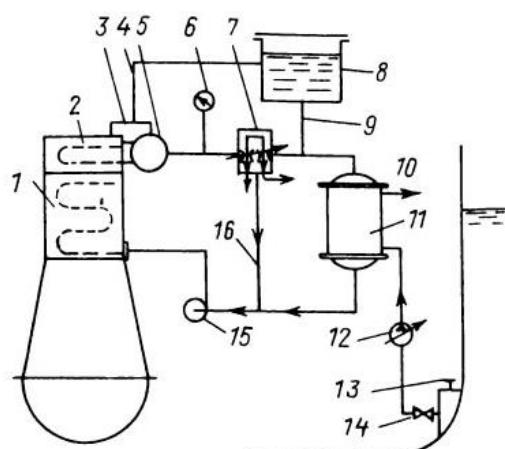


Рисунок 1 – Принципова схема закритої системи охолодження [5]

для автоматичного регулювання температури через двигун. Якщо температура цієї води виявиться вищою за необхідне значення, то термостат більшу частину

Метою даної роботи є дослідження системи охолодження Wartsila 4R22HF-D 650 кВт при 1000 обертах на хвилину (380 сСт).

На рисунку 1 наведено схему закритої системи охолодження двигуна [5].

Циркуляційним насосом 15 пресна вода по внутрішньому контуру подається в блок циліндрів 1. Охолодивши кришку циліндра 2 двигуна, вода по патрубку 3 надходить в порожнину охолодження випускного колектору 5, а звідти в термостат або в терморегулятор 7, який служить

води пропустить в холодильник 11, а меншу — в трубу 16. Таким чином, в термостаті постійно відбувається перерозподіл двох потоків води: підводиться до насоса 15 і знову направляється на охолодження двигуна. Температура води контролюється термометром 6. У зв'язку з високою температурою води, що виходить з двигуна, в окремих точках внутрішніх порожнин, заповнених водою, утворюється пар. Пар відводиться по трубі 4 розширювальний бак 5, що є компенсатором об'єму, який по трубі 9 витісняється надлишкова кількість води, що розширилася при нагріванні. Завдяки цьому вдається запобігти порушенню густини з'єднань елементів системи. Забортна вода через кінгстон 13 і приймальний клапан 14 забирається насосом 12 і пропускається через холодильник 11, який охолоджує прісну воду внутрішнього контуру, після чого відводиться за борт по трубі 10. Така система охолодження двигунів оберігає порожнини охолодження двигуна від відкладення солей і зменшує ймовірність утворення електрохімічної ерозії. Встановлений на приймальній гілці фільтр забортної води оберігає систему від попадання мулу та піску.

Застосування тензометричного витратоміру рідини проводилося на прикладі судна типу «Валерій Васильєв» [6].

В якості розрахункових магістралей були обрані нагнітальні трубопроводи насосів внутрішнього контуру та забортної води. В результаті розрахунків в якості насосу внутрішнього контуру був обраний НЦВ-25/20А з розмірами нагнітального трубопроводу 60x3мм , умовний прохід Dy54, а в якості насосу забортної води НЦВ-40/20А з розмірами нагнітального трубопроводу 73x3 мм , умовний прохід Dy67. Гіdraulічні розрахунки показали, що для узгодження мережі і насосів у нагнітальні трубопроводи потрібно включати додаткові опори (15 м для внутрішнього контуру та 5 м для забортної води).

При дослідженні використовувались вимірювальні трубопроводи двох типів ШВШ (широкий-вузький-широкий) та ВШВ (вузький-широкий-вузький), які були виконані у відповідності з формулою, наведеною в [2-4].

В таблицях 1,2 наведені коефіцієнти місцевого опору та втрати напору у розрахованих вимірювальних трубопроводах.

Таблиця 1 – Коефіцієнти місцевого опору та втрати напору при раптовому звуженні та розширенні потоку для розрахованих вимірювальних трубопроводів

Речовина	Конструкція	r_1 ,мм	r_2 ,мм	ξ_{MP3}	v , м/с	Δh , м
Вода внутрішнього контуру	ШВШ	27	22,5	0,153	4,36	0,148
	ВШВ	31,5	27	0,133	2,23	0,034
Забортна вода	ШВШ	33,5	27,9	0,153	4,51	0,159
	ВШВ	39,1	33,5	0,133	2,31	0,036
Вода внутрішнього контуру	ШВШ	22,5	27	0,306	4,36	0,296
	ВШВ	27	31,5	0,265	2,23	0,067
Забортна вода	ШВШ	33,5	27,9	0,306	4,51	0,318
	ВШВ	39,1	33,5	0,266	2,31	0,072

Таблиця 2 – Повна втрата напору на розрахованих вимірювальних трубопроводах

Речовина	Конструкція	$\square h, м$
Вода внутрішнього контуру	ШВШ	0.444
	ВШВ	0.101
Забортна вода	ШВШ	0.477
	ВШВ	0.108

Висновки. З наведених результатів слідує, що вмикання вимірювальних трубопроводів не приводить до суттєвих змін у втратах напору на розрахункових нагнітальних магістралях насосів внутрішнього контуру та забортної води. При вмиканні в нагнітальну магістраль цей опір увійде до складу додаткового опору, що служить для узгодження насосу та мережі.

Дослідження показали, що використання ВШВ-конструкції розрахованих трубопроводів не приводить до перевищення допустимої швидкості потоку (3,25 м/с). В деяких випадках і ШВШ-конструкція не приводить до цього [7]. Однака ймовірність виникнення такої ситуації при ШВШ-конструкції зростає.

Крім того, величина гіdraulічного опору при ВШВ-конструкції менше ніж при ШВШ-конструкції.

Гіdraulічний опір при поступовому звуженні та розширенні дещо нижче ніж при раптовому, однак зростає похибка у зв'язку з неможливістю отримання малих значень відношення відстані між тензорезисторами до діаметру трубопроводу. Тому ми рекомендуємо використовувати вимірювальні трубопроводи з раптовими звуженнями та розширеннями потоків

ЛІТЕРАТУРА

- Судовые системы охлаждения. [Електронний ресурс]: <https://mirmarine.net/svm/sudovye-sistemy/921-sudovye-sistemy-okhlazhdeniya>. (Дата звернення 10.09.2021).
- Гаур Т.О., Зарицька О.І., Скрибантович В.В., Цацко В.І. Дослідження суднової баластно-осушувальної системи з тензометричним витратоміром рідини /Матеріали науково-методичної конференції "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика" 05.11.2019-06.11.2019.-Одеса;НУ "ОМА",2020,с.61-64.
- Антохов О.Д., Бабій Ю.С., Гаур Т.О., Нікіфоров В.І., Цацко В.І. Оцінка впливу деяких факторів на точність тензометричного витратоміра рідини. Středoevropský věstník pro vědu a výzkum 7(59) 2019, pp/65-74.
- Антохов О.Д., Гаур Т.О., Нікіфоров В.І., Цацко В.І. Тензометричний витратомір рідини. Вісник Одеського національного морського університету. №4(57), 2018, с.121-130.
- Назначение и классификация судовых трубопроводов и систем. [Електронний ресурс]: <https://mirmarine.net/svm/sudovye-sistemy/819-naznachenie-i-klassifikatsiya-sudovykh-truboprovodov-i-sistem>. (Дата звернення 10.09.2021)
- Технические характеристики т/х Валерий Васильев». [Електронний ресурс]: <http://aziaship.ru/валерий-vasильев-технические-характеристики.html>. (Дата звернення 10.09.2021).
- Дранчук С.М., Кочетков О.В., Мудрьонов І.С., Цацко В.І. Дослідження впливу конструкції вимірювального трубопроводу на результати вимірювання витрат рідини в суднових системах./ Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», Одеса, ОНМА, 24.11.2020-25.11.2020, с 42-45.

УДК 534.8, 534-143

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ АНТІФОУЛІНГУ СУДЕН

С.М. Дранчук, к.т.н., доцент

Р.Ю. Кулеба, магістрант

В.І. Цацко к.ф-м.н, ст.викладач

Одеський національний морський університет

Анотація. Встановлене, що обробка антіфоулінгового лакофарбового покриття в потоковому режимі ультразвукового поля у використаних режимах та тривалості процесу не викликає порушення покриття. При цьому швидкість очищення щонайменше не поступається лазерному очищенню. Лакофарбове покриття частково руйнується при лазерній обробці, стійкість залежить від адгезії покриття до основного матеріалу. Враховуючи, що корозія корпусу викликана наявністю електричне активних часток, то отримані результати слідує враховувати при використанні методу ультразвукового антіфоулінгу та лазерного очищення.

Ключові слова: антіфоулінг, очищення, ультразвук лазер, корозія

COMPARATIVE ANALYSIS OF SHIP ANTIFOULING METHODS

S . Dranchuk, Ph.D., docent

R. Ruleba, undergraduate

V. Tsatsko, Ph.D., senior lecturer

Odessa National Maritime University

Abstract. It is established that the treatment of antifouling paint coating in the flow mode of the ultrasonic field in the used modes and the duration of the process does not cause violations of the coating. The cleaning speed is at least not inferior to laser cleaning. The paint coating is partially destroyed by laser treatment, the resistance depends on the adhesion of the coating to the base material. Given that the corrosion of the housing is caused by the presence of electrically active particles, the results should be taken into account when using the method of ultrasonic antifouling and laser cleaning.

Key words: antifouling, cleaning, laser ultrasound, corrosion.

Постановка проблеми. Стан підводної частини корпусу судна завжди залишається однією з найбільш великих проблем. Адже морська флора і фауна нещадні по відношенню до корпусу нижче ватерлінії.

Крім того, що наріст флори на підводній частині корпусу буде приводити до його псування, він до того ж приведе до втрати швидкості. Обліпленний молюсками і водоростями корпус буде швидко важчати, втрачаючи дорогоцінні вузли.

Доведено, що при великому налипанні морської флори на корпусі, швидкість яхти може зменшитися вдвічі. А ще це збільшить витрату палива.

Важливість боротьби з біологічним обростанням випливає з економічних показників експлуатації судна, що безпосередньо пов'язано із собівартістю доставки вантажів, а також тривалістю експлуатації морських гідротехнічних споруд і конструкцій [1-3].

Аналіз останніх наукових досліджень. Боротьба з біологічним обростанням ведеться двома основними шляхами [4]:

1. Відділення обростання від корпусу судна. Воно може виконуватися як в умовах сухого доку, так й в підводному положенні, що є більш сприятливим з точки зору часу та економічної ефективності.

2.. Недопущення біологічного обростання.

Відділення обростання від корпусу судна в підводному положенні можна здійснити наступними методами:

- механічним - за допомогою щіток, шарошок, вібруючих ножів
- лазерним - з використанням скануючих систем лазерного випромінювання.
- гідродинамічним - струменями води під тиском з кавітаційними ефектами.

Недоліками цих методів є:

- висока ймовірність порушення в процесі очищення чинного лакофарбового покриття, що неприпустимо для плаваючого судна;
- висока енергоємність процесу очищення;
- висока собівартість процесів.

Недопущення біологічного обростання здійснюється пасивним та активним шляхами

• До пасивних відноситься застосування антифоулінгових лаків і фарб [5-6]. Слід відзначити, що такі матеріали є отруйним, їх використання заборонено в умовах Арктики та Антарктики.

• До активних відносяться

• захист хімічним способом, заснованим на подачі до поверхонь зі спеціальних ємностей різного виду токсинів;

• захист фізико-хімічними способами (електрохімічними) за допомогою електролізу морської води при використанні розчинних або нерозчинних анодів;

• вуглевислотний спосіб, заснований на використанні відпрацьованих газів СЕУ для насичення ними морської води, що циркулює в судновий системі

Слід відмітити, що хімічні, електрохімічні та вуглевислотні способи дозволяють проводити очищення лише тих ділянок корпусу судна, які мають сполучення з внутрішніми приміщеннями суден. Крім того перші дві групи цих способів є шкідливими для зовнішнього середовища. Серед активних способів антіфоулінгу слід виділити системи ультразвукового антіфоулінгу [7], які змушують обшивку корпусу слабко вібрувати. Це не дозволяє морським організмам і водоростям прикріплюватися до поверхні обшивки та не перешкоджає середовищу на різницю від отрутних антіфоулінгових фарб. При цьому, однак, слід враховувати режим ультразвукового поля.

В роботі [8] наведений звінчальний аналіз впливу ультразвукового антіфоулінгу та лазерного очищення на лакофарбове покриття корпусу судна. Встановлене, що обробка антіфоулінгового лакофарбового покриття в потоковому режимі ультразвукового поля у використаних режимах та тривалості процесу не викликає порушень покриття. Однак у цій роботі не було проведено спостере-

ження впливу попередньої підготовки поверхні до нанесення лакофарбового покриття.

Метою даної роботи як раз було проведення такого спостереження.

Спочатку на кремнієві та алюмінієві пластиини навмисно наносився шар тваринного жиру і проводилося очищення пластин методами обробки у розчині Керна [9] без використання ультразвуку і в потоковому режимі ультразвукового поля [10], а також лазерне очищення [8].

Потім, як і у роботі [8] створювалися зразки, які наведені на рисунку 1. На підкладки з алюмінію (рисунок 1,а), кремнію (рисунок 1,б), окисленого кремнію (рисунок 1,в) пульверизацією наносились шари чорної (товщиною 0,1 мкм) та сірої (товщиною 0,3 мкм) антіфоулінгової фарби.

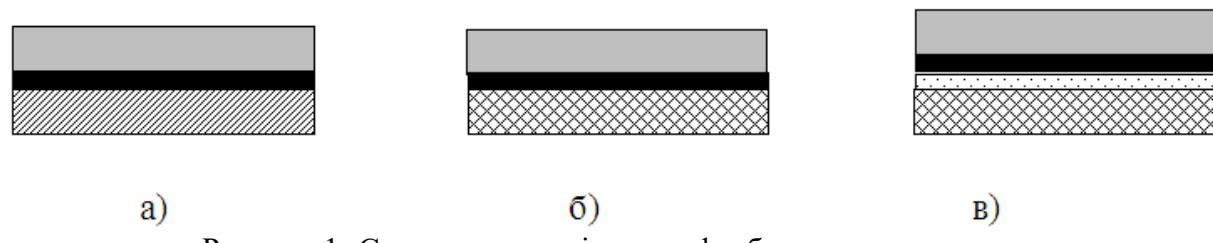


Рисунок 1- Структура зразків з лакофарбовим покриттям

 - Al ;  - шар ТК (чорний);  - шар ТК (сірий);  Si ;  SiO_2 .

Зразки знову навмисно забруднювались плівкою тваринного жиру після чого знову проводилося очищення описаними вище методами.

Оцінка якості очищення від макрозабруднень проводилась за допомогою мікроскопу МБС-11. Критерієм очищення було співвідношення $k = (S_1 - S_2)/S_1$, де S_1 , S_2 – площа забруднень до і після очищення відповідно. Введення такого критерію обумовлене необхідністю урахування розкиду значень діаметра забруднень, що залишаються після очищення.

Для вимірювання генераційних параметрів МДН-структур, які дуже чутливі до наявності мікрозабруднень, на поверхні кремнію витворювався шар діоксиду кремнію товщиною 0,15 мкм шляхом окислення в сухому кисні. Товщина окисної плівки контролювалась лазерним еліпсометром типу ЛЭМ-2.

Після окислення термічним випаровуванням у вакуумі через маски створювались металеві електроди МДН-структур. Крім вакуумного напилювання для створення МДН-структур використовувались також ртутний та індієвий зонди.

Генераційні параметри МДН-структур визначались як результат обробки їх фарад-секундних характеристик.

За швидкістю очищення ультразвукове та лазерне очищення на 25-30% перевищують звичайну обробку розчином Керна (рисунок 2).

Очищення від мікрозабруднень у розчинах Керна з і без ультразвукової обробки визначається більш ефективним ніж лазерне очищення.

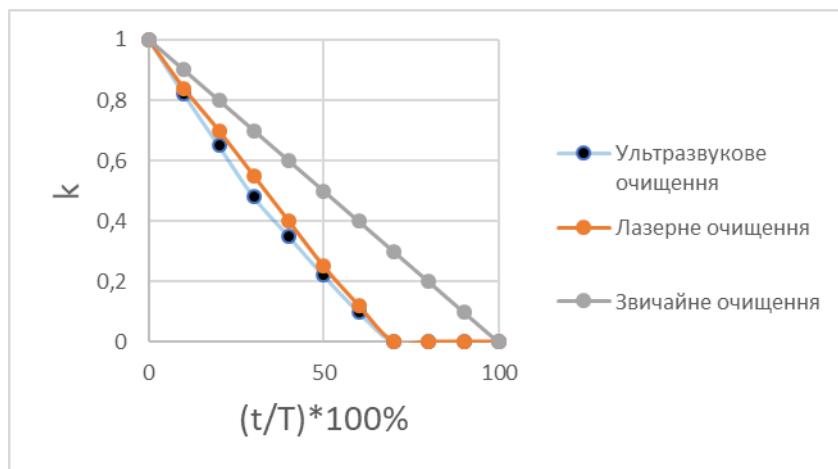


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнту очищення від макрозабруднень від часу обробки (в процентах від повного циклу Керна)

Висновки. Обробка антіфоулінгового лакофарбового покриття в потоковому режимі ультразвукового поля у використаних режимах та тривалості процесу не викликає порушень покриття. Лакофарбове покриття частково руйнується при лазерній обробці, стійкість залежить від адгезії покриття до основного матеріалу. Лазерне очищенння викликає зростання кількості електричних активних центрів, що може привести до зростання корозії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кульчин Ю.Н., Звягинцев А.Ю., Субботин Е.П., и др. Перспективы и технико-экономические аспекты разработки новых методов контроля биообрастания на морском транспорте // Вестник ДВО РАН. 2015. №6. С.96-102
2. Брошков С.Д. Выбор экономичной скорости хода судна с учетом характеристик главного двигателя // Автоматизация судовых технических средств. 2013. № 19. С. 16–22.
3. Цацко В.І., Гаур Т.О., Кулеба Р.Ю. Вплив обростання судна на його енергетичні характеристики / Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка: застосування, дослідження, освіта. Збірник тез доповідей Всеукраїнської наукової конференції 15 квітня 2021 року, с.127-130.
4. Абрамов В.А. Совершенствование режимов и повышение эксплуатационной эффективности судовых электролизерных противообрастающих систем путем управления карбонатным равновесием морской воды // Судовые энергетические установки, науч.-техн. Сб, № 26 - 2010, с. 82-101.
5. Almeida, E; Diamantino, Teresa C. & De Sousa, "Marine paints: The particular case of antifouling paints", Progress in Organic Coatings V. 59 (1): 2007, pp. 2–20.
6. Diego Meseguer Yebram, Kim Dam-Johansen. Antifouling technology—past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings// Progress in Organic Coatings, V. 50(2), 2004, pp. 75-104.
7. Система ультразвукового антифоулінга [Електронний ресурс]: URL: <http://interparus.com/?go=news&nomid=19&id=19>. (Дата звернення 04.10.2021).
8. Гаур Т.О., Карапетян А.Р., Машін В.М., Цацко В.І. Аналіз вплив ультразвукового антіфоулінгу та лазерного очищення на цілісність лакофарбового покриття судна. /Молодий вчений, №4(68) квітень 2019р., с.1-4
9. Cleaning solutions based on hydrogenperoxide for use in silicon semiconductor technology] / Kern W., Puotinen D.M. // RCA-Review, 1970, vol. 31, № 2, p. 187-206.
10. Воздействие акустических пристеночных течений на процесс очистки полупроводниковых подложек [Текст] / Белецкий П.Н., Кудрова Т.Н., Мокрицкий В.А. и др. // Акустика и ультразвуковая техника, вып.17, 1982, с. 20-25.

УДК 629.5.063.4–044.337(043.2)

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТУРУ РЕГУлювання ВПРИСКУ НЕЙТРАЛІЗАТОРА У СИСТЕМІ ОЧИЩЕННЯ БАЛАСТНИХ ВОД ТАНКЕРУ ВОДОЗМІЩЕННЯМ 112000 ТОН

А.О. Дранкова, к.т.н., доцент

Д.А. Горбунов, магістр

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: У роботі розглянута система очищення баластних вод NK-O3 BlueBallast System з використанням озону танкера водозміщеннем 112000 тон. Наведені основні інтегровані модулі системи, а саме: система подачі газу, озонова система, система нейтралізатора, система моніторингу та управління. Описано принцип утворення озону у системі. Зазначена причина використання та тип нейтралізатора (*тіосульфат*). Розглянуто та описано алгоритм де-баласту. Для удосконалення контуру регулювання вприску нейтралізатора запропоновано використання електронного датчика загальних залишкових окиснювачів.

Ключові слова: система очищення баластних вод, озон (O_3), кисень (O_2), гіпобромна кислота, загальні залишкові окиснювачі *TRO* (*total residual oxidation*, тихий електричний розряд, *тіосульфат*, нейтралізація загальних залишкових окиснювачів).

IMPROVEMENT OF NEUTRALIZER INJECTION CONTROL CIRCUIT IN 112000 TONS DISPLACEMENT TANKER'S BALLAST WATER TREATMENT SYSTEM

Alla Drankova, PhD, ass. Professor

Danyil Horbunov, master

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The NK-O3 BlueBallast System ozone ballast water treatment system of 112000 tons displacement tanker is considered in the article. The main integrated modules of the system are given, namely: gas supply system, ozone system, neutralizer system, monitoring and control system. The principle of ozone formation in the system is described. The reason for use and type of neutralizer (*thiosulfate*) are indicated. The de-ballast algorithm is considered and described. To improve the control circuit of the neutralizer injection, it's proposed to use an electronic *TRO* sensor instead of a chemical one.

Keywords: ballast water treatment system, ozone (O_3), oxygen (O_2), hypobromic acid, total residual oxidation (*TRO*), silent electric discharge, *thiosulfate*, neutralization of *TRO*.

Переміщення шкідливих водних видів у баластних водах суден, їх осідання та розвиток – є великою глобальною екологічною проблемою, яка спричиняє серйозний вплив на морські екосистеми, рибальство та інші морські ресурси та навіть на здоров'я людей у багатьох частинах світу [1]. NK-O3 BlueBallast System була розроблена, відповідно до стандартів, встановлених Міжнародною морською організацією (IMO), як суднова система очищення баластних вод методом вприску озону у баластну воду [2].

Озон – це природний газ, який утворюється в атмосфері, коли атом кисню (O) з'єднується з молекулою кисню (O_2), утворюючи озон (O_3). Хоча озон має надзвичайно короткий термін служби, він є одним із найпотужніших окиснювачів, який надзвичайно швидко нейтралізує ендотоксини, віруси, бактерії, грибки та органічні речовини [3]. У системі NK-O3, судновий генератор озону вбирає навколошнє повітря і видаляє азот, концентруючи вміст кисню, який потім пропускається через електричне поле високої напруги для отримання

озону. Потім озон вводять у баластну воду, що надходить для окислення та нейтралізації будь-яких шкідливих водних видів. Відсоток водних видів, особливо бактерій і вірусів у баластній воді, гине при прямому контакті з озоном. Решта гинуть або нейтралізуються, коли озон реагує з іншими хімічними речовинами, які зустрічаються в морській воді, утворюючи гіпобромну кислоту, яка сама по собі є дезінфікуючим засобом. І озон, і гіпобромна кислота розпадаються надзвичайно швидко, що гарантує відсутність пошкодження приймальних вод, в які скидається очищена баластна вода.

Система NK-O3 призначена для введення озону з щільністю 2,5 мг/л у баластну воду, відповідно до потужності баластного насоса [4] та складається з чотирьох інтегрованих модулів:

- система подачі газу (повітряний компресор, накопичувачі повітря та кисню, генератор кисню);
- озонова система (генератор озону, деструктор озону, водяний охолоджувач, інжектор озону);
- система нейтралізатора;
- система моніторингу та управління.

Основним модулем системи подачі газу є генератор кисню (рис. 1), у якому виробляється кисень для утворення озону. Генератор кисню забирає стиснене повітря з повітряного компресора і видає азот, концентруючи кисень за допомогою унікального процесу адсорбції зі зміною тиску (PSA) і забезпечуючи сировину для виробництва озону.

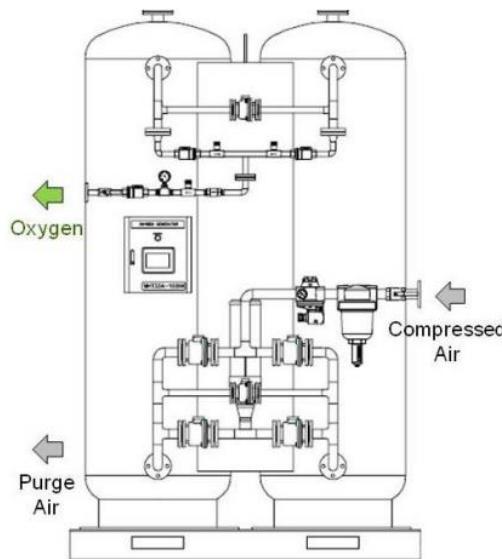


Рисунок 1 – Загальний вид генератору кисню

Азон O_3 утворюється у генераторі озону (рис. 2), шляхом перетворення частини молекул газу кисню O_2 в проміжку між двома електродами. При подачі змінної напруги на високовольтний електрод, у розрядному проміжку відбуваються мікророзряди, які дисоціюють молекули кисню. Частина звільнених атомів кисню (O) рекомбінується з рештою молекул кисню (O_2), утворюючи озон (O_3) (рис. 3). Цей принцип зазвичай зветься «тихий електричний розряд».

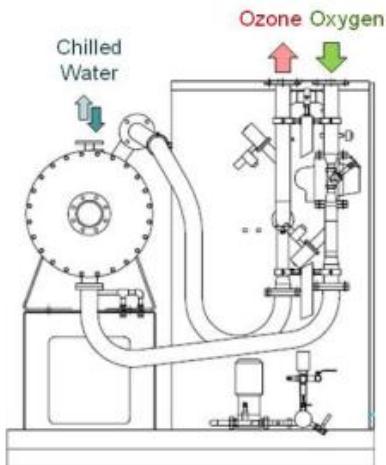


Рисунок 2 – Загальний вид генератору озону

Концентрація озону в газі на виході з генератора визначається відношенням маси виробленого озону, поділеного на загальну масу газу на виході (%) за вагою) або масу озону, виробленого на об'єм вихідного газу (г/Нм³).

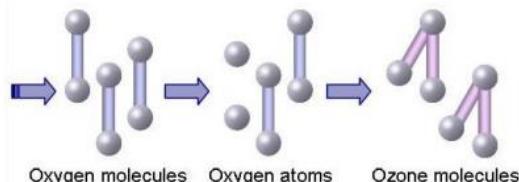
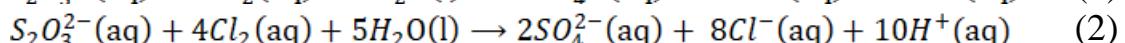
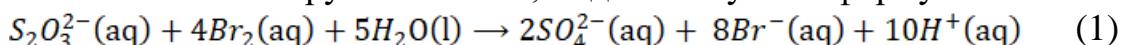


Рисунок 3 – Схема утворення O₃

Система нейтралізації призначена для видалення загальних залишкових окиснювачів (TRO) з баластної води, яка була оброблена системою NK-O3. Нейтралізатор знижує концентрацію TRO нижче 0,4 мг/л шляхом автоматичного дозування нейтралізатора перед скиданням обробленої баластної води. Система NK-O3 буде вводити нейтралізатор, лише якщо концентрація TRO в очищений баластній воді перевищує 0,2 мг/л. Тіосульфат використовується, як нейтралізуюча хімія і реагує з галогенами по-різному, що можна пояснити зниженням окисної сили вниз по групі галогенів, згідно наступних формул:



При активації роботи системи у режимі викачки баластної води з танків (режим де-баласти), система подає сигнал на підготовку хімії для вприску у баластну воду згідно з граф-схемою алгоритму (рис. 4).

На початку алгоритму перевіряється живлення та зворотній сигнал датчика TRO. Далі подається сигнал до агітатору, який протягом 2 хвилин перемішує хімію після довгої стоянки і можливого осідання хімічних сполук. Після цього система знаходиться у режимі готовності для викачки баластної води та дає дозвіл на старт баластного насосу. У баластній трубі знаходиться датчик протоку води, при активації якого, подається живлення до клапану пневматичного насосу. Цей насос бере пробу води та подає її до датчику TRO. Якщо показник TRO менше ніж 0,2 ppm, то система працює на викачуку баластної води без вприску

нейтралізатора. Якщо показник TRO лежить у межах від 0,2 до 0,4 ppm, то відкриваються клапани і активується насос для подачі тіосульфату до баластної води. Залежно від рівня TRO, регулюється кількість хімії, яка подається. Якщо рівень TRO більше ніж 0,4 ppm, активується сигналізація, яка повідомляє про великий рівень TRO. Рівень TRO більш ніж 1 ppm зупиняє роботу системи NK-O3 [4].

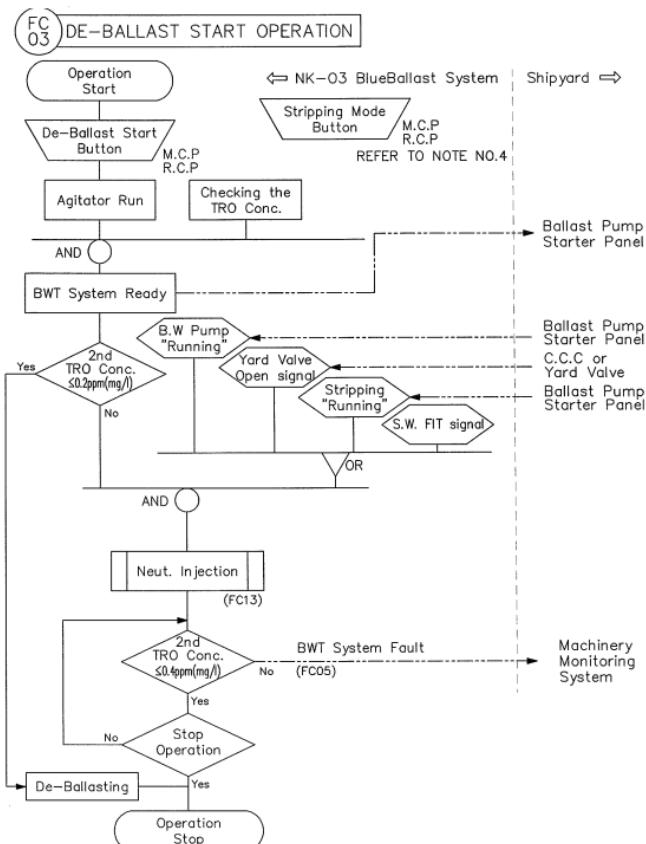


Рисунок 4 – Граф-схема алгоритму де-баласту

Висновок. Аналіз суднової системи очищення баластних вод NK-O3 BlueBallast System танкуру водозміщенням 112000 тон показав, що в цих системах для вимірювання TRO зазвичай використовують хімічні датчики, які потребують тривалий час для реакції реагенту з баластною водою, тим самим сповільнюють реакцію системи управління. Пропонується заміна хімічного датчика TRO на електронний, який має більш швидку реакцію та точність вимірювання, що дозволить удосконалити контур регулювання вприску нейтралізатора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hallegraeff, G.M. "Transport of toxic dinoflagellates via ships' ballast water: Bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management strategies". Marine Ecology Progress Series. 1998, p. 168, 297-309.
2. The International Convention for the Control and Management of Ships` Ballast Water and Sediments, 2004 (BWM Convention). Chapter 2.3, 2.4, 2.6-2.9.
3. Weschler, Charles J. (2000). "Ozone in indoor environments: concentration and chemistry" p. 269-288.
4. NK-O3 BlueBallast (M-Type) instruction manual. 2016. p. 58-112.

Секція 2. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

УДК 621.4

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПОДАЧІ ПАЛИВА В СУДНОВИХ ДВОПАЛИВНИХ ДВИГУНАХ

Є.О. Ошмарін, курсант
І.М. Гвоздєва, д.т.н., професор
С.О. Зеленюк, ст. викладач
В.А. Щербінін, ст. викладач
О.П. Тумольський, ст. викладач

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: У статті проведено аналіз технологічних процесів подачі палива в суднових двопаливних двигунах у різних режимах роботи судна. В роботі розглянуто двигун компанії Wärtsilä W9L34DF - дев'ятициліндровий, рядний, чотиритактний, нереверсивний, з турбонаддувом, проміжним охолодженням, з прямим і непрямим уприскуванням рідкого палива. Двигун може працювати в газовому режимі або в режимі Marine Diesel Oil.

Ключові слова: двопаливний двигун, головний газовий клапан, електронний блок керування, інтелектуальне управління

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF FUEL SUPPLY IN MARINE DUAL FUEL ENGINES

Y. Oshmarin, cadet
I. Hvozdeva, Dr. of Science, Professor
S. Zeleniuk, Senior Lecturer
V. Shcherbinin, Senior Lecturer
O. Tumolskyi, Senior Lecturer

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The article analyzes the technological processes of fuel supply in marine dual fuel engines in different modes of operation of the vessel. The article considers the Wärtsilä W9L34DF engine - nine-cylinder, in-line, four-stroke, non-reversible, turbocharged, intermediate cooled, with direct and indirect injection of liquid fuel. The engine can run in gas mode or Marine Diesel Oil mode.

Key-words: Dual fuel engine, main gas valve, electronic control unit, intellectual control

Зниження рівня шкідливих викидів в атмосферу та зростаючі вимоги щодо екологічності [1], збільшення економічної ефективності, включаючи економію палива, спрощення експлуатації та сервісу, інтелектуальне управління – все це є визначальними факторами сучасного розвитку суднових двигунів дизель-генераторних установок [2]. Необхідних результатів можна досягти шляхом зниження споживання палива, зміни його характеристик, а також за допомогою різних систем очищення вихлопних газів [3]. У зв'язку з цим активно впроваджуються інноваційні двопаливні технології, що забезпечують гнучкий вибір між газом та рідким паливом [4]. За необхідністю такі двигуни (Duel Fuel або DF engines) здатні перемикатися з одного виду палива на інший без переривання процесу вироблення електроенергії. В поточний час передовими фірмами

розроблені і промислово освоєні двигуни, які працюють на природному газі за циклом Отто. Однак, на суднах їх застосування було обмеженим з низки об'єктивних причин, головною з яких була складність досягнення необхідного рівня вибухо- та пожежнебезпечності [5].

Метою даної роботи є аналіз технологічних процесів подачі палива в суднових двопаливних двигунах у різних режимах роботи судна.

У двопаливній системі Wärtsilä [6] є можливість вибрати найбільш ефективний вид (або кілька видів) палива залежно від таких факторів, як доступність, ціна та рівень екологічних обмежень.

Особливе місце в ряду суднових двигунів займає двигун Wärtsilä W9L34DF виробничої лінійки компанії Wärtsilä. Цей двигун – дев'ятициліндровий, рядний, чотиритактний, нереверсивний, з турбонаддувом, проміжним охолодженням, з прямим і непрямим уприскуванням рідкого палива [7]. Двигун може працювати в газовому режимі або в режимі Marine Diesel Oil (MDO).

Перехід двигуна з одного виду палива на інший здійснюється автоматично і практично миттєво, незалежно від режиму, на якому він працює. Важливою особливістю двигуна є те, що він працює із застосуванням бідних газових сумішей, крім того, повітря в циліндрі орієнтовно вдвічі більше, ніж потрібно для повного згоряння палива. Тому велика кількість тепла витрачається на нагрівання повітря, а це сприяє суттєвому зниженню пікових значень температур згоряння та різкому зменшенню утворення оксидів азоту (NO и NO_2) [3]. Важливим завданням є попередження вибухового згоряння (детонації), що відбувається при багатих сумішах.

При всіх навантаженнях та швидкісних режимах, значення коефіцієнта надлишку повітря повинні знаходитись у відносно вузькому діапазоні. Регулювання співвідношення повітря-газ здійснюється автоматично на всіх режимах роботи шляхом зміни продуктивності турбокомпресора за допомогою байпасування вихлопних газів, частина їх спрямовується минаючи газотурбокомпресор (ГТК).

Перед двигуном газ фільтрується, стискається в залежності від навантаження двигуна до тиску (3,5 бар при повному навантаженні), величина якого залежить від режиму двигуна. Далі газ прямує до головного впускного клапана, що встановлюється на кришці кожного циліндра. Керуючі імпульси на клапани подаються від електронного блоку управління [8], який, у свою чергу, отримує інформацію від датчиків обертів, навантаження, тиску та температури наддувного повітря та датчика контролю згоряння в кожному циліндрі.

Головний газовий клапан відкривається та закривається у задані моменти часу та подає необхідну кількість газу у впускний патрубок кришки циліндра.

Газ надходить у циліндр у процесі його наповнення повітрям [2]. Подача здійснюється через головний гідравлічно керуемий клапан (рис. 1), встановлений у впускного патрубка циліндра. Відкриття клапана здійснюється маслом, стисненим до 370 бар. Фази відкриття та закриття клапана визначаються електронним блоком управління, що подає струм на соленоїд клапана.

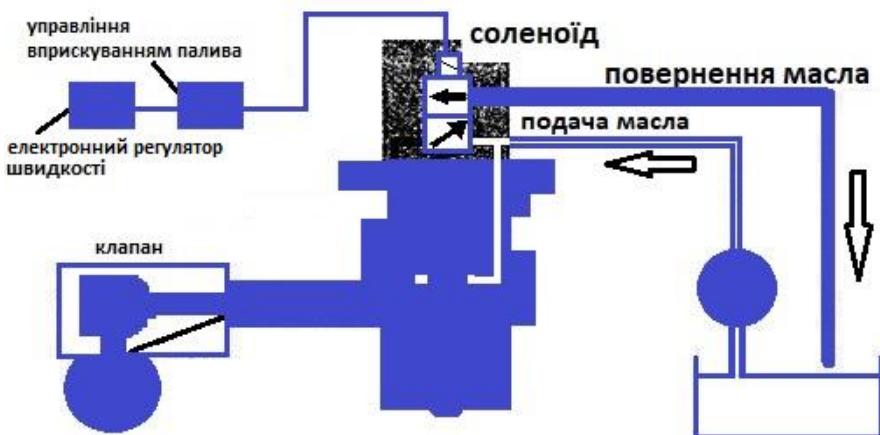


Рисунок 1 – Система керування клапаном подачі газу

Займання бідою суміші «газ-повітря» активується полум'ям, що виникає при самозайманні заздалегідь впорсненої в камеру згоряння невеликої кількості палива (pilot-injection). Подача дизельного палива на двигун здійснюється двома шляхами. Паливо для передприскування стискається окремим скальчастим насосом до 1000 бар і подається в акумулятор, в якому підтримується постійний тиск. З акумулятора паливо надходить до форсунок. Кожна форсунка має два сопла та дві голки. Мала голка для pilot-injection і велика — для основної подачі при роботі двигуна на MDO. Момент та тривалість відкриття малої голки визначається відкриттям та закриттям встановленого у форсунці клапана, керованого соленоїдом. Струм на соленоїд надходить від загального електронного блоку управління. Велика голка керується гідродинамічно, кут випередження і кількість палива, що подається, задаються паливним насосом високого тиску (ПНВТ) в його звичайному для дизелів варіанті. Витрата дизельного палива на передприскування не перевищує 1 г/кВт·годину.

Основна перевага двопаливних двигунів полягає в тому, що вони працюють на дешевому газовому паливі та їх раціонально застосовувати на суднах-газовозах та у берегових енергетичних установках на газових промислах. У разі перебоїв у подачі газу двигун може продовжувати працювати на рідкому паливі MDO (Marine Diesel Oil).

Проведений аналіз технологічних процесів подачі палива в суднові двопаливні двигуни у різних режимах судна дозволяє розглянути питання розробки алгоритму управління електронного блоку з використанням методів сучасних інформаційних технологій ситуаційного управління.

Висновки. Результати подальших досліджень спрямовані на підвищення ефективності використання двопаливних двигунів за рахунок застосування нових алгоритмів інтелектуального управління технологічними процесами подачі палива в суднові двопаливні двигуни.

ЛІТЕРАТУРА

1. Lap Lambert Dual Fuel Diesel Engine: An Experimental Study: Bio Fuels: Future Green Fuels. 2019. - 96 p.

2. I. I. Черниш, С. А. Кар'янський, Є. М. Оженко Сучасні суднові дизелі: особливості конструкції, експлуатації та автоматизованого управління. Одеса, НУ ОМА, 2020. – 216 с.
3. Wan Nurdiyana Wan Mansor Dual fuel engine combustion and emissions – an experimental investigation coupled with computer simulation. Dissertation - Fort Collins, Colorado, 2014. – 162 p.
4. Возницкий И.В., Пунда А.С. Судовые двигатели внутреннего сгорания. М.: Моркнига, 2008. – 470 с.
5. Lanchukovsky V.I. Safe Operation of Marine Power Plants. Marine Engineering Practice Series. London: IMarEST, 2009. – 155 p.
6. И.В. Возницкий - Вяртсиля. Среднеоборотные двигатели модельного ряда L20-LV32. Учебник, – М.: Моркнига, 2008. – 127 с.
7. Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Шевченко В.А., Табулинский Техническая эксплуатация одно- и двухтопливных двигателей Wartsila-Sulzer. Одеса, НУ ОМА, 2017.- 337с.
8. М.В. Милюсов, В.И. Ланчуковский, Е.М. Оженко Электронные системы управления главными судовыми двигателями. Одеса: ОНМА, 2013. – 98с
9. Ланчуковский В.И., Козьминых А.В. Автоматизированные системы управления судовыми дизельными и газотурбинными установками. М.: Транспорт, 1990. - 335с
10. [Ghazi A. Karim](#) Dual-Fuel Diesel Engines. CRC Press, 2021 -315 p.
11. Інструкція з експлуатації: Wärtsilä NSD Marine Engines & Propulsion Systems. Corporation Worldwide, 1998. – 63 p.
12. Zhongcheng Wang 1, Sergejus Lebedevas 2, Paulius Rapalis 3, , Justas Zaglinskis 3, Rima Mickeviciene 2, Vasilij Djakov 2 and Xiaoyu Liu Use of LNG Cold Potential in the Cogeneration Cycle of Ship Power Plants. Journal of Marine Science and Engineering - Shanghai, China, 2020, 8, 720, pp.20-23, doi:10.3390/jmse 8090720
13. Group of Experts on Pollution & Energy (GRPE) DUAL FUEL (NATURAL GAS/DIESEL) ENGINES: OPERATION, APPLICATIONS & CONTRIBUTION, Електронний ресурс: URL: <https://unece.org/DAM/trans/doc/2001/wp29grpe/TRANS-WP29-GRPE-42-inf18.pdf>

УДК 629. 5.016 – 048.35 (045)

ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРОПУЛЬСИВНОЇ УСТАНОВКИ ПАСАЖИРСЬКОГО СУДНА ВОДОТОНЯЖНІСТЮ 2000 ТОНН

С.Ф. Самонов, к.т.н., доцент

В.О. Дубовик, ст. викладач

В.Б. Власов, ст. викладач

А.А. Кульбацький, ст. викладач

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: У роботі розглянуті напрямки модернізації існуючої суднової пропульсивної установки до сучасних вимог по підвищенню енергоефективності і зменшенню викидів у навколишнє середовище. Запропонована структура, в якій застосовані: накопичувач електроенергії з пристроям приєднання до берегового джерела живлення, азіподи та підруллюючий пристрій з електродвигунами на перманентних магнітах і частотними перетворювачами. Представлена структура дозволяє зупиняти суднові дизель-генератори в портах і на рейдах, приєднувати судно до берегової мережі електропостачання без обезструмлення, маневрувати в зонах обмеження викидів за рахунок електроруху. Це дозволяє досягти значної економії палива, знизити вплив на навколишнє середовище.

Ключові слова: енергоефективність, навколишнє середовище, дизель-генератор, азіпод, електродвигун, накопичувач електроенергії.

RATIONALE FOR MODERNIZATION OF PASSENGER VESSEL WITH WATER TONNAGE OF 2000 TONNES

S. Samonov, Associate Professor, PhD

V. Dubovyk, Senior Lecturer

V. Vlasov, Senior Lecturer

A. Kulbatsky, Senior Lecturer

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The paper considers the directions of modernization of the existing ship propulsion system to modern requirements for increasing energy efficiency and reducing emissions into the environment. The structure is proposed, in which the following are used: an electric storage with arrangement for connection to the shore power supply, azipodes and a steering unit with electric motors on permanent magnets and frequency converters. The presented structure allows stopping ship diesel generators in ports and on raids, to connect the ship to the shore network of power supply without de-energization, to maneuver in zones of limitation of emissions at the expense of electric movement. This allows achieving significant fuel savings, reducing the impact on the environment.

Key-words: energy efficiency, environment, diesel-generator, azipod, electric motor, electricity storage.

Як об'єкт дослідження розглянемо судно з наступними основними характеристиками. Призначення: пасажирський круїзний теплохід, прибережного морського і річкового плавання, водотоннажністю 2000 тонн, екіпаж складається з 34 осіб, місце і час будівництва - Голландія, 1995 рік. Розміри: довжина 110 м; ширина 11,4 м; осадка 1,82 м. Енергетична установка складається з трьох головних дизелів потужністю 610 кВт кожен, безпосередньо підключених до трьох кормових гвинторульових колонок (ГРК) типу Aquamaster US-105; двох дизель-генераторів потужністю 240 кВт, 3x380 В, 50 Гц; аварійного дизель-генератора потужністю 132 кВт, 3x380 В, 50 Гц, який може бути використаний в режимі стоянки. Паливо, що використовується в головних і допоміжних двигунах - широко поширене, дизельне. Всі дизелі оснащені електростартерними пусковими засобами, які, як і автоматика дизельних двигунів, живляться від власних акумуляторних батарей з зарядними пристроями. У носовій частині корпусу судна розташований підрульючий пристрій тунельного типу потужністю 120 кВт. До складу суднової електростанції входить панель живлення з берега, яка розрахована на приймання електроенергії 3x380 В, 50 Гц, 125 А, 60 кВт.

ГРК Aquamaster US-105 фірми Rolls-Royce відноситься до сімейства пропульсивних установок модульного типу і стандартної Z-конфігурації з гвинтом фіксованого кроку діаметром 1300 - 1500 мм у насадці або у відкритому виконанні, споживаної потужністю 480 - 720 кВт при частоті обертання приводного валу 1000 - 1800 об/хв. Маса ГРК близько 4,5 тонн при створюваній корисній тязі гвинта 8 – 11 тонн. Поворот ГРК відносно вертикальної осі здійснюється за допомогою гіdraulічного приводу. Система управління ГРК Aquapilot мікропроцесорної архітектури забезпечує дистанційне відстеження і дублювання простого управління гіdraulічним поворотним приводом, автоматизоване від авто-

рульового, а також аналогове управління частотою обертання приводного дизеля.

На момент будівництва та експлуатації суден конвенційні вимоги щодо безпеки і запобігання забруднення навколошнього середовища ще не були настільки жорсткими, як в даний час. Тому на сьогодні провідними суднобудівними фірмами активно розробляються, пропонуються та реалізуються новітні концепції, які засновані на сучасних досягненнях у морській інженерії. Це відноситься як до суден різного призначення, що будується, так і до існуючих суден, які модернізуються для відповідності сучасним вимогам.

Багато суден, які працюють на європейських водних і прибережних морських шляхах, включаючи особливі зони з обмеженнями викидів двоокису вуглецю, NO_x, SO_x, що забруднюють атмосферу, були побудовані більше 30 років тому. Близько половини суховантажів і танкерів, що працюють в басейні Рейну, були введені в експлуатацію в 1965-1975 роках. Аналогічна ситуація має місце в Азово-Чорноморському регіоні, де перевезення здійснюють національні флоти, судна яких уже не відповідають вимогам міжнародних конвенцій та регіональним нормам.

Стійкий розвиток вантажоперевезень внутрішнім водним транспортом, як великого споживача енергії з вуглеводневого палива, розуміння ролі процесів в зміні клімату знайшло відображення у Європейських правилах щодо позашляхової рухомої техніки – вимоги етапу V у Регламенті 2016/1628 (ЄС) та додаткових регламентах, що застосовуються до дизельних двигунів у внутрішньому судноплавстві [1].

Міністерством транспорту Китайської Народної Республіки у листопаді 2018 року з метою виконання національного Закону про запобігання та збереження під контролем забруднення повітря та застосованих міжнародних конвенцій введена «Схема реалізації внутрішніх зон контролю викидів забруднюючих речовин із суден морського узбережжя, затоки Хебей та у дельтах річок». У документі наведено, зокрема, такі вимоги. З 1 січня 2022 року вміст сірки у будь-якому паливі, що використовується на борту морських суден, не повинен перевищувати 0,1% у прибережній зоні контролю викидів. Китайські судна загального користування, внутрішнього плавання, контейнеровози, пасажирські та суховантажні судна, ро-ро, зайняті у внутрішніх прибережних рейсах, повинні бути оснащені бортовими пристроями для живлення береговою енергією та використовувати їх при стоянці біля причалу.

Як альтернативні методи для виконання вимог щодо контролю за викидами суднами можуть застосовуватися: чиста енергія, бортові накопичувачі енергії та системи очищення вихлопних газів [2], а також судна з електрорухом (рис.1).

Проект передбачає використання високоефективних азіподів та підруллюючих пристрій, розроблених фірмою Kongsberg Maritime, з електродвигунами на постійних магнітах та напівпровідниковими перетворювачами частоти. Дизелі, що встановлюються на суднах, відповідають конвенційним вимогам щодо викидів рівня Tier II.

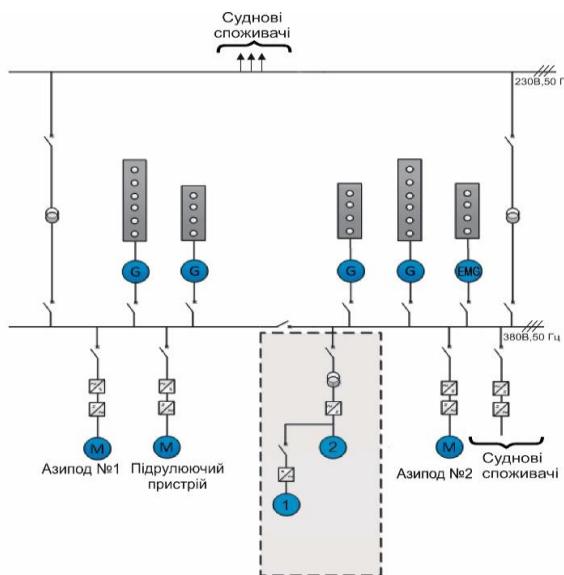


Рисунок 1 – Схема розподілу електроенергії для модернізації пасажирського судна, що розглядається
 (1- пристрій живлення "судно - берег",
 2 - накопичувач електроенергії)

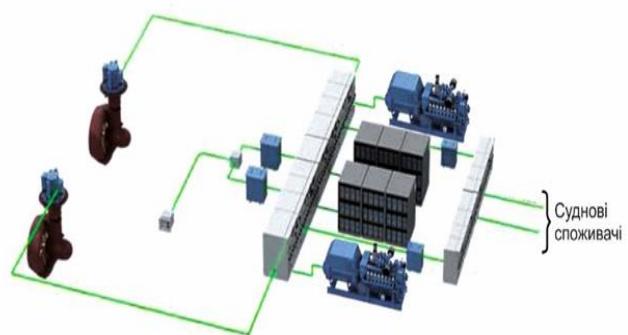


Рисунок 2 – Проект гібридної силової установки автомобільно-пасажирського порома з електроприладом і силовим пристроям з берегової мережі Kongsberg Maritime [3]

До складу суднової електростанції входить накопичувач електроенергії великої ємності на економічних літій-іонних модулях та спеціалізований пристрій живлення судна від берегової мережі з перетворювачем частоти та шиною постійного струму. Це дозволяє під час стоянки судна зробити зарядку накопичувача електроенергії та запобігти знеструмленню судна за рахунок синхронізації та паралельної роботи суднового генератора з береговою мережею.

Враховуючи, що ємності накопичувача достатньо для живлення судна електроенергією на стоянці та електроруху судна протягом кількох годин, спеціалістами-розробниками прийнято рішення на останньому судні серії зменшити кількість дизель-генераторів із трьох, як на попередніх суднах, до двох (рис.2). При цьому досягається значне до 20% підвищення паливної ефективності. Пропонована технологія розглядається, як ключ до виконання стратегій IMO зі скороченням викидів двоокису вуглецю [3].

Висновки.

1. Найважливішими критеріями при можливій модернізації пропульсивної установки судна, що розглядається, є відповідність вимогам міжнародних та регіональних нормативних актів і чинних конвенцій з безпеки, енергоефективності та охорони навколишнього середовища.

2. У разі прийняття рішення про заміну, перевагу слід віддавати сучасним високоефективним з точки зору гідродинаміки, екологічності та комфорtabельності азімутальним трастерам L/Z типів і підрулуючих пристройів з частотно регульованими електроприводами або гібридним ZY типу трастерам з приводом від дизеля та електродвигуна.

3. Для маневрування та стоянки судна в портах, де не дозволяється робота суднових дизелів, в суднову електростанцію доцільно інтегрувати стаціонарний накопичувач електроенергії достатньої ємності.

4. Судно має бути оснащене комплексом інтегрованих взаємопов'язаних систем управління і моніторингу для вирішення завдань навігації та вибору оптимальних за ефективністю режимів роботи суднового обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДУНАЙСЬКА КОМІСІЯ. Шістдесят дев'ята сесія. ДК/СЕС 69/17. СПІЛЬНА ЗАЯВА про керівні принципи розвитку внутрішнього судноплавства та екологічного захисту Дунайського басейну.

2. <https://www.msa.gov.cn/html/xxgk/tzgg/wgfw/20191025/7917B172-1CB6-421E-881C-25E5D00001B3.html>

3. <https://www.kongsberg.com/maritime>

УДК 621.431-713.1

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ОХОЛОДЖЕННЯ ТАНКЕРУ ДЕДВЕЙТОМ 112 ТИСЯЧ ТОН

А.О. Цибух, курсант

М.С. Химчак, курсант

М.Й. Муха, д.т.н., професор

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: У роботі розглянуто питання енергоефективного управління системою охолодження танкеру. Приведено приклади модернізації системи охолодження методом встановлення частотно-керованого приводу насосів, що приведе до зниження споживання електроенергії, зниження витрат палива і шкідливих викидів у довкілля.

Ключові слова: система охолодження, енергоефективність, частотно-регульований привід, енергоефективне управління

ENERGY EFFICIENT CONTROL OF THE TANKER COOLING SYSTEM WITH A DEADWEIGHT OF 112 THOUSAND TONS

A. Tsybukh, cadet

M. Khymchak, cadet

M. Mukha, Dr. of Science, Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The article considers the issues of energy efficient management of tanker cooling system. Examples of modernization of the cooling system by installing a frequency-controlled drive of pumps, which will reduce energy consumption, fuel consumption and harmful emissions into the environment are given.

Key-words: cooling system, energy efficiency, frequency-controlled drive, energy efficient control

Енергоефективність можна визначити як зниження енергоспоживання без зниження кількості та якості продукції або послуг. В цьому відношенні енергоефективність у промисловості розглядається як запобігання витрат

енергії в системах опалення і охолодження, насосних і компресорних установках.

Дослідження показує, що насоси берегових енергоустановок споживають 20% усієї виробленої енергії. Показано, що 20-30% енергії, що споживається насосами може бути заощаджена тільки при деяких незначних змінах [1]. Таким чином, модернізація насосів та насосних систем має велике значення з точки зору енергоефективності в різних промислових секторах.

Суднові насоси входять майже до усіх систем машинного відділення. За останніми розрахунками насоси та насосні установки споживають майже 50% електроенергії, що виробляється на борту судна. Це дуже велика частина загальної потужності. Порівнюючи з береговими установками (які становлять 20%), важливість модернізації керування і використання насосних установок на судах очевидна.

Для більшості суден допоміжні механізми спроектовані з розрахунком, що температура морської води в контурі буде 32°C, але реальна температура, у більшості випадків, нижча за проектну, тому теплова потужність цих допоміжних машин збільшується. Це означає, що здатність до охолодження збільшується при більш низькій температурі. У разі центральної системи охолодження, центральний охолоджувач може охолоджувати до температури 36°C. Інакше кажучи, центральний охолоджувач має більший запас та триходовий клапан відкритий на бік байпасу. При цьому центральна система охолодження є неефективною, оскільки головний насос морської води завжди працює зі 100% навантаженням, незалежно від реальної температури морської води. Таким чином, очевидно, що необхідно модернізувати керування насосами, встановити комп’ютерну систему, що може дати економію на судні.

Отже наша комп’ютерна система для оптимізації центрального охолодження судна. Вона заощаджує енергію за рахунок зниження споживання енергії електродвигунів насосів, що у свою чергу знижує споживання палива двигуном-генератором судна. Крім того, вона також знижує викиди парникових газів. Система контролює температуру морської води та прісної води низької температури, положення 3-ходового клапана, а потім регулює швидкість головного насоса морської води для оптимізації продуктивності насоса морської води, щоб заощадити необхідне споживання енергії для роботи головного насоса морської води. Внаслідок цього знижаються експлуатаційні витрати судна.

Організація трубопроводу систем охолодження головних двигунів (ГД) значно відрізняється від одного виробника до іншого. Нижче наведено схематичну діаграму трубопроводу, щоб проілюструвати основний принцип схеми та її співвідношення.

Вода у сорочці циркулює через охолоджувач і циліндри двигуна за допомогою водяногого насоса охолодження сорочки.

Регулюючий клапан 2 з термостатом, на виході з охолоджувача змішує охолоджену і неохолоджену воду в сорочці в таких пропорціях, щоб температура води на виході з головного двигуна підтримувалася на рівні близько 88-92 °C.

Регулюючий клапан 2 контролюється датчиком 3, який розташований на виході охолоджуючої води головного двигуна.

Розширювальний бак 5 компенсує різницю в об'ємі води при зміні температури.

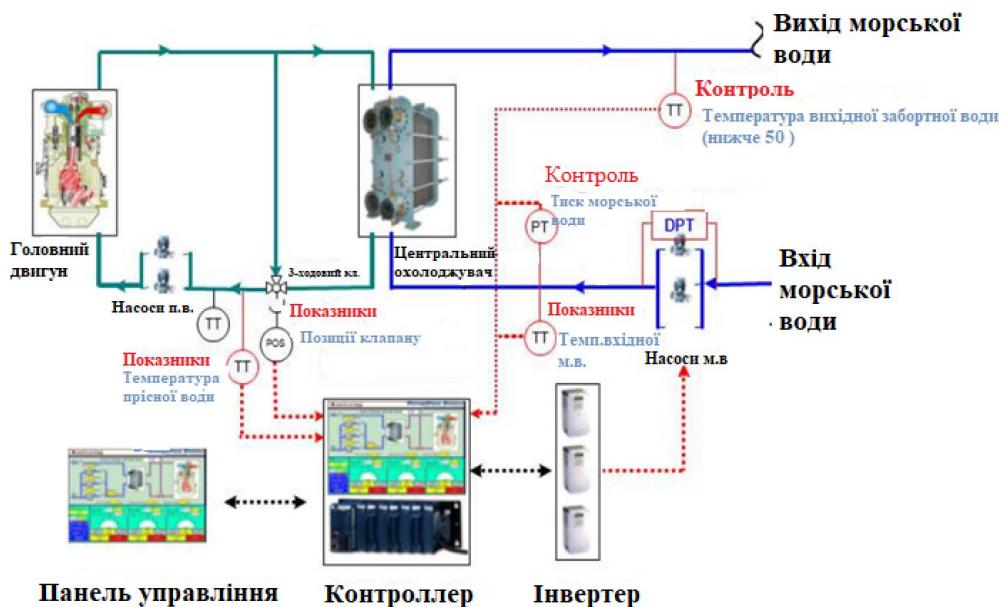


Рисунок 1 – Система керування насосами морської води

Щоб запобігти накопиченню повітря в системі охолоджуючої води, у вихідний трубопровід вставлено деаераційний бак 4. Також встановлено сигналізатор, який подає сигнал у разі надмірного утворення повітря/пари в системі [4].

Аналізована система має наступні техніко-експлуатаційні характеристики:

1. Робочий тиск – 0,42-0,52 МПа;
2. Продуктивність насоса – 124 м³/год;
3. Робочий діапазон температур 75-92 С°.



Рисунок 2 – Система охолодження ГД

Розглянемо існуючі нині способи регулювання температури охолоджувального середовища. Застосовують два способи регулювання: перший – зміною кількості прокачуваної води через систему, другий – зміною температури. Перший з них у суднових енергетичних установках на сьогодні самостійно не застосовується [5]. Це пояснюється тим, що при малих кількостях води, отже, і малих її швидкостях можливе порушення циркуляції потоку в засорочковому просторі двигунів і, як наслідок, поява місцевих перегрівів стінок з утворенням парових мішків.

Принцип зміни умов відведення тепла шляхом зміни температури води на вході в систему $t^{\circ}1$ може бути реалізований такими конструктивними способами (рисунок 3): перепуском у внутрішньому контурі, дроселюванням, обведенням та перепуском у контурі зabortної води. З метою спростити схеми всі можливі джерела тепла в системі зведені до одного двигуна (джерела тепла).

З наведених схем видно, що робота, виконувана приводними двигунами насосів системі охолодження ГД, залишається практично незмінною по всьому діапазоні регулювання. Також відомо, що потужність, що споживається приводним електродвигуном, прямо пропорційна кубу частоти обертання цього двигуна [6].

Тому можна припустити, що за допомогою частотно-регульованого приводу насоса можна реалізувати схему на рисунку 3, але без застосування дросельюючого клапана, що, зробить систему більш економічною [7].

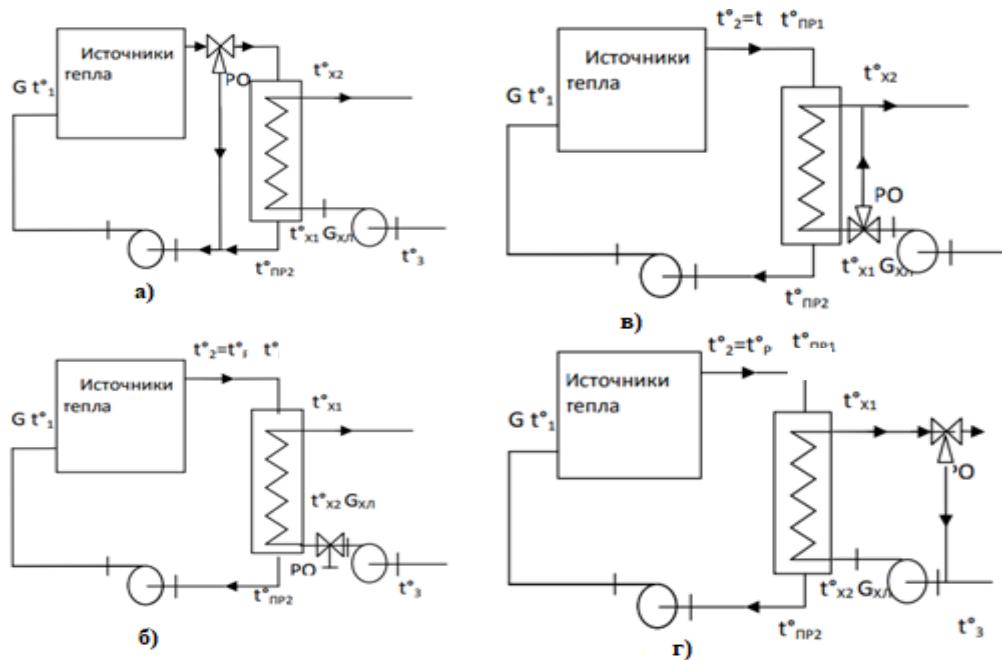


Рисунок 3 – Схеми способу регулювання за принципом зміни температури води на вході в двигун

Основні характеристики відцентрового насосу напряму залежать від частоти обертання. На рисунку 4 зображена робоча характеристика насосу в залежності від його частоти обертання.

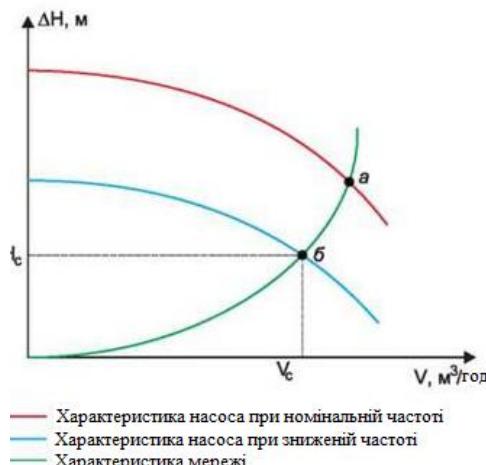


Рисунок 4 – Залежність робочої характеристики насосу від частоти обертання

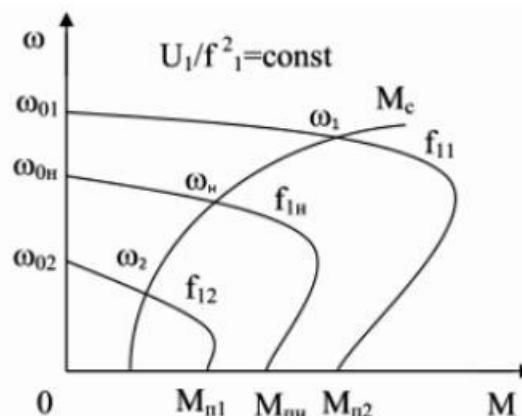


Рисунок 5 – Характеристики для навантаження вентиляторного характеру

Фізика даного методу така: знизивши в двоє частоту обертання робочого колеса насоса, в два рази зменшується його подача, в чотири рази зменшується напір і у вісім разів зменшується споживання електроенергії.

Цей вид навантаження характерний тим, що необхідно постійно підтримувати співвідношення напруги до квадрату частоти сталим:

$$\frac{U}{f^2} = \text{const}$$

В такому разі механічна характеристика електродвигуна матиме вигляд, як показано на рисунку 5 [8].

Висновки. Сучасні методи модернізації систем охолодження і насосних установок дозволяють значно зменшити експлуатаційні витрати судна. Насоси з частотно-керованим приводом, які контролюються комп’ютерною системою дають змогу ефективно виконувати технологічний процес.

ЛІТЕРАТУРА

1. Europump. 2006. System Efficiency – A Guide for Energy Efficient Rotodynamic Pumping Systems.
2. Eyring V, Köhler HW, Van Aardenne J, Lauer A. 2005. Emissions from international shipping: 1. The last 50 years. *J Geophys Res Atmos.* 110:1984–2012.
3. Эксплуатация, обслуживание и ремонт двигателей MAN B&W-ME - Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Шевченко В.А. [2014]
4. 50-108ME/ME-C - VOLUME I OPERATION
5. Гаврилов И.В., Камкин С.В., Шмелев В.П. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок. – М.: Транспорт, 1979. – 415 с.
6. Овсянников М.К., Петухов В.А. Дизели в пропульсивном комплексе морских судов. – Л.: Судостроение, 1987. – 254 с.
7. А. Г. Гацуц, А. Р. Миська, А. О. Дранкова «Підвищення ефективності роботи суднових енергетичних установок шляхом забезпечення оптимального температурного режиму» 16.06.2011 – Одеса: НУ ОМА. – 2011. – С. 71-74.
8. «Energy savings with electric motors and drive», AEA Group, UK

УДК 629.5. – 64.5:621.314.5

INFLUENCE OF IMPLEMENTATION OF THE EXHAUST GAS CLEANING SYSTEM ON THE QUALITY INDICATORS OF THE SHIP POWER NETWORK

Alla Drankova, PhD, ass. Professor

Igor Krasovskyi, PhD student

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: Based on the presence of higher harmonics of voltage and current in the power network, the article discusses ways to improve the quality indicators of a ship power network with a nonlinear load. The analysis of the power quality indicators of the power network was carried out using the computer models "Ship's power network – Nonlinear load" and "Ship's power network – Active harmonic filter (AHF) – Non-linear load" created in the MATLAB environment. Showed that the model using an AHF allowed to reduce the total harmonic distortion (THD) of voltage and current to the norms that are determined by marine standards.

Keywords: power quality indicators, ship's power network, non-linear load, passive harmonic filter, active harmonic filter, total harmonic distortion (THD).

ВПЛИВ ЗАПРОВАДЖЕННЯ СКРУБЕРНОЇ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

А.О. Дранкова, к.т.н., доцент

І.І. Красовський, аспірант

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Виходячи з наявності вищих гармонік напруги та струму в судновій електромережі, у статті розглядаються шляхи підвищення якісних показників суднової електромережі з нелінійним навантаженням. Аналіз показників якості електроенергії електромережі здійснювався за допомогою комп'ютерних моделей «Електрична мережа судна – нелінійне навантаження» та «Електрична мережа судна – фільтр активних гармоній – нелінійне навантаження», створених у середовищі MATLAB. Показано, що модель з використанням активного фільтра гармоній (АФГ) дозволила знизити сумарні гармонійні спотворення THD напруги і струму до норм, які визначаються морськими стандартами.

Ключові слова: показники якості електроенергії, суднова електромережа, нелінійне навантаження, гармонійне спотворення, пасивний фільтр гармонік, активний фільтр гармонік, сумарний коефіцієнт гармонік (THD).

One of the reasons for the deterioration of electricity quality is the nonlinear load of the ship's power network. Widespread implementation of static power converters, frequency-controlled electric drive, and energy saving lighting systems leads to changes in the nature of electrical loads of many consumers. Consumption of low-quality electricity leads to the injection into the power network of electromagnetic distortions, and the deterioration of the shape wave curve of the current and voltage of the power network [1,2].

Failures and surges of voltage, non-sinusoidal form of voltage and current are the cause of failures in the operation of sensitive electronic components and devices. The problem of non-sinusoidal voltage and current leads to increased losses, deterioration of insulation and reduced service life of electrical appliances. Thus, maintaining high quality electricity is an urgent task for all power supply systems of the ship's power network.

The traditional way to improve the quality of the power network is the using different harmonic filters such as passive harmonic filters (PHF) and active harmonic filters (AHF) [3,4].

Passive harmonic filters are static devices that use voltage resonance or current resonance and provide attenuation of the high-frequency harmonics to which the resonant circuit is tuned [4]. The efficiency of passive harmonic filters decreases due to changes in the harmonic composition of current and voltage in the mains, as well as when - changes in the impedance of the mains. These are the main disadvantages of using PHF marine power lines with the nonlinear load.

The paper proposes the use of an active harmonic filter with an electric drive of the feedwater pump of the exhaust gas cleaning system, which is able to perform functions of elimination of higher harmonics of current and voltage and reactive power compensation [3,5,6]. These features of AHF make them perspective for using in a ship's power network.

The following computer models were created for the experimental study in the MATLAB environment in the Simulink package: "Ship network – Nonlinear load" and "Ship network – AHF – Nonlinear load" (fig.1). The models are tuned to the mains voltage $U = 440V$ with an operating frequency $f = 60Hz$. The load of the power network is realized by a frequency-regulated electric drive with true power 150 kW.

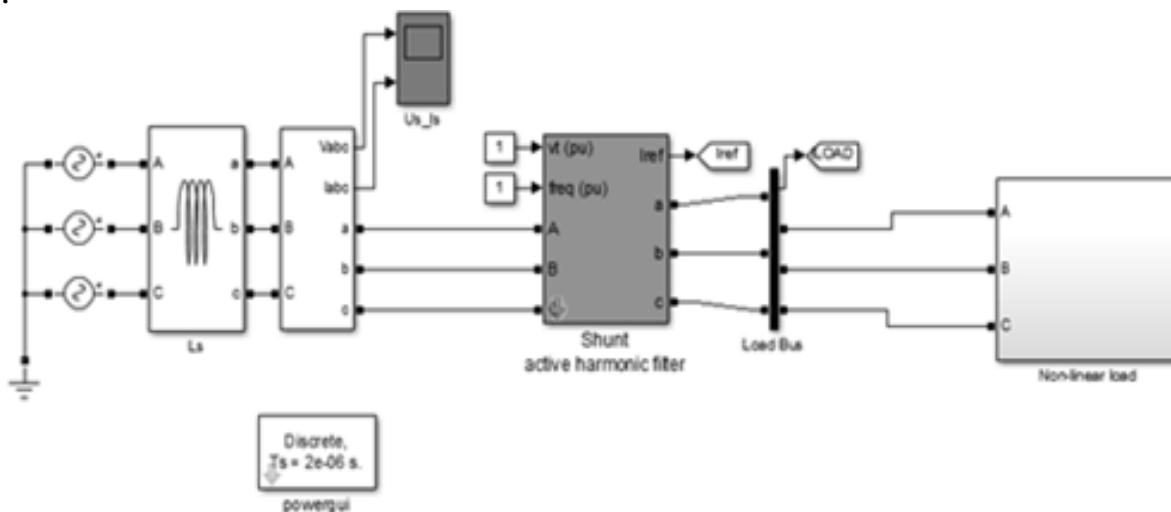


Figure 1 - Computer model "Ship network – AHF – Nonlinear load"

The computer model without the using of a filter contented harmonic spectra in the power network. The THD of voltage and current are 8.49% and 36.63%, respectively, which exceeds the norms set by marine standards for the quality of electricity on ships [2,6]. Oscillograms of voltage and current without the using AHF and with the using AHF are shown in Fig. 2.

Computer simulations had shown that the model with AHF has reduced the THD voltage to 0.02% and current to 1.29%. Visual analysis of oscillograms shows the almost sinusoidal nature of the voltage and current of the mains.

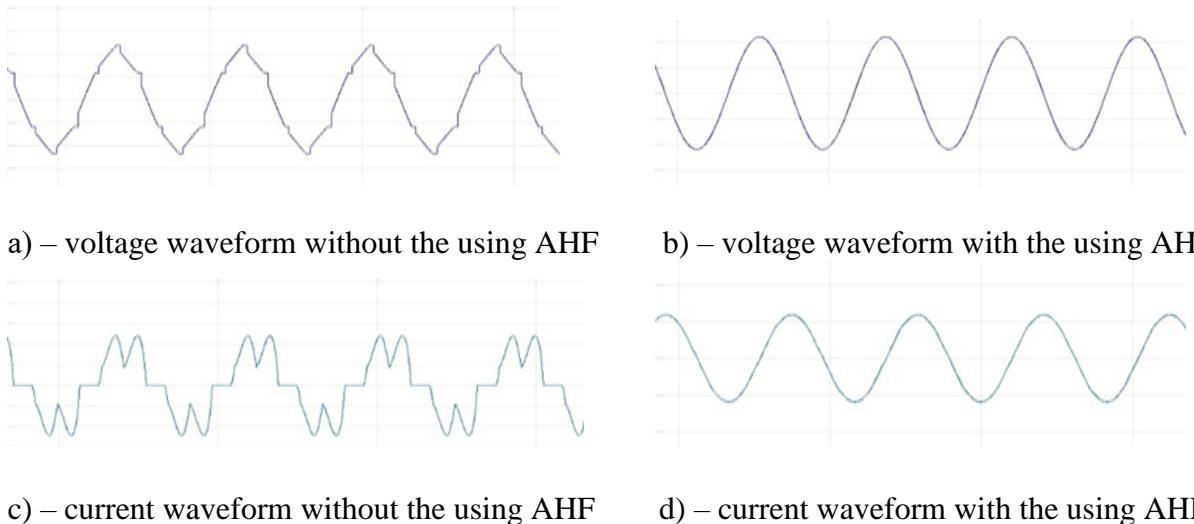


Figure 2 – Oscillograms of voltage and current

Conclusions. The computer simulation and analysis of the obtained results confirm the general theoretical provisions regarding the presence of higher harmonics of voltage and current in the power network with a nonlinear load. The computer model with AHF allows reducing THD of voltage and current to values below the norms established by marine standards. This demonstrates the effective use of AHF to suppress high harmonics of voltage and current.

REFERENCES

1. Lloyds Register of Shipping, Rules and regulations for the classification of naval ships - electrical engineering, LRS, Vol. 2, part 10, charter 1, 2001.
2. IEEE 1159:1995 IEEE "Recommended Practice on Monitoring Electric Power Quality".
3. Kale M., Ozdemir E. Harmonics and reactive power compensation with shunt active power filter under non-ideal mains voltage // Electric Power Syst. 2005. Res. 77. P. 363-370.
4. H. Zhang, A.M. Massoud, S.J. Finney, B.W. Williams and J.E. Fletcher, "Operation of an active power filter with line voltage SVM under non-ideal conditions", Proc. 2007 Compatibility in Power Electronics, p. 1-7.
5. Akagi, H. Active harmonic filters. Proceedings of the IEEE. Vol. 93, 2005, No. 12, pp. 2128-2141.
6. A. Drankova, I. Krasovskiy "Methods of improving the quality of electrical energy in autonomous energy systems"//Materials of the scientific-methodical conference "Actual nutrition of ship electrical engineering and radiotechnics" – December 15, 2015 - December 16, 2015 – 2015. – p. 45-48.

Секція 3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

УДК 621.362.2

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРОЦЕСІВ БАГАТОФАЗНИХ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТИЙНОЇ НАПРУГИ ПРИ БЕЗРОЗВИВНИХ СТРУМАХ ДРОСЕЛІВ СИЛОВИХ КАНАЛІВ

I.П. Малявін, к.т.н, доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. Розглядаються електричні процеси багатофазних імпульсних перетворювачів постійної напруги (БІП) з безрозривним 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 CONTINUOUS CURRENTS OF POWER CHANNELS

I. P. Maliavin, PhD, Assistant professor
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. Electrical processes of multiphase pulse converters of DC voltage (MPC) with a continuous 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.

Складовою частиною сучасних засобів електророживлення радіотехнічних систем є імпульсні перетворювачі постійної напруги (ППН) модульної структури, виконані з паралельно включених однотипних N силових каналів (СК). По-

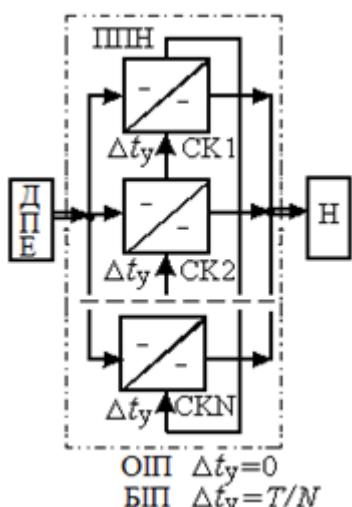


Рисунок 1 – Структурна схема ППН модульної структури ня, Н – навантаження.

ліпшення техніко-економічних показників імпульсних ППН є одним із актуальних завдань [1]. При багатофазному режимі роботи – у багатофазному імпульсному перетворювачі (БІП) електричні процеси в k -х СК ППН синхронні, але не синфазні, і зміщені в часі на інтервал $\Delta t_y = \Delta t_N = T/N$, де T – період електричних процесів в окремо взятому k -му СК (рис.1). Це призводить до значного зменшення рівня пульсацій на вході та виході БІП – порівняно з однофазним імпульсним перетворювачем (ОІП), в якому часове зміщення між електричними процесами в СК відсутнє ($\Delta t_y = 0$) – що обумовлює використання згладжуючих фільтрів з меншими масогабаритними показниками [2]. На рис. 1 позначено ДПЕ – джерело первинного електроживлен-

Виконання обмотки дроселя у вигляді двох частин та включення їх за автотрансформаторною схемою дозволяє або зменшити (рис. 2, а, в, д) або збільшити (рис. 2, б, г, е) напругу на силовому комутуючому транзисторі в порівнянні з однообмотувальним дроселем [3]. Відсутність результатів досліджень електричних процесів основних структур побудови БП при безрозривних струмах силових дроселів, включених за автотрансформаторною схемою, стримує широке їх використання через неможливість кількісної оцінки параметрів використовуваних елементів та обґрунтованості використання того чи іншого схемотехнічного рішення.

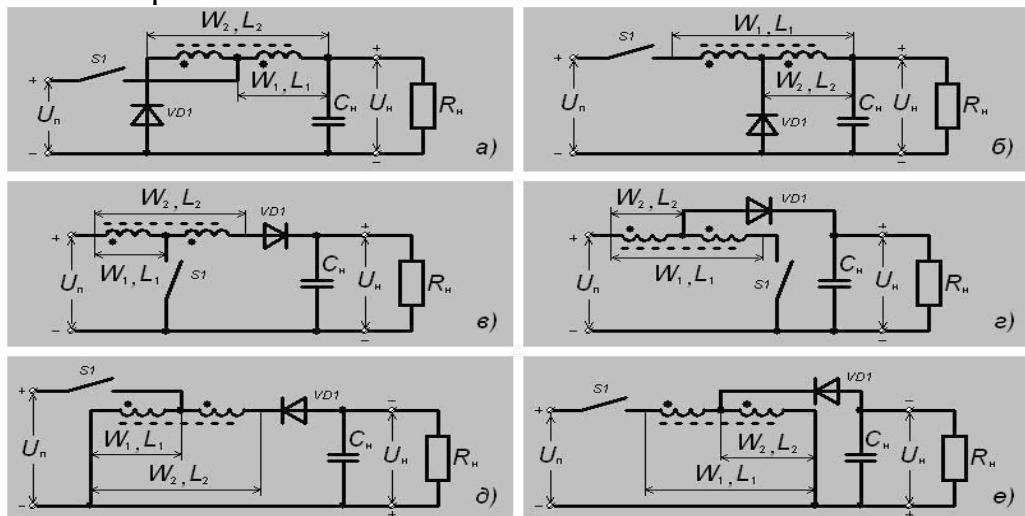


Рисунок 2 – Імпульсні ППН з автотрансформаторним включенням дроселя при $n_{21} > 1$ (а, в, д) та $n_{21} < 1$ (б, г, е): знижуючий $y = 1$ (а, б), підвищуючий $y = 2$ (в, г), інвертуючий $y = 3$ (д, е)

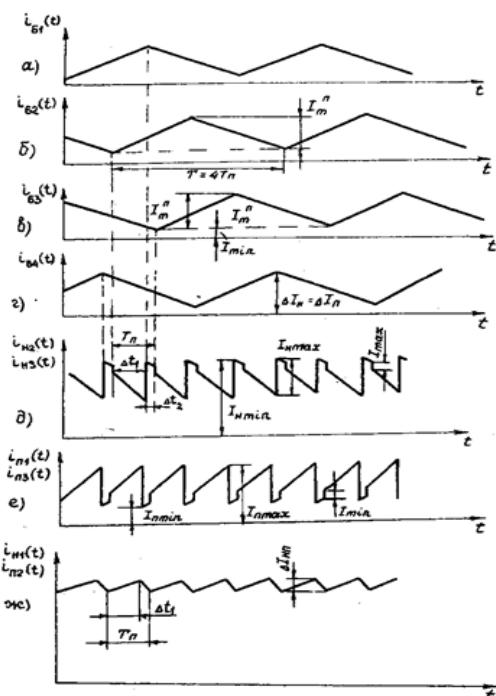


Рисунок 3 – Часові діаграми струмів дроселів (а-г), струмів споживання та навантаження (д-ж) БП для $N=4$
 ється специфіка конкретної схеми БП.

При безрозривному режимі роботи перелічені схеми БП мають одинаковий характер зміни струмів у силових дроселях СК (рис. 3, а-г) та їх рівномірне зміщення в часі обумовлює одинаковий характер зміни струмів на виходах підвищуючого $i_{H2}(t)$ і інвертуючого $i_{H3}(t)$ БП (рис. 3, д); на виходах знижуючого $i_{P2}(t)$ і інвертуючого $i_{P3}(t)$ БП (рис. 3, е); на виході знижуючого $i_{H1}(t)$ і вході підвищуючого $i_{P2}(t)$ БП (рис. 3, ж). Це дозволяє описати електричні процеси у трьох основних схемах БП в узагальненому вигляді через параметри електричних процесів силових дроселів. Параметри для кожної схеми, що входять в узагальнені співвідношення, описуються різними формулами: при цьому врахову-

При безрозривному режимі функціонування для СК типів, що розглядаються ($y=1\dots3$) характер зміни струму $i_{Lk}(t)$ і напруги $u_{Lk}(t)$ дроселя вихідного згладжуючого фільтра k -го СК одинаковий для всіх типів СК (табл. 1). У табл. 1 прийняті такі позначення: $I_{\min1k}$, $I_{\min2k}$ і I_{m1k} , I_{m2k} – мінімальні струми та розмахи пульсацій струмів відповідно в індуктивності L_{1k} обмотки з числом витків W_{1k} та в індуктивності L_{2k} обмотки з числом витків W_{2k} силового дроселя; $i_{Lhk}(t)$ і $U_{Lhk}(t)$ і $i_{Lbk}(t)$ і $U_{Lbk}(t)$ – струми та напруги обмоток дроселя вихідного згладжуючого фільтра на інтервалах часу відповідно накопичення t_h ($0 \leq t \leq t_h$) і повернення t_b ($t_h < t \leq T$) електричної енергії; F_{hy} , F_{by} – коефіцієнти топології схем СК перетворювачів, що дозволяють врахувати специфіку конфігурації аналізованих типів (у) СК на інтервалах часу відповідно накопичення та повернення; U_{bxk} – напруга, що прикладається на вхід силового згладжуючого фільтра k -го СК (для СК аналізованих типів $U_{bxk} = U_{pk}$ – напруга ДПЕ).

Таблиця 1 – Рівняння струмів та напруг елементів силових каналів

Співвідно-шення	Інтервал періоду	
	$0 < t \leq t_{hk}$	$t_{hk} < t \leq T = t_{hk} + t_{bk}$
$i_{Lk}(t)$	$i_{Lhk}(t) = I_{\min1k} + I_{m1k} t_k / t_{hk}$	$i_{Lbk}(t) = I_{\min2k} + I_{m2k} [1 + (t_{hk} - t_k) / t_{bk}]$
$u_{Lk}(t)$	$U_{Lhk} = U_{bxk} - F_{hy} U_h$	$U_{Lbk} = U_h - F_{by} U_{bxk}$

$$t_k = t - t_{ck} + T \text{ при } t - t_{ck} < 0; t_k = t - t_{ck} \text{ при } 0 \leq t - t_{ck} < T; t_k = t - t_{ck} - T \text{ при } t - t_{ck} > T;$$

$$I_{m1k} = \begin{cases} (U_{pk} - U_h) t_{hk} / L_{1k} & \text{для } y = 1; \\ U_{pk} t_{hk} / L_{1k} & \text{для } y = 2, 3, \end{cases} \quad I_{\min1k} = \begin{cases} U_h n_{21k} / R_{hk} (k_b + k_h n_{21}) - 0,5 I_{m1k} & \text{для } y = 1; \\ U_h n_{21k} / R_{hk} k_b - 0,5 I_{m1k} & \text{для } y = 2, 3, \end{cases}$$

$$t_{ck} = \begin{cases} T(k-1)/N & \text{для БП;} \\ 0 & \text{для ОП,} \end{cases} \quad F_{hy} = \begin{cases} 1 & \text{при } y = 1; \\ 0 & \text{при } y = 2, 3; \end{cases} \quad F_{by} = \begin{cases} 1 & \text{при } y = 2; \\ 0 & \text{при } y = 1, 3, \end{cases}$$

де T – період перетворення; t_{ck} – часовий зсув електричних процесів k -го СК щодо початку координат, t_k – поточний час k -го СК; $T_p = T/N$; $k_{hk} = t_{hk} / T$, $k_{bk} = t_{bk} / T$ – коефіцієнти накопичення та повернення відповідно.

Через коефіцієнт автотрансформації n_{21k} пов'язані $I_{\min1k}$, $I_{\min2k}$, I_{m1k} , I_{m2k} , L_{2k} і L_{1k} : $I_{\min1k} = n_{21k} I_{\min2k}$, $L_{2k} = L_{1k} n_{21k}^2$; $n_{21k} = W_{2k} / W_{1k}$; $I_{m1k} = n_{21k} I_{m2k}$.

Розглянемо будь-який інтервал часу тривалістю T_p . За початок відліку приймається момент часу t_0 , відповідний моменту часу переходу в замкнений провідний стан силового комутуючого елемента будь-якого (чергового) k -го ($k=1, 2, \dots, N$) СК, у якого струм $i_{Lbk}(t)$ дроселя досяг мінімального значення $I_{\min1k}$. Тоді момент часу t_1 , відповідний моменту переходу в розімкнутий непровідний стан силового комутуючого елемента будь-якого (чергового) k -го СК, у якого струм $i_{Lhk}(t)$ досяг максимального значення, що дорівнює $I_{\max1k} = I_{\min1k} + I_{m1k}$ буде в інтервалі $0 \leq t_1 \leq T_p$. В інтервалі часу $t_0 < t < t_1$ дроселів накопичують енергію, b_1 дроселів повертають накопичену енергію. В інтервалі часу $t_1 < t < T_p$ дроселів накопичують енергію, b_2 дроселів повертають енергію.

Отримані співвідношення (табл. 2), що визначають мінімальні I_{hmin} і максимальні I_{hmax} значення струмів, що надходять у навантаження; максимальні $I_{\text{ппmax}}$ і мінімальні $I_{\text{ппmin}}$ значення струмів, що споживаються від ДПЕ для БП з СК знижуючого ($y=1$), підвищуючого ($y=2$) та інвертуючого ($y=3$) типів:

$$I_{\text{h1max}} = I_{\text{пп2max}} = I_{\text{h1пп2max}} = \begin{cases} I_{\text{h1пп2max1}} & \text{якщо } n_{21} \geq 1; \\ I_{\text{h1пп2max2}} & \text{якщо } n_{21} < 1, \end{cases}$$

$$I_{\text{h1пп2max1}} = I_{m1} p_1 [1 - (p_1 - 1)/2N_{K_h}] + p_1 I_{\text{min1}} + (N - p_1) I_{\text{min2}} + I_{m2} b_1 [1 - (b_1 + 1)/2N_{K_b}].$$

$$I_{\text{h1пп2max2}} = I_{\text{h1пп2max1}} - I_{\text{max1}} + I_{\text{max2}}.$$

$$I_{\text{h1пп2min}} = \begin{cases} I_{\text{h1пп2min1}} = \frac{I_{m1} p_1 (p_1 - 1)}{2N_{K_h}} + I_{\text{min2}} + \frac{I_{m2} b_1 (b_1 - 1)}{2N_{K_b}} & \text{якщо } n_{21} \geq n_{21\text{гран1}} \geq n_{21\text{гран2}}, \\ I_{\text{h1пп2min2}} = I_{m1} p_1 \left[1 - \frac{p_2}{2N_{K_h}}\right] + I_{\text{min1}} + I_{m2} b_1 \left[1 - \frac{b_2}{2N_{K_b}}\right] - I_{\text{max1}} + I_{\text{max2}} & \text{якщо } n_{21} > n_{21\text{гран1}} > 1; \\ I_{\text{h1пп2min3}} = I_{m1} p_1 \left[1 - \frac{p_2}{2N_{K_h}}\right] + I_{\text{min1}} + I_{m2} b_1 \left[1 - \frac{b_2}{2N_{K_b}}\right] & \text{якщо } n_{21} < n_{21\text{гран2}} < 1. \end{cases}$$

Таблиця 2 – Максимальні і мінімальні значення струмів БП

Струм	$y=1$	$y=2$	$y=3$
I_{hmin}	I_{h1min}	$(N - p_1) I_{\text{min2}} + I_{m2} b_1 [1 - (b_1 + 1)/2N_{K_b}]$	$(N - p_1) I_{\text{min2}} + I_{m2} b_1 [1 - (b_1 + 1)/2N_{K_b}]$
I_{hmax}	I_{h1max}	$I_{\text{min1}} + I_{\text{max2}}$	$I_{\text{min1}} + I_{\text{max2}}$
$I_{\text{ппmax}}$	$I_{m1} p_1 [1 - (p_1 - 1)/2N_{K_h}] + p_1 I_{\text{min1}}$	$I_{\text{пп2max}}$	$I_{m1} p_1 [1 - (p_1 - 1)/2N_{K_h}] + p_1 I_{\text{min1}}$
$I_{\text{ппmin}}$	$I_{\text{ппmax}} - I_{\text{max1}}$	$I_{\text{пп2min}}$	$I_{\text{ппmax}} - I_{\text{max1}}$

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

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України “Про енергозбереження” Постанова Верховної Ради №74/94-ВР. – Відомості Верховної Ради (ВВР). – 1994. – № 30. – ст. 283. (Із останніми змінами, внесеними згідно із Законом № 2095-VIII (2095-19) від 08.06.2017, ВВР, 2017, N 32, ст. 344).
2. Кадацкий А.Ф. Аналіз електрических процесов в МИП постійного напряження при графичных токах дроселей [Текст] / А.Ф.Кадацкий, И.П. Малявин, А.В. Кочетков, О.В. Швец // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2010. – № 1. – С. 20 – 30.
3. Кадацкий А.Ф. Асимметрия електрических процесов в импульсных преобразователях постійного напряження 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. Малявін І.П. Методика автоматизованого проектування багатофазних імпульсних перетворювачів постійної напруги [Текст] / І.П. Малявін // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 2. – С. 84 – 88.

Секція 4. СУЧASNІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, КОМПОНЕНТИ ТА ДІАГНОСТИКА

УДК 621.313.332

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ НАПРУГИ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРУ

Д.Л. Вишневський, д.т.н., професор

М.Й. Муха, д.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Експериментальна перевірка адекватності дискретної моделі системи управління напругою асинхронного генератора з корткозамкнутим ротором та конденсаторним збудженням. Співставлення експериментального та теоретичного процесів комутації навантаження асинхронного генератора потужністю 3 кВт.

Ключові слова: Асинхронний генератор, стабілізація напруги, модель, цифрова система управління

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PROCESSES OF VOLTAGE STABILIZATION OF THE ASYNCHRONOUS GENERATOR

D.L. Vishnevsky, Dr. of Science, Professor

M.Y. Mukha, Dr. of Science, Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

Annotation. Experimental verification of the adequacy of the voltage control system discrete model of an asynchronous generator with a squirrel-cage rotor and capacitor excitation. Comparison of the experimental and theoretical processes of switching the load of an asynchronous generator with a power of 3 kW.

Keywords. Asynchronous generator, voltage stabilization, model, digital control system

Метою експериментальних досліджень процесів стабілізації напруги асинхронного генератору є перевірка адекватності математичної моделі асинхронного генераторного комплексу, яка розроблена внаслідок досліджень вчених Одеської морської академії [1, 2, 3], рис. 1.

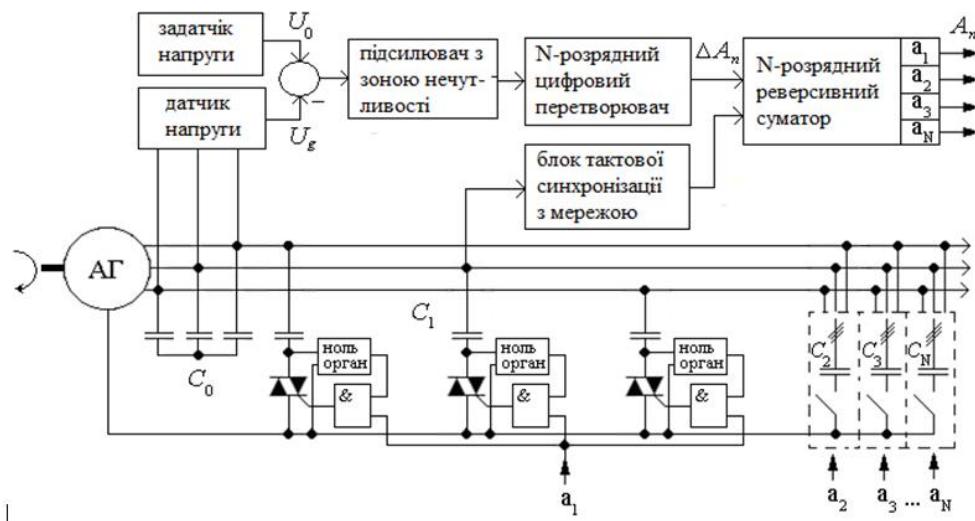


Рисунок 1 – Система стабілізації напруги асинхронного генератору

постійно підключенного блоку конденсаторів C_0 забезпечує задану напругу АГ на холостому ходу при номінальній швидкості обертання приводного двигуна. При зміні навантаження або частоти обертання генератора регулювання напруги генератора забезпечується підключенням до обмотках статора генератора N додаткових блоків конденсаторів в різних поєднаннях.

Напруга від задатчика напруги U_0 порівнюється з напругою на виході датчика напруги генератора U_g . Їхня різниця посилюється з урахуванням «зони нечутливості», а потім перетворюється аналого-цифровим перетворювачем на N-роздрядне двійкове число ΔA_n , яке за допомогою блоку тактової синхронізації один раз за період напруги АГ складаються або віднімаються з керуючого числа A_{n-1} , що зберігається в реверсивному суматорі. Отже, один раз у період керуюче число A_n оновлюється.

Сигнали a_i з вихідного реєстру суматора управляють комутацією тиристорних ключів, що підключають конденсатори C_i до статорних обмоток АГ. Для усунення переходних струмів сигнал управління на відмикання ключа подається в момент рівності нулю напруги на ньому. Цей момент визначається за допомогою нуль органу тиристорного ключа, вихідний сигнал якого подається на один із входів елемента «І», на другий вхід якого подається керуючий сигнал a_i . У момент, коли $a_i = 1$ та напруга на ключі переходить через нуль, вихідний сигнал схеми «І» відмикає відповідний тиристорний ключ. В результаті емність збудження змінюється раз в період доти, доки напруга U_g генератора не увійде в «зону нечутливості».

Перевірка адекватності моделі виконана на експериментальному стенді асинхронного генератора з 4-роздрядною системою керування (рис. 1) потужністю 3 кВт. В якості двигуна використано асинхронний двигун потужністю 3 кВт. Запис переходного процесу комутації активного навантаження генератора наведено на рис. 2, а. Такий самий процес отриман на математичній моделі з параметрами експериментального генераторного комплексу, рис. 2, б. «Зона нечутливості» на стенди та у моделі встановлена $\pm 7\%$ номінальні напруги.

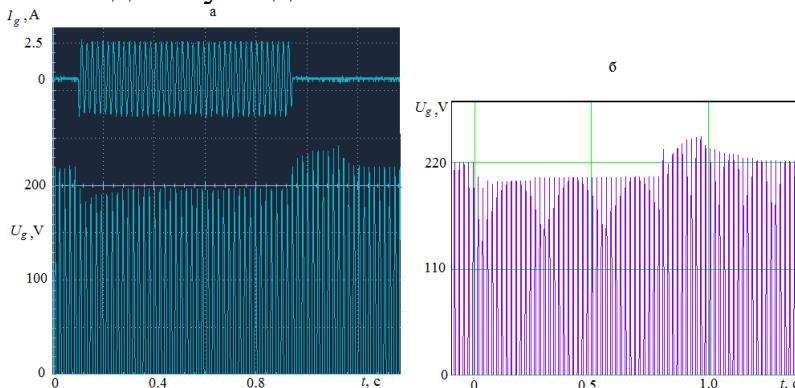


Рисунок 2 – Експериментальний (а) та теоретичний (б) процес комутації 60% активного навантаження асинхронного генератора потужністю 3 кВт

Висновки. Кількісний та якісний збіг осцилограм теоретичного та експериментального перехідного процесу комутації навантаження підтверджує достатню адекватність розробленої моделі. Це дозволяє використовувати модель дослідження динаміки системи стабілізації напруги асинхронного генератора з конденсаторним збудженням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вишневский Л.В., Муха Н.И., Дао Минь Куан. Управление напряжением автономных асинхронных генераторных установок // Монография – Одесса: НУ «ОМА». – 2016. – 196 с.
2. Vishnevsky, M. Mukha, A. Drankova “Improving the energy efficiency of ship electric installations by using asynchronous generators”. Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – Київ, Вип. 56. – 2020. – pp. 40-46. doi: 10.15407/publishing 2020.56.040.
3. Патент №113039 С2, UA, Н02Р9/46, «Способ керування напругою асинхронного генератора» / Вишневський Л.В., Вишневський Д.Л., Опубл. в Бюл.№ 22, 25.11.2016.

УДК 62-50

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧASNIX DRAЙVERIв ЩІTKOVIХ DVIГUNIV ПОСТИЙНОГО СТРУМУ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ АКТУАТОРІВ

А. І. Шестака, ст. викладач

Л. В. Мельнікова, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Розглянуто традиційні рішення керування електроприводом актуаторів і сучасний метод, що є водночас більш дешевим. Це використання драйверів, яке дозволяє легко вирішити задачі управління актуатором з щітковими двигунами постійного струму, які є серйозною альтернативою "конденсаторним" або синхронним двигунам змінного струму, а також пружинним механізмам. Таке технічне рішення автоматично матиме ряд захисних функцій, зокрема від перенавантаження двигуна при досить поширеній ситуації стопоріння внаслідок корозії або примерзання робочого органу гіdraulічного клапана.

Ключові слова: актуатор, щітковий двигун, драйвер

APPLICATION OF MODERN DRIVERS FOR BDCM IN ACTUATORS DRIVES

Anatoliy Shestaka, senior lecturer

Lubov Melnikova, PhD, Assistant professor

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The traditional solutions of electric actuators control and the modern method, which is at the same time cheaper, are considered. This is the use of drivers, which makes it easy to solve the problem of actuator control with brushed DC motors, which are a serious alternative to "capacitor" or synchronous AC motors, as well as spring mechanisms. Such a technical solution will automatically have a number of protective functions, in particular against engine overload in a fairly common situation of locking due to corrosion or freezing of the working body of the hydraulic valve.

Key words: actuator, brush motor, driver

Актуатор є важливою складовою частиною сучасних систем автоматики. По суті – це виконавчий механізм, в якому здійснюється перетворення одного виду енергії (електричної, магнітної, гіdraulічної, теплової, хімічної) в інший вид, а саме – найчастіше – в механічну енергію, рух, що призводить до вико-

нання певних дій, які задаються керуючим сигналом. Тобто, актуатор – це пристрій, який може діяти.

Сфера застосування актуаторів величезна і постійно розширюється: від всіх видів промисловості до медицини, робототехніки, авіації, космонавтики, транспорту, ІТ та 3D-принтерів. Перелік власне "двигунів", що є складовою частиною актуаторів, також інтенсивно оновлюється: від гідромоторів, електричних двигунів різного принципу дії - до мікроелектромеханічних систем (MEMS, Comb drives), розмір яких сьогодні вимірюється нанометрами, мікрооптоелектромеханічних систем (optical MEMS, digital micromirror device або DMD), полімерів та сплавів з пам'яттю форми, тактильних моторів (Haptic motors) та карбонових нанотрубних наномоторів (carbon nanotube nanomotor) [1-3].

Однією з задач актуатора, є управління гіdraulічним вентилем та повітряною засувкою (системи вентиляції, наприклад). Таке управління може бути реалізоване за принципом ON-OFF (Cut Off) коли робочий орган займає лише два крайніх положення, або ж за принципом регульованої позиції робочого органа в повному діапазоні можливих положень.

Традиційними, хоч і не дуже економічними, методами реалізації ON-OFF приводів є використання двох двигунів (часто – на одному валу), один з яких виконує функцію ON, а другий – OFF, або ж використання двигуна для реалізації функції ON і пружинного механізму для повернення актуатора в стан OFF при відсутності керуючого сигналу. Підключення актуатора з двома двигунами носить назву "три-точкової схеми" (3-Poin Control), тобто живлення подається на один з двох двигунів і знімається з нього через кінцевий вимикач. В разі ж наявності пружини схема носить назву "двох-точкової" (2-Poin Control). Явними недоліками таких рішень є або наявність другого двигуна для реверсу, або наявність пружинного механізму, який за вартістю перевищує всі компоненти актуатора разом і, крім цього, вимушує до використання двигуна двократної потужності, аби подолати механічний опір пружини при відкритті клапану. Крім того, переважна кількість таких приводів виконується з управлінням на рівні ~230 V, що потребує застосування додаткових реле для переходу від загальноприйнятого в засобах автоматики рівня керуючих сигналів =24V.

Треба зазначити, що наведені приклади таких архаїчних технічних рішень стосуються продукції, що пропонується виробником прямо сьогодні. Водночас з цим провідні виробники мікроелектроніки вже досить тривалий час випускають мікросхеми драйверів для різних типів двигунів. Так, наприклад, Texas Instruments Incorporated пропонує сьогодні драйвери для BDC Motors на базі Full H-Bridge в діапазоні напруги від 1.65 V до 70 V для струму якоря до 10А з внутрішнім PWM-регулятором та з усіма функціями захисту (коротке замикання, перегрів, перенапруга підвищуючого DC-DC конвертора, перенапруга на силових виходах). Структура одного з таки драйверів DRV8210 (H-Bridge Motor Driver with PWM, PH/EN, and Half-Bridge Control Interfaces and Low-Power Sleep Mode) наведена на рис.1 [4].

Це – драйвер з N-канальним MOSFET, призначений для управління BDC Motors, соленоїдами і реле при живлячій напрузі від 1,65 v до 11 V зі струмом 58

навантаження 1,76 А. Приводить в дію один двонаправлений щітковий двигун постійного струму або два односпрямованих щіткових двигуна постійного струму; одне одно - або подвійне фіксуюче реле; Push-Pull і бістабільні соленоїди, а також інші резистивні, індуктивні або світлодіодні навантаження. Драйвер має стандартний інтерфейс ШІМ. Підтримує логічні входи 1,8 В; 3,3 В та 5 В. Характеризується наднизьким режимом сну з споживанням < 84,5 nA при живлячій напрузі 5 В. Має функції захисту: блокування низької напруги живлення; від перевантаження струму; перегрів; перенапруга з боку навантаження. Драйвер має підвищуючий DC-DC конвертор потрійної архітектури (Tripler Charge Pump), що дозволяє працювати з малою напругою живлення (одна батарейка 1,5 В), що необхідно для віддаленого управління через Bluetooth, GSM, радіо-або інфрачервоний канал. Наявність PWM-регулятора дозволяє не лише запускати двигун в обидва напрями, а й керувати його швидкістю та моментам, забезпечуючи, наприклад, необхідне прискорення чи час розгону-гальмування.

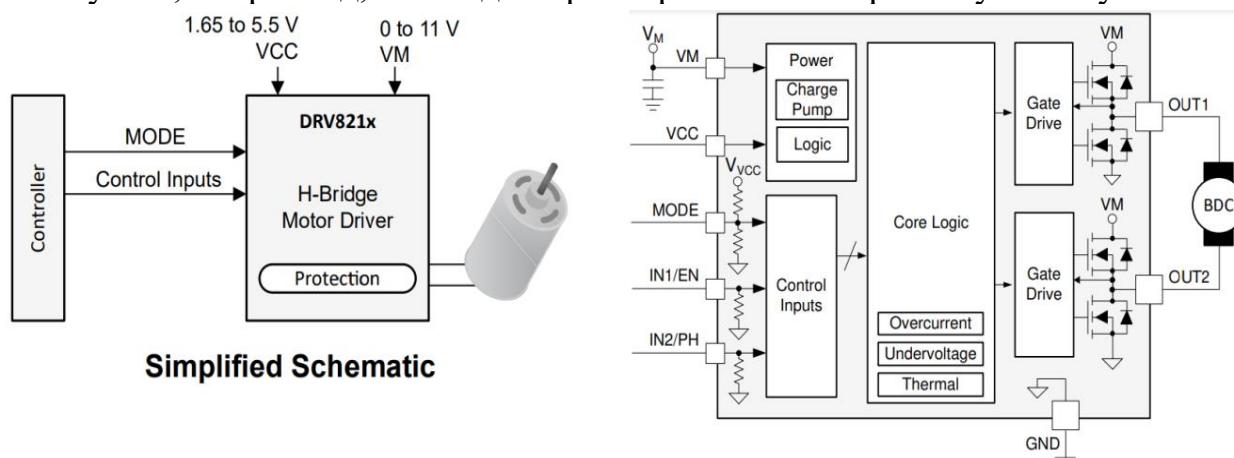


Рисунок 1- Схема підключення та структура драйверу DRV8210

Висновки. Застосування таких драйверів або їх спрощених клонів дозволяє легко вирішити задачі управління актуатором типу ON-OFF з використанням щіткових двигунів постійного струму, вибір яких на сьогодні є більш, ніж достатнім, і які є серйозною альтернативою "конденсаторним" або синхронним двигунам змінного струму, а також пружинним механізмам. Таке технічне рішення автоматично матиме ряд захисних функцій, зокрема від перенавантаження струму двигуна при досить поширеній ситуації стопоріння внаслідок корозії або примерзання робочого органу гідравлічного клапана.

ЛІТЕРАТУРА

1. <https://www.ti.com/motor-drivers/brushed-dc-bdc-drivers/overview.html>
2. https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8210.pdf?ts=1638975857516&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FDRV8210
3. https://www.micros.com.pl/mediasserver/UIRZ7888_0001.pdf?utm_source=pocket_mylist
4. <https://www.st.com/en/motor-drivers/brushed-dc-motor-drivers.html>
5. https://www.electronics-lab.com/texas-instruments-drv8212-12v-2a-low-voltage-h-bridge-motor-driver/?utm_source=pocket_mylist
6. <https://www.manufacturingtomorrow.com/article/2021/04/design-and-operation-features-of-a-bdc-motor-controller/16845>

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

УДК 621.431

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ У ВТУЛЦІ ЦИЛІНДРУ СУДНОВОГО ДВИГУНА

В.Г. Попов, професор, доктор фізико-математичних наук
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Запропонована математична модель температурних полів в втулках циліндрів суднових дизелів. Ця модель базується на розв'язанні стаціонарної віссесиметричної задачі тепlopровідності для порожнинного циліндра, при формулюванні якої на поверхнях інтенсивного теплообміну задаються країові умови третього роду. В результаті розв'язання цієї задачі отримано розподіл температури по всьому об'єму втулки.

Ключові слова: Судновий дизель, втулка циліндра, розподіл температури, задачі тепlopровідності.

MATHEMATICAL MODELING OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN SHIP ENGINE CYLINDER BUSH.

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

Abstract: A mathematical model of temperature fields in the bushes of ships diesel cylinders is proposed. This model is based on the solution of the stationary axisymmetric problem of thermal conductivity for a hollow cylinder, in the formulation of which the boundary conditions of the third kind are given on the surfaces of intensive heat exchange. As a result of solving this problem, the temperature distribution in the volume of the bush is obtained.

Key-words: Ships diesel, bush of cylinder, temperature distribution, problem of thermal conductivity

В сучасних ДВЗ теплове навантаження циліндрично-поршневої групи (поршні, втулка циліндра, кришки циліндра тощо) значно перевищує механічне. Втулка циліндра є однією з найбільше температуро навантажених деталей, оскільки вона безпосередньо контактує з продуктами згорання. Задачі, пов'язані з розрахунком теплового стану ДВЗ, відносяться до задач тепlopровідності. на сьогоднішній час для розв'язання таких задач популярними стали прямі числові методи, зокрема метод скінчених елементів (МКЕ) [1-4]. Переваги цього методу полягають в його універсальності і можливості застосування для деталей будь якої конфігурації без спрощуючи припущення. але для досягнення МКЕ необхідної точності доводиться розбивати деталь ДВЗ на дуже велику кількість елементів. Так для розрахунку розподілу температури в поршні, у роботі [5] використовується 1110804 скінчених елементів. Це означає, що в залежності від вигляду апроксимації невідомої функції в кожному елементі, необхідно розв'язувати систему в декілька разів більшої кількості лінійних алгебраїчних рівнянь. Розв'язання таких систем потребує наявності надпотужної обчислювальної техніки і спеціального програмного забезпечення, які не завжди доступні. Тому є актуальною розробка і більш простих числово-аналітичних

методів моделювання температурних полів у деталях ДВЗ. Недолік подібних підходів до моделювання розподілу температури у втулці циліндра – це застосування методу еквівалентної стін, при якому не враховується розподіл температури по товщині. Спробу подолати цей недолік можна бачити у [5], але в цій статті на бічних поверхнях втулки задаються умови першого роду, хоча температура на цих поверхнях і вимагає визначення. В поданій доповіді запропонована математична модель температурного поля втулки циліндра, яка базується тільки на ідеалізації її форми. На бічних поверхнях, де відбувається інтенсивний теплообмін, як і в [1-4], задаються граничні умови третього роду.

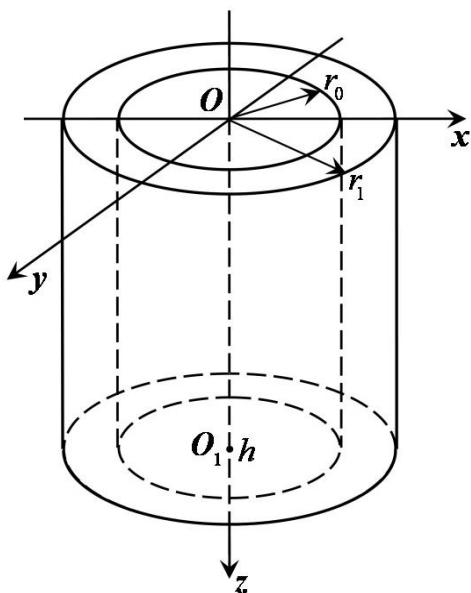


Рисунок 1 – Наближення форми втулки циліндром.

Будемо представляти втулку, як порожнинний циліндр висоти h , внутрішнього радіусу r_0 , зовнішнього радіусу r_1 , в циліндричній системі координат, вісь Oz якої збігається з віссю циліндра (Рис. 1). Розподіл температури у втулці вважаємо віссесиметричним і стаціонарним. Тоді температура $T(r, z)$ має задовольняти рівняння:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0, \quad 0 < z < h, \quad r_0 < r < r_1. \quad (1)$$

Граничні умови на торцевих задаються так само, як і у [5]:

$$T(r, 0) = T_f, \quad T(r, h) = T_0, \quad r_0 < r < r_1, \quad (2)$$

де T_f - температура кришки циліндра, T_0 - температура охолодженої рідини, На бічних поверхнях, де відбувається інтенсивний теплообмін, задаємо граничні умови третього роду:

$$\begin{aligned} \alpha_g (T_g - T(r_0, z)) + \lambda \frac{\partial T}{\partial r}(r_0, z) &= 0, \\ \alpha_0 (T(r_1, z) - T_0) + \lambda \frac{\partial T}{\partial r}(r_1, z) &= 0, \quad 0 < z < h, \end{aligned} \quad (3)$$

де α_g - коефіцієнт тепlopровідності робочого тіла, α_0 - коефіцієнт тепlopровідності охолоджуючої рідини, λ - коефіцієнт тепlopровідності матеріала втулки, T_g - середня за цикл температура робочого тіла всередині циліндра . Рівності (3) перепишемо у більш зручній формі:

$$d_g T(r_0, z) + \frac{\partial T}{\partial r}(r_0, z) = d_g T_g, \quad d_0 T(r_1, z) + \frac{\partial T}{\partial r}(r_1, z) = d_0 T_0 \quad (4)$$

де $d_g = \alpha_g \lambda^{-1}$, $d_0 = \alpha_0 \lambda^{-1}$.

Для розв'язання крайової задачі (1), (2), (4) застосуємо скінченне сінус-перетворення Фур'є за формулами

$$T_k(r) = \int_0^h T(r, z) \sin \alpha_k z dz, \quad T(r, z) = \frac{2}{h} \sum_{k=1}^{\infty} T_k(r) \sin \alpha_k z, \quad \alpha_k = \frac{\pi k}{h}. \quad (5)$$

Внаслідок цього приходимо до одновимірної крайової задачі:

$$\frac{d^2 T_k}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT_k}{dr} - \alpha_k^2 T_k = \alpha_k (-1)^k T_0 - \alpha_k T_f, \quad r'_0 < r < r_1, \quad (6)$$

$$d_0 T_k(r_1) + T'_k(r_1) = d_0 T_0 \delta_k, \quad d_g T_k(r_0) - T'_k(r_0) = d_g T_g \delta_k, \quad \delta_k = \frac{1 - (-1)^k}{\alpha_k},$$

Після розв'язання крайової задачі (6) і використання формули оберненого перетворення (5), знаходимо розподіл безрозмірної температури

$$\tau(\rho, z) = T_y^{-1} Y(h\rho, h\zeta), \quad 0 < \zeta < 1, \quad \rho_0 < \rho < r_1, \quad \rho_0 = h^{-1} r_0, \quad \rho_1 = h^{-1} r_1.$$

Він визначається наступною формулою:

$$\begin{aligned} \tau(\rho, \zeta) = & \tau_f(1 - \zeta) + \tau_0 \zeta - \varepsilon_g (1 - \tau_f) \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{A_{1k}(\rho)}{k \Delta_k} \sin \pi k \zeta + \\ & + \varepsilon_0 (\tau_f - \tau_0) \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{A_{0k}(\rho)}{k \Delta_k} \sin \pi k \zeta - \varepsilon_g (\tau_g - \tau_0) \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{A_{1k}(\rho)}{k \Delta_k} \sin \pi k (1 - \zeta). \end{aligned} \quad (7)$$

У формулі (7) прийнято наступні позначення:

$$\tau_f = T_g^{-1} \cdot T_f, \quad \tau_0 = T_g^{-1} T_0, \quad \varepsilon_g = h d_g, \quad \varepsilon_0 = h d_0,$$

$$A_{1k}(\rho) = b_{1k} I_0(\pi k \rho) + a_{1k} K_0(\pi k \rho), \quad A_{0k}(\rho) = b_{0k} I_0(\pi k \rho) + a_{0k} K_0(\pi k \rho),$$

$$a_{0k}(\rho) = \pi k I_1(\pi k \rho_0) - \varepsilon_g I_0(\alpha_k \rho_0), \quad b_{0k}(\rho) = \pi k K_1(\pi k \rho_0) + \varepsilon_g K_0(\alpha_k \rho_0),$$

$$a_{1k}(\rho) = \pi k I_1(\pi k \rho_1) + \varepsilon_0 I_0(\pi k \rho_1), \quad b_{1k}(\rho) = \pi k K_1(\pi k \rho_1) - \varepsilon_0 K_0(\pi k \rho_1),$$

$$\Delta_k = a_{0k} b_{1k} - a_{1k} b_{0k},$$

$I_j(x)$, $K_j(x)$, $j = 0, 1$ - модифіковані функції Бесселя.

З формулі (7) визначаємо розподіл температур на внутрішній і зовнішній поверхнях втулки:

$$\begin{aligned} \tau(\rho_0, \zeta) = & \tau_f(1 - \zeta) + \tau_0 \zeta - \varepsilon_g (1 - \tau_f) + S_0(\zeta) + \rho_0^{-1} \varepsilon_0 (\tau_f - \tau_0) R(\zeta) - \\ & - \varepsilon_g (1 - \tau_0) S_0(1 - \zeta), \\ \tau(\rho_1, \zeta) = & \tau_f(1 - \zeta) + \tau_0 \zeta - \varepsilon_g (1 - \tau_f) \rho_1^{-1} R(\zeta) + \varepsilon_0 (\tau_f - \tau_0) S_1(\zeta) - \\ & - \varepsilon_g \rho_1^{-1} (1 - \tau_0) R(1 - \zeta). \end{aligned} \quad (8)$$

У цих формулах позначено:

$$R(\zeta) = \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \pi k \zeta}{k \Delta_k}, \quad S_j(\zeta) = \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{B_{ik}}{k \Delta_k} \sin \pi k \zeta, \quad j = 0, 1, \quad B_{0k} = A_{1k}(\rho_0), \quad B_{1k} = A_{0k}(\rho_1).$$

За формулами (8) здійснено розрахунок температур на поверхні втулки за даними з [5]:

$$h = 0.98 \text{ м}, \quad r_0 = 0.13 \text{ м}, \quad r_1 = 0.145 \text{ м}, \quad T_y = 700^\circ C, \quad \lambda = 70 \frac{W}{m \cdot K},$$

$$\alpha_y = 1200 \frac{\text{ккал}}{m^2 \text{год} \cdot \text{град}}, \quad \alpha_0 = 2300 \frac{\text{ккал}}{m^2 \text{год} \cdot \text{град}}.$$

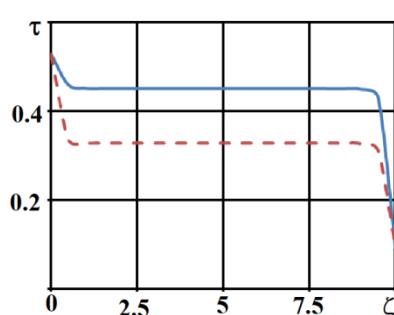


Рисунок 2 – Температура на поверхнях втулки

Це свідчить, що модель ефективної стінки визначає температуру втулки зі значною похибкою. Не підтверджується також припущення про експоненціальне спадання температури по висоті втулки, здійснене у [5].

ЛІТЕРАТУРА

1. Н.Д. Чабанов, Л.Л. Мягков, С.Ю. Русановский. Математическое моделирование согласованых температурных полей элементов цилиндро-поршевой группы транспортных поршневых двигателей // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей. Труды 9-ой международной конференции – 2003, с. 203-206.
2. П.П. Гонторовский, Н.М. Гармаш, А.М. Левтеров, А.Ю. Фокин. Численное моделирование теплового и напряженно-деформированного состояния гильзы цилиндра форсированного транспортного дизеля. Сб. научных трудов ХГПУ, 1999, вып. 7, с. 255-259.
3. А.П. Строков, А.М. Левтеров, А.Н. Авраменко. Расчетная оценка теплонапряженного состояния гильзы цилиндра форсированного транспортного дизеля. Двигатели внутреннего сгорания, №2, 2009, с. 53-57.
4. А.А. Бабич, С.А. Громов, А.М. Левтеров. Расчетная оценка теплового состояния поршня форсированного транспортного дизеля. Двигатели внутреннего сгорания, №1, 2016, с. 40-44.
5. А.В. Ериганов. Расчет рабочего процесса дизеля с учетом неравномерности температуры на поверхности втулки цилиндра. Автоматизация судовых технических средств. Научно-технический сборник. - Вып.6. – Одесса. 2001 – с. 39-44

УДК 656.61.052

НОВІ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ГІДРОДИНАМІЧНИХ СИЛ НА КОРПУСІ СУДНА ДЛЯ ДОВІЛЬНИХ КУТІВ ДРЕЙФУ І КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ

О. Ф. Кривий, д.ф.-м.н., професор

М. В. Міусов, д.т.н., професор

Національний університет «Одесська морська академія»

Анотація: отримані нові математичні моделі гідродинамічних сил і моменту на корпусі судна для довільних кутів дрейфу і кутової швидкості. Для цього запропоновано підхід, який базується на багатофакторному кореляційному аналізу, що дало можливість отримати нові адекватні поліноміальні моделі для малих кутів дрейфу. Отримані моделі узагальнено для довільних кутів дрейфу і кутової швидкості. Параметри побудованих моделей виражені через безрозмірний коефіцієнт повноти і відношення геометричних характеристик судна: довжина, ширина і осадка.

Ключові слова: гідродинамічні сили і момент, математичні моделі, гідродинамічні характеристики.

NEW MATHEMATICAL MODELS OF HYDRODYNAMIC FORCES ON THE SHIP HULL FOR ANY DRIFT ANGLES AND ANGULAR VELOCITY

O.F. Kryvyyi, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

M.V. Miyusov, Doctor of Technical Sciences, Professor

National University “Odessa Maritime Academy”

Abstract: New mathematical models of hydrodynamic forces and moment on the hull for any drift angles and any angular velocity are obtained. For this purpose, an approach based on multifactor correlation analysis is proposed, which made it possible to obtain new adequate polynomial models for small drift angles. The obtained models are generalized for any drift angles and any angular velocity. The parameters of the constructed models are expressed through the dimensionless block coefficient and the ratio of the geometric characteristics of the vessel: length, beam, and draft.

Key words: hydrodynamic forces and moment, mathematical models, hydrodynamic characteristics.

Розв'язання різних задач оптимального керування в судноводінні, при розробці і проектуванні систем автоматичного управління і тренажерів обумовлює наявність адекватних математичних моделей пропульсивного комплексу судна, які враховують його конструктивні особливості і складність виконуваних маневрів, зокрема, розгін, гальмування, циркуляції, курсової стабілізації, позиціювання та інших. Такі моделі є необхідними для прогнозування поведінки судна при різних комбінаціях значень параметрів керуючих органів судна (положення рулів, паливної тяги, значення обертів гребного гвинта та ін.)

Найбільший вплив на динаміку пропульсивного комплексу судна впливають гідродинамічні сили на його корпусі. Без врахування цих сил неможлива ні одна адекватна математична модель руху судна [1-12]. Процеси, які відбуваються при взаємодії корпусу судна з водою носять досить складний характер, тому побудова математичних моделей гідродинамічних сил відбувається емпіричним шляхом, на основі обробки експериментальних даних. При цьому виникають наступні проблеми, що потребують вирішення. Зокрема, це вибір виду математичної моделі (вигляду функціональної залежності) і визначення

сталих, що входять в модель. Зазвичай, для малих кутів дрейфу $|\beta| < 15^\circ$ вибираються поліноміальні моделі, коефіцієнти яких виражають через геометричні і фізичні параметри судна. Але, як показав аналіз цих моделей [2, 3, 12], не всі вони мають прийнятні кореляційні характеристики, тому виникла необхідність в побудові нових математичних моделей з високим рівнем кореляції і статистичної значущості. Такі моделі отримані нижче і зроблено їх продовження (узагальнення) на весь діапазон зміни кута дрейфу $|\beta| < 180^\circ$.

Проекції гідродинамічних сили на осі координат X_h , Y_h і момент M_h навколо осі Z , за звичай, подають так [1-4]

$$X_h = v^2 C_h^x(\beta, \omega), \quad Y_h = v^2 C_h^y(\beta, \omega), \quad M_h = v^2 C_h^m(\beta, \omega), \quad (1)$$

де v – швидкість судна, $C_h^x(\beta, \omega)$, $C_h^y(\beta, \omega)$, $C_h^m(\beta, \omega)$ – гідродинамічні характеристики судна, які для малих значень кута дрейфу апроксимують поліномами:

$$C_h^x(\beta, \omega) = C_{00}^x + C_{20}^x \beta^2 + C_{11}^x \beta \omega + C_{02}^x \omega^2 + C_{40}^x \beta^4,$$

$$C_h^y(\beta, \omega) = C_{10}^y \beta + C_{01}^y \omega + C_{30}^y \beta^3 + C_{21}^y \beta^2 \omega + C_{12}^y \beta \omega^2 + C_{03}^y \omega^3,$$

$$C_h^m(\beta, \omega) = C_{10}^m \beta + C_{01}^m \omega + C_{30}^m \beta^3 + C_{21}^m \beta^2 \omega + C_{12}^m \beta \omega^2 + C_{03}^m \omega^3. \quad (2)$$

де C_{x_0} – коефіцієнт опору води прямолінійному руху судна; C_{jk}^x , C_{jk}^y , C_{jk}^m – гідродинамічні сталі (або гідродинамічні похідні) сили і моменту на корпусі судна. В роботах [2, 3, 12] для побудови математичних моделей останніх запропонований підхід, який базується на багатофакторному регресійному аналізі. Зокрема, скориставшись експериментальними базами даних для значень гідродинамічних сталіх на глибокій воді [6, 7, 9] і, використавши в якості визначальних регресорів (факторів) наступні характеристики судна:

$$\eta_1 = C_b, \quad \eta_2 = \frac{B}{L}, \quad \eta_3 = \frac{T}{L}, \quad \eta_4 = \frac{T}{B}, \quad (3)$$

де C_b – коефіцієнт загальної повноти, L – довжина, B – ширина, T – осадка судна по ватерлінії, побудовано адекватні математичні моделі для гідродинамічних похідних

$$C_{20}^x = -0.086\eta_1 - 0.389(1-\eta_1)\eta_4 + 5.599\eta_1\eta_2\eta_3, \quad C_{11}^x - k_2 m_0 = -0.504\eta_1\eta_4 - 3.086\eta_2\eta_3,$$

$$C_{02}^x + m_{26} = \begin{cases} 0.303(1-\eta_1)\eta_2 - 0.166\eta_1\eta_4, & C_b \in [0.5; 0.7] \\ 0.49\eta_1 + 9.68\eta_0\eta_1\eta_3 - 0.484, & C_b \in (0.7; 0.9] \end{cases}, \quad C_{40}^x = 2.85\eta_1\eta_4 - 33.225\eta_1\eta_2\eta_3,$$

$$C_{10}^y = 0.94(1-\eta_1)\eta_4 + 39.2\eta_1\eta_2\eta_3, \quad C_{01}^y - k_1 m_0 = -0.21\eta_1 - 4.76\eta_1\eta_2\eta_3,$$

$$C_{30}^y = \begin{cases} 6.19\eta_1 - 17.62\eta_3, & C_b \in [0.5; 0.7] \\ 64.43\eta_1\eta_2\eta_3 - 166.62((1-\eta_1)\eta_4)^2, & C_b \in (0.7; 0.9] \end{cases},$$

$$C_{21}^y = \begin{cases} -4.83\eta_1 + 9.77\eta_1\eta_4; & C_b \in [0.5; 0.9], \\ -3.12\eta_1 + 10.3\eta_1\eta_2; & C_b \in [0.5; 0.7], \\ 3.74\eta_1\eta_2 - 4.27(1-\eta_1)\eta_4; & C_b \in [0.7; 0.9], \end{cases} \quad C_{03}^y = \begin{cases} -0.6\eta_1\eta_4 + 2.06(\eta_1\eta_4)^2; & C_b \in [0.5; 0.9], \\ -0.86\eta_1\eta_4 + 3.07(\eta_1\eta_4)^2; & C_b \in [0.5; 0.7], \\ 0.31\eta_1\eta_4 + 1.12(\eta_1\eta_4)^2; & C_b \in [0.7; 0.9], \end{cases}$$

$$C_{12}^y = -6.96\eta_3 + 9.07(1-\eta_1)\eta_4, \quad C_{01}^m - x'_G m' = -0.37(1-\eta_1)\eta_4, \quad C_{21}^m = -3.33(1-\eta_1)\eta_4,$$

$$C_{03}^m = -0.35(1-\eta_1)\eta_4 + 1.47\eta_1\eta_2\eta_3, \quad C_{30}^m = (1-\eta_1)\eta_2 \cdot \begin{cases} 2.27; & C_b \in [0.5; 0.9], \\ 2.45; & C_b \in [0.5; 0.7], \end{cases}$$

$$C_{10}^m = \eta_1\eta_3 \cdot \begin{cases} 2.15; & C_b \in [0.5; 0.9], \\ 1.91; & C_b \in [0.5; 0.7], \\ 2.64; & C_b \in [0.7; 0.9], \end{cases} \quad C_{12}^m = \begin{cases} 0.76(1-\eta_1)\eta_4 - 0.34\eta_1\eta_4; & C_b \in [0.5; 0.9], \\ (1-\eta_1)\eta_4 - 0.51\eta_1\eta_4; & C_b \in [0.5; 0.7], \\ -0.44\eta_1 + 2.26\eta_1\eta_4; & C_b \in [0.7; 0.9]. \end{cases}$$

Для довільних кутів дрейфу $|\beta| < 180^\circ$ математичні моделі для C_{HX} , C_{HY} , C_{HM} будують також на основі обробки експериментальних даних [3, 4]. Недоліком таких моделей є значні складності при визначенні сталих коефіцієнтів, що входять до них. В роботі [1, 10] запропоновано підхід, який використовує гідродинамічні похідні наведених вище поліноміальних подання, в результаті отримані наступні математичні моделі для гідродинамічних характеристик корпусу судна для довільних кутів дрейфу

$$C_{HX}(\beta, \omega) = -C_{x_0} \cos \beta + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2} C_{00}^x + C_{20}^x \cos \beta \right) \sin^2 \beta + C_{11}^x \omega (\sin \beta + \frac{1}{6} \sin^3 \beta) + C_{02}^x \omega^2,$$

$$C_{HY}(\beta, \omega) = (C_{10}^y + C_{12}^y \omega^2) \sin \beta + \frac{1}{6} (C_{10}^y + 6C_{30}^y + C_{12}^y \omega^2) \sin^3 \beta + C_{12}^y \omega \sin^2 \beta + C_{01}^y \omega + C_{03}^y \omega^3$$

$$C_{HM}(\beta, \omega) = \frac{1}{2} (C_{10}^m + C_{12}^m \omega^2) \sin 2\beta + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{3} C_{10}^m + \frac{1}{2} C_{30}^m + \frac{1}{3} C_{12}^y \omega^2 \right) \sin^3 2\beta + \frac{1}{4} C_{21}^m \omega \sin^2 2\beta + C_{01}^m \omega + C_{03}^m \omega^3.$$

Доведено адекватність цих моделей і їх узгодженість із експериментальними дослідженнями. При цьому однією із переваг цих математичних моделей є просте подання коефіцієнтів, які виражені через геометричні і фізичні характеристики судна (3).

Висновки. Запропонований підхід дозволив проаналізувати існуючі математичні моделі гідродинамічних сил [6], виявити їх недоліки і отримати нові адекватні математичні моделі із високим рівнем кореляції [1,2] для малих кутів дрейфу $|\beta| < 15^\circ$. Використовуючи ці подання, отримано нові адекватні моделі

для довільних кутів дрейфу $|\beta| < 180^\circ$. Ця методика може бути використана для побудови математичних моделей інших неінерційних сил суднового пропульсивного комплексу

ЛІТЕРАТУРА

1. Kryvyy O.F., Miyusov M.V. 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. 2019, pp 111-117
2. Kryvyy O.F., Miyusov M.V. 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_BofP.pdf
3. Кривий А.Ф., Миюсов М.В. Нові математичні моделі повздовжніх гідродинамічних сил на корпусі судна// Судноводіння, 2020, 30. С.88-98 DOI: 10.31653/2306-5761.30.2020.88-98
4. Миюсов М.В. Режимы работы и автоматизация пропульсивного комплекса теплохода с ветродвигителями //Одесса: ОГМА, ОКФА – 1996. - 256 с.
5. Кривий О.Ф. Методи математичного моделювання в задачах судноводіння: навчальний посібник – Одеса: ОНМА. 2015 – 86 с.
6. Furukawa Y, Ibaragi H, Nakiri Y and Kijima K. Shallow water effects on longitudinal components of hydrodynamic derivatives/ 4th MASHCON, Hamburg - Uliczka et al. (eds)- Bundesanstalt für Wasserbau. 2016. DOI: 10.18451/978-3-939230-38-0_33
7. Report of Research committee on standardization of mathematical model for ship maneuvering predictions. P-29. (2013) Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers (in Japanese). http://www.jasnaoe.or.jp/research/p_committee_end.html
8. Yasukawa H, Yoshimura Y (2015) Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions//J Mar Sci Technol 20:37–52 DOI 10.1007/s00773-014-0293-y
9. Yoshimura, Y. Masumoto. (2012) Hydrodynamic Database and Manoeuvring Prediction Method With Medium High-Speed Merchant Ships And Fishing// International Conference on Marine Simulation and Ship Manoeuvrability (MARSIM 2012) pp.494-504
10. Кривой А.Ф., Миюсов М.В. Математические модели гидродинамических характеристик пропульсивного комплекса судна для произвольных углов дрейфа / Судовождение, 2018, 28.- С.88-102
11. Кривой А.Ф., Миюсов М.В. Математическая модель плоского движения судна при наличии ветродвигителей./ Судовождение: Сб. научных трудов ОНМА. 2016.Вып.24(4),-С. 109119
12. Кривий О.Ф. Методи побудови математичних моделей гідродинамічних сил на корпусі судна/ Матеріали ІХ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», Одеса: НУ «ОМА», 2020, С. 120-123. DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

УДК 629

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПРИ КОЛИВАННЯХ ПОВЗДОВЖНЬОГО ЗСУВУ

В.Г. Попов, д.ф.-м.н, професор

О. І. Кирилова, к.ф.-м.н, доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Розглядається сингулярне інтегральне рівняння з нерухомою особливістю, до якого зводиться задача контактної взаємодії двох чвертей простору в умовах гармонічних коливань повздовжнього зсуву. Чверті простору розміщуються так, що складений з них півпростір має ступінчасту межу. Для числового розв'язання цього рівняння запропоновано метод, який враховує справжню асимпто-

тику розв'язку, використовує спеціальні квадратурні формули для сингулярних інтегралів і корені спеціальної функції у якості точок колокацій.

Ключові слова: контактні напруження, нерухома особливість, сингулярні інтегральні рівняння

MATHEMATICAL SIMULATION OF CONTACT INTERACTION IN OSCILLATION OF LONGITUDINAL SHEAR

V. Popov, Dr. of Science, Professor

O. Kyrylova, Ph.D

National University «Odessa Maritime Academy»

A singular integral equation with a fixed singularity to which the problem of contact interaction of two quarters of spaces in the conditions of harmonic oscillations of longitudinal shear is reduced is considered. A quarters of the space is situated so that the half-space composed of them has a stepped boundary. To numerically solve this equation, a method is proposed that takes into account the true asymptotics of the solution, uses special quadrature formulas for singular integrals and the roots of a special function as colocation points.

Key-words: singular integral equation, fixed singularity, contact stresses.

Деталі сучасних енергетичних установок та електромеханічних систем досить часто містять з'єднання елементів, виготовлених з різних матеріалів. На міцність та працездатність таких деталей суттєво впливає розподіл напружень саме у місці з'єднання і контакту. Величини цих напружень можуть значно збільшуватись в умовах динамічного навантаження, зокрема, вібрації. Математичне моделювання контактної взаємодії в таких умовах вимагає розв'язання змішаних задач механіки деформівного твердого тіла.

Один з найбільш поширеніх на сьогодні методів розв'язання таких задач є зведення їх до розв'язування інтегральних рівнянь, частіше всього сингулярних. Отримати точний розв'язок для цих рівнянь вдається дуже рідко. Тому є актуальною проблема створення ефективних чисельних методів їх розв'язків.

Розглядаються два чверть простори $-\infty < x < 0; h < y < +\infty$ і $0 < x < +\infty; 0 < y < +\infty; -\infty < z < +\infty$, зчеплених між собою по області $x=0; h < y < +\infty; -\infty < z < +\infty$ (Рис.1).

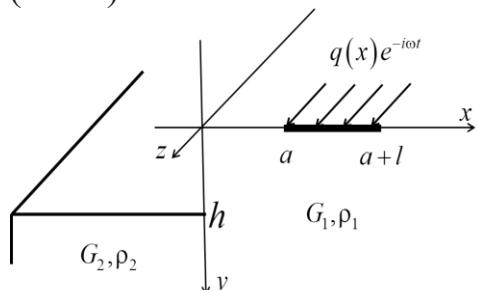


Рисунок 1 – Два зчеплені чверть простори

До поверхні $y=0$ першої чвертіни простору прикладене зсувне вздовж осі Oz навантаження $q(x)e^{-i\omega t}$, $0 < a < x < a+l$. Далі множник $e^{-i\omega t}$, що визначає залежність від часу, всюди відкидається. За таких умов обидві чвертіни знаходяться у стані деформації повздовжнього вздовж осі Oz зсуву і єдиним відмінна від нуля є переміщення $w_j(x, y)$, $j = 1, 2$, які задовільняють рівняння Гельмгольца:

$$\Delta W_j(x, y) + \kappa_j^2 W_j(x, y) = 0, \quad \kappa_{2j}^2 = \frac{\rho_j^2 \omega^2}{G_j^2}, \quad j = 1, 2 \quad (1)$$

де ρ_j, G_j – густини і модуль зсуву правої частини простору, ρ_2, G_2 – лівої. На горизонтальних поверхнях чверть просторів виконуються умови:

$$\begin{aligned}\tau_{yz}^1(x,0) &= \begin{cases} q(x), & x \in [a, a+l] \\ 0, & x \notin [a, a+l] \end{cases}, \quad x \in (0, +\infty); \\ \tau_{yz}^2(x,h) &= 0; \quad x \in (-\infty, 0).\end{aligned}\quad (2)$$

На вертикальній поверхні $x=0, y \geq 0$ здійснюються умови повного зчеплення:

$$\begin{aligned}\tau_{xz}^1(0,y) &= \begin{cases} 0, & 0 < y < h, \\ p(y), & y \geq h \end{cases}, \quad \tau_{xz}^2(0,y) = p(y); \quad y \geq h; \\ W_1(0,y) &= W_2(0,y), \quad y > h.\end{aligned}\quad (3)$$

У рівностях (3) $p(y)$ – невідомі контактні напруження. Після розв'язання крайових задач (1)-(3) знайдені подання переміщень у кожній чверті простору через невідомі контактні напруження залишається визначити контактні напруження $p(y)$. Це здійснюється за допомогою останньої рівності (3), яка попередньо диференціюється. Причому за умови, що переміщення прямують до нуля при $y \rightarrow +\infty$, профідеренційована рівність буде еквівалентною до вихідної. Після реалізації цієї умови приходимо до інтегрального рівняння відносно контактних напружень, яке перетворюється до вигляду:

$$\begin{aligned}\frac{1}{\pi} \int_0^\infty \chi(s) \left[\frac{1+\gamma}{s-\sigma} - \frac{\gamma}{s+\sigma} + R(s, \sigma) \right] ds &= F(\sigma); \\ 0 < \sigma < \infty; \quad \gamma &= G_1 \cdot G_2^{-1}; \quad \chi(s) = G_1^{-1} \cdot p(h(1+s)).\end{aligned}\quad (4)$$

Функції $R(s, \sigma)$ вже не містять сингулярності, а $F(\sigma)$ подається через навантаження $q(x)$. Можна бачити, що сингулярна складова інтегрального рівняння (4), окрім ядра Коші, має також нерухому особливість при $s=\sigma=0$.

Числове розв'язання інтегрального рівняння. Попередньо розглянемо функцію

$$\lambda_n^\beta(\sigma) = \int_0^\infty \frac{e^{-s} s^{+\beta} L_n^\beta(s)}{s-\sigma} ds = (-\pi c t g \pi \beta \sigma^\beta L_n^\beta(s) + \Gamma(\beta) \Phi(-\beta-n, 1-\beta, \sigma)) e^{-\sigma}, \quad (5)$$

де $L_n^\beta(s)$ – многочлен Лагерра [5], Φ – вироджена гіпергеометрична функція. Числове дослідження цієї функції показало, що при $-1 < \beta < 1$ вона має $n+1$ додатних простих коренів $\sigma_j > 0, j = 1, 2, \dots, n+1$. Це дає можливість створити числовий метод розв'язання, що використовує ці корені у якості точок колокації.

Розв'язок рівняння (4) має інтегровану особливість при $s \rightarrow 0$ і прямує до нуля при $s \rightarrow \infty$:

$$\chi(s) = s^{-\delta} e^{-s} \varphi(s) \quad (6)$$

Згідно [4] показник δ має дорівнює

$$\delta = \frac{1}{\pi} \arccos \frac{\gamma}{1+\gamma} \quad (7)$$

Далі введемо до розгляду функцію $s\psi(s) = \varphi(s) - \varphi(0)$, $\varphi(s) \neq 0$. Тоді, згідно (6), знаходимо таке подання для невідомої функції:

$$\chi(s) = s^{-\delta} e^{-s} \varphi(0) + s^{1-\delta} \psi(s) \quad (8)$$

Далі функцію $\psi(s)$ наближаємо інтерполяційним многочленом, де вузлами інтерполяції s_m є корені многочленів $L_n^{1-\delta}(s)$:

$$\psi(s) \approx \psi_n(s) = \sum_{m=1}^n \frac{\Psi_m}{\left(L_n^{1-\delta}(s_m)\right)'(s - s_m)}, \quad (9)$$

де $\Psi_m = \psi(s_m)$. Подання (8) і наближення (9) дозволяє отримати наступну квадратурну формулу для інтегралу Коші при $s = \sigma_j$, $j = 1, 2, \dots, n+1$, де σ_j – корені функції $\lambda_n^{1-\sigma}(\sigma)$:

$$\int_0^\infty \frac{\chi(s)}{s - \sigma_j} ds = \varphi(0) \lambda_0^{-\delta}(\sigma_j) + \sum_{m=1}^n \Psi_m \frac{A_{nm}^{1-\delta}}{s_m - \sigma_j}, \quad j = 1, 2, \dots, n+1. \quad (10)$$

У формулі (10) і далі позначають через A_{nm}^β коефіцієнти квадратурної формули типу Гауса для інтегралів по $[0; +\infty)$ при ваговій функції $x^\beta e^{-x}$ [6]. Для інтегралу з нерухомою особливістю отримано

$$\int_0^\infty \frac{\chi(s)}{s + \sigma_j} ds = \varphi(0) \theta_0^{-\delta}(\sigma_j) + \sum_{m=1}^n \Psi_m \frac{B_{jm}}{s_m + \sigma_j}, \quad B_{jm} = A_{nm}^{1-\delta} - \frac{\theta_n^{1-\delta}(\sigma_j)}{\left(L_n^{1-\sigma}(s_m)\right)'}, \quad j = 1, 2, \dots, n+1. \quad (11)$$

У формулі (11) використано функцію

$$\theta_n^\beta(\sigma) = \int_0^\infty \frac{s^\beta e^{-s} L_n^\beta(s)}{s + \sigma} ds = \frac{\pi}{\sin \pi \beta} \left(-\sigma^\beta e^\sigma L_n^\beta(-\sigma) + \frac{e^\sigma}{\Gamma(1-\beta)} \Phi(-\beta - n, 1 - \beta, -s) \right).$$

Для регулярних інтегралів використовуються формули типу Гауса [6].

В результаті підстановки в інтегральне рівняння (4) $\sigma = \sigma_j$ та застосування квадратурних формул (10), (11) приходимо до системи лінійних алгебраїчних рівнянь відносно $\varphi(0)$ та Ψ_m , $m = 1, 2, \dots, n$:

$$\frac{1}{\pi} \sum_{m=1}^n \Psi_m \left((1+\gamma) \frac{A_{nm}^{1-\delta}}{s_m - \sigma_j} - \gamma \frac{B_{jm}}{s_m - \sigma_j} + A_{nm}^{1-\delta} R_{jm} \right) + \frac{\varphi(0)}{\pi} \left(\lambda_0^{-\delta}(\sigma_j) - \gamma \theta_0^{-\delta}(\sigma_j) + C_j \right) = F(\sigma_j), \quad j = 1, \dots, n+1;$$

$$C_j = \sum_{m=1}^n A_{nm}^{-\delta} R(z_m, \sigma_j), \quad R_{jm} = R(s_m, \sigma_j), \quad z_m – корені многочлена L_n^{-\delta}(z).$$

Після розв'язання системи контактні напруження розраховувались за формулами (9), (10).

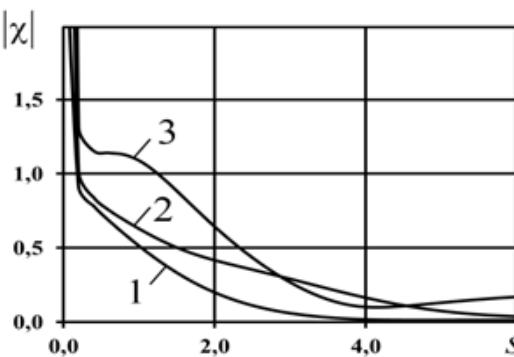


Рисунок 2 – Розподіл контактних напружень

Чисрова реалізація і висновки. Для чисової реалізації були розглянуті чверть простори, що складалися зі сталі та алюмінію при значеннях геометричних параметрів $\alpha = al^{-1} = 1$, $d = hl^{-1} = 1$. Навантаження вважалось сталим $f(s) \equiv 1, s \in [1; 2]$, а безрозмірне хвильове число $\kappa_0 = \kappa_{12}l = 3$. Результати розрахунків безрозмірних контактних напружень приведено на рис.2 у вигляді графіків 1-3. Перший графік відповідає випадку, коли перша (навантажена) чверть простору є сталевою, а друга є алюмінієвою. Другий графік показує розподіл контактних напружень, коли обидві чвертіни є сталевими, тобто маємо однорідний півпростір зі ступінчастою границею. Третя крива побудована за умови, що навантажена чверть простору з алюмінієм, а друга стала.

Встановлено, що значення контактних напружень зростають при зменшенні зсувної жорсткості завантаженої чверті простору. Також показано швидке спадання значень контактних напружень при віддалені від завантаженої границі. Взагалі числові результати показали, що врахування асимптотики розв'язку, використання спеціальних квадратурних формул для сингулярних інтегралів, спеціальний вибір точок колокації дозволяє створити ефективний числовий метод розв'язання даного сингулярного інтегрального рівняння з нерухомою особливістю.

ЛІТЕРАТУРА

- Попов Г.Я. О методе ортогональных многочленов в контактных задачах теории упругости / Г.Я. Попов // ПММ. – 1969. – Т.33. – № 3.– С. 518–533.
- Белоцерковский С.М. Численные методы в сингулярных интегральных уравнениях и их применение в аэродинамике, теории упругости, электродинамике / С.М. Белоцерковский, И.К. Либанов. – Москва: Наука, 1985. – 253 с.
- Попов В.Г. Двумерные динамические задачи теории пружности, что сводятся к сингулярным интегральным уравнениям с нерухомыми особенностями / В.Г. Попов // Мат.методи та фіз.-мех. поля. – 2020. – № 63 (1). – С. 94–105.
- Дудучава Р.В. Интегральные уравнения свертки с разрывными предсимволами, сингулярные интегральные уравнения с неподвижными особенностями и их приложения к задачам механики / Р.В. Дудучава // Труды Тбилисского математического института АН СССР. –1979. – Т.60. –с. 313
- Сеге Г. Ортогональные многочлены / Г. Сеге. -Москва: Физматгиз, 1962. – 500 с.
- Крылов В.И. Приближенное вычисление интегралов / В.И. Крылов. – Москва, Наука, 1967. – 500 с.

УДК 536.24

ФУНДАМЕНТАЛЬНИЙ РОЗРІВНИЙ РОЗВЯЗОК ЗАЧІ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ДЛЯ НЕОДНОРІДНОГО ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ІЗОТРОПНОГО СЕРЕДОВИЩА

О.Ф. Кривий¹, д. ф.-м. н., професор

Ю.О. Морозов², к. ф.-м. н., доцент

¹Національний університет «Одеська морська академія»,

²Державний університет «Одеська політехніка»

Анотація: Проблема побудови фундаментальних розривних розв'язків задачі термопровідності для кусково-однорідного трансверсально-ізотропного простору зведена до матричної задачі Рімана в просторі узагальнених функцій повільного зростання. В результаті розв'язування якої отримано в явному вигляді вирази для компонент вектора фундаментального розривного розв'язку задачі теплопровідності, а також прості подання для температури та теплових потоків як у кусково-однорідного трансверсально-ізотропного просторі так і у площині з'єднання півпросторів, які містять зосереджені стаціонарні джерелі тепла.

Ключові слова: фундаментальні розв'язки, матрична задача Рімана, трансверсально-ізотропний неоднорідний простір, узагальнені функції.

FUNDAMENTAL DISCONTINUOUS SOLUTIONS TO THE HEAT CONDUCTION PROBLEMS FOR A HETEROGENEOUS TRANSVERSELY ISOTROPIC SPACE

O. Kryvyy¹, Dr. of Science, Professor

Yu. Morozov², Associate professor

¹National University «Odessa Maritime Academy»

²Odessa Polytechnic State University

Abstract: The problem of constructing fundamental discontinuous solutions to the heat conduction problems for a piecewise-homogeneous transversely isotropic space is reduced to the matrix Riemann problem in the space of generalized slow growth functions. As a result of the solution of which, were obtained expressions in explicit form for the components of the vector of the fundamental discontinuous solution of the heat conduction problem, as well as simple representations for temperature and heat fluxes, both inside piecewise-homogeneous transversely isotropic space and in a in plane of connection half-spaces containing concentrated stationary heat sources.

Key-words: fundamental solutions, matrix Riemann problem, transversely isotropic inhomogeneous space, generalized functions.

Задачі дослідження процесів енергоперетворення при експлуатації суднових енергетичних установок потребують розв'язання відповідних краївих задач теплопровідності для неоднорідних тіл, що містять дефекти типу включень і тріщин [1-13]. Тому побудова фундаментальних розв'язків відповідних краївих задач теплопровідності є важливою науковою-технічною проблемою.

Компоненти вектору $\{T, q_1, q_2, q_3\}$ при $z \neq 0$, $(x, y) \notin \Omega_{\pm}$ та наявності зосереджених стаціонарних джерел тепла задовольняють наступній системі диференційних рівнянь [1,2]

$$\partial_j T(x, y, z) + \lambda_j^{-1} q_j(x, y, z) = 0, \quad \sum_{j=1}^3 \partial_j q_j(x, y, z) = -Q \delta(x - x_0, y - y_0, z - z_0), \quad j = 1, 2, 3,$$

де T – температура, q_i – компоненти вектору теплового потоку \mathbf{q} , $Q = Q^+ \theta(z) + Q^- \theta(-z)$ – потужність теплового джерела, $\lambda_i = \lambda_i^+ \theta(z) + \lambda_i^- \theta(-z)$, $i = \overline{1,3}$ λ_i^\pm – коефіцієнти теплопровідності для верхнього $z > 0$ і нижнього $z < 0$ півпросторів відповідно.

Введемо наступні позначення $\mathbf{w} = \{w_k\}_{k=\overline{1,4}}$, де функції $w_k(x, y, z) \in \mathfrak{J}'(\mathbb{R}^3)$ є компоненти системи фундаментальних розривних розв'язків, тобто розв'язків, які задовільняють системі наступній системі краївих задач

$$\mathbf{D}[z, \partial_1, \partial_2, \partial_3] \mathbf{w} = \mathbf{f}^0, \quad \mathbf{w}_j, \mathbf{f}^0 \in \mathfrak{J}'(\mathbb{R}^3); \quad (1)$$

$$w_4(x, y, +0) - w_4(x, y, -0) = \chi_4^-, w_3(x, y, +0) - w_3(x, y, -0) = \chi_3^- \quad (2)$$

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} \lambda_1^{-1} & 0 & 0 & \partial_1 \\ 0 & \lambda_2^{-1} & 0 & \partial_2 \\ 0 & 0 & \lambda_3^{-1} & \partial_3 \\ \partial_1 & \partial_2 & \partial_3 & 0 \end{pmatrix}, \mathbf{f}^0 = \{-\delta_{k4} \delta(x - x_0, y - y_0, z - z_0)\}_{k=\overline{1,4}} \quad \delta_{kj} \text{ – символ Кронекера}$$

$\chi_k^-, k = 3, 4$ – стрибки температури та теплового потоку на дефекті Ω

Компоненти вектору \mathbf{w} подаємо так $w_k = \theta(z)w_k + \theta(-z)w_k = w_k^+ + w_k^-$, де $w_k^\pm \in \mathfrak{J}'(\mathbb{R}_\pm^3)$, $\mathbb{R}_\pm^3 = \mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}_\pm$ і застосуємо до матричного рівняння (1.5) оператор тривимірного перетворення Фур'є F_3 із $\mathfrak{J}'(\mathbb{R}^3)$. Тоді, враховуючи умови (1.6) і результати робіт [1-14], відносно $W_k^\pm(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = F_3[w_k^\pm] \in \mathfrak{J}'(\mathbb{R}^3)$ отримаємо наступне матричне рівняння

$$\mathbf{B}^+ \mathbf{W}^+ = \mathbf{B}^- \mathbf{W}^- + \mathbf{F}^0, \quad \mathbf{W}_j^\pm, \mathbf{F}_j^0 \in \mathfrak{J}'(\mathbb{R}^3), j = \overline{1,4}. \quad (3)$$

$$\mathbf{W}^\pm = \{W_k^\pm\}_{k=1}^4, \quad \mathbf{B}^\pm = \mathbf{D}[\pm 0, -i\alpha_1, -i\alpha_2, -i\alpha_3], \quad \mathbf{F}_j^0 = \{\delta_{k4} e^{i\alpha_1 x_0 + i\alpha_2 y_0 + i\alpha_3 z_0}\}_{k=1}^4$$

$$\mathbf{D}[\pm 0, -i\alpha_1, -i\alpha_2, -i\alpha_3] = \begin{pmatrix} \lambda_{1,\pm}^{-1} & 0 & 0 & (-i\alpha_1) \\ 0 & \lambda_{1,\pm}^{-1} & 0 & (-i\alpha_2) \\ 0 & 0 & \lambda_{3,\pm}^{-1} & (-i\alpha_3) \\ (-i\alpha_1) & (-i\alpha_2) & (-i\alpha_3) & 0 \end{pmatrix}$$

Функції $w_k^\pm \in \mathfrak{J}'(\mathbb{R}_\pm^3)$ допускають аналітичне подання [3,4,5] по змінній α_3 , тому матричне рівняння (3) є краєвою умовою матричної задачі Рімана по змінній α_3 .

Враховуючи властивості узагальнених функцій застосовуючи методику робіт [6-13], країві умови (3) запишемо так

$$\mathbf{B}^\pm \mathbf{W}^\pm = \mathbf{F}^\pm, \quad \mathbf{W}^\pm, \mathbf{F}^\pm \in \mathfrak{J}'(\mathbb{R}^3), \quad (4)$$

$$\mathbf{F}_j^\pm = \{f_k^\pm\}_{k=\overline{1,4}}, \quad f_k^\pm = \theta(\pm z_0) e_0^\pm \delta_{k4} \mp \frac{1}{2} \chi_k, \quad \chi = \{\chi_k\}_{k=\overline{1,4}} \in \mathfrak{J}'(\mathbb{R}^2), \quad \chi_k = 0, k = 1, 2$$

$\chi_k(\alpha_1, \alpha_2)$ – невідомі функції із $\mathfrak{J}'(\mathbb{R}^2)$ для визначення яких використаємо перетворенні по Фур'є умови (2).

$$\begin{aligned}
 r\chi_1(\alpha_1, \alpha_2) &= \theta(z_0)m_1^+e_0^+e^{-\xi_0^+rz_0} + \theta(-z_0)m_1^-e_0^-e^{\xi_0^-rz_0} + \tilde{a}_{11}r\chi_4^- + \tilde{a}_{12}\chi_3^- \\
 \chi_2(\alpha_1, \alpha_2) &= \theta(z_0)m_2^+e_0^+e^{-\xi_0^+rz_0} + \theta(-z_0)m_2^-e_0^-e^{\xi_0^-rz_0} + \tilde{a}_{21}r\chi_4^- + \tilde{a}_{22}\chi_3^- \\
 m_p^\pm &= \tilde{a}_{p2} \mp \frac{\tilde{a}_{p1}}{\lambda_3^\pm \xi_0^\pm}, p=1,2 \quad \mathbf{A} = \{a_{ij}\}_{i,j=1,2} = \mathbf{N}^+ - \mathbf{N}^-, \tilde{\mathbf{A}} = \mathbf{A}^{-1} = \{\tilde{a}_{ij}\}_{i,j=1,2} \\
 N^+ &= -\begin{pmatrix} \lambda_3^+/2 & 1/2\xi_0^+ \\ \lambda_1^+\lambda_3^+/2\xi_0^+ & \lambda_3^+/2 \end{pmatrix}, N^- = \begin{pmatrix} -\lambda_3^-/2 & 1/2\xi_0^- \\ \lambda_1^-\lambda_3^-/2\xi_0^- & -\lambda_3^-/2 \end{pmatrix}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Безпосередньо із рівнянь (8) отримаємо $\mathbf{W}^\pm = \mathbf{B}_\pm^{-1}\mathbf{F}^\pm$, де $\mathbf{B}_\pm^{-1} = \{b_k^{*\pm}\}_{k=1,4}$. Після застосування оберненого перетворення Фур'є, компоненти векторів $\mathbf{w}^\pm = \{w_k^\pm\}_{k=1,4} = \mathbf{F}_3^{-1}[\mathbf{W}^\pm]$, $k=3,4$ подамо так:

$$\begin{aligned}
 w_4^+ &= \theta(z_0)\left\{\frac{s^+}{(r_0^2 + (\xi_0^+(z-z_0))^2)^{1/2}} + \frac{\beta_1^{++}}{(r_0^2 + (\xi_0^+(z+z_0))^2)^{1/2}}\right\} + \theta(-z_0)\frac{\beta_1^{+-}}{(r_0^2 + (\xi_0^+z - \xi_0^-z_0)^2)^{1/2}} + \\
 &+ \frac{q_{11}^+}{2\pi} \iint_{\Omega} \frac{\chi_4^-(t, \tau) \xi_0^+ |z|}{(r_*^2 + (\xi_0^+ z)^2)^{3/2}} dt d\tau + \frac{q_{12}^+}{2\pi} \iint_{\Omega} \frac{\chi_3^-(t, \tau)}{(r_*^2 + (\xi_n^+ z_0)^2)^{1/2}} dt d\tau; r_* = \sqrt{(x-t)^2 + (y-\tau)^2} \\
 w_4^- &= \theta(-z_0)\left\{\frac{s^-}{(r_0^2 + (\xi_0^-(z-z_0))^2)^{1/2}} + \frac{\beta_1^{--}}{(r_0^2 + (\xi_0^-(z+z_0))^2)^{1/2}}\right\} + \theta(z_0)\frac{\beta_1^{-+}}{(r_0^2 + (\xi_0^-z - \xi_0^+z_0)^2)^{1/2}} + \\
 &+ \frac{q_{11}^-}{2\pi} \iint_{\Omega} \frac{\chi_4^-(t, \tau) \xi_0^- |z|}{(r_*^2 + (\xi_0^- z)^2)^{3/2}} dt d\tau + \frac{q_{12}^-}{2\pi} \iint_{\Omega} \frac{\chi_3^-(t, \tau)}{(r_*^2 + (\xi_0^- z_0)^2)^{1/2}} dt d\tau; \\
 w_3^+ &= -\theta(z_0)\left\{\frac{1}{2} \frac{\xi_0^+ |z-z_0|}{(r_0^2 + (\xi_0^+(z-z_0))^2)^{3/2}} + \frac{\beta_2^{++} \xi_0^+ (z+z_0)}{(r_0^2 + (\xi_0^+(z+z_0))^2)^{3/2}}\right\} + \theta(-z_0)\frac{\beta_2^{+-} (\xi_0^+ z - \xi_0^- z_0)}{(r_0^2 + (\xi_0^+ z - \xi_0^- z_0)^2)^{3/2}} + \\
 &+ \frac{q_{21}^+}{2\pi} \frac{1}{\xi_n^+} \frac{\partial^2}{\partial z^2} \iint_{\Omega} \frac{\chi_4^-(t, \tau)}{(r_*^2 + (\xi_0^+ z)^2)^{1/2}} dt d\tau + \frac{q_{22}^+}{2\pi} \iint_{\Omega} \frac{\chi_3^-(t, \tau) \xi_n^+ |z|}{(r_*^2 + (\xi_0^+ z)^2)^{3/2}} dt d\tau \\
 w_3^- &= -\theta(-z_0)\left\{\frac{1}{2} \frac{\xi_0^- |z-z_0|}{(r_0^2 + (\xi_0^-(z-z_0))^2)^{3/2}} + \frac{\beta_2^{--} \xi_0^- (z+z_0)}{(r_0^2 + (\xi_0^-(z+z_0))^2)^{3/2}}\right\} + \theta(z_0)\frac{\beta_2^{-+} |\xi_0^- r z - \xi_0^+ r z_0|}{(r_0^2 + (\xi_0^- z - \xi_0^+ z_0)^2)^{3/2}} + \\
 &+ \frac{q_{21}^-}{2\pi} \frac{1}{\xi_0^-} \frac{\partial^2}{\partial z^2} \iint_{\Omega} \frac{\chi_4^-(t, \tau)}{(r_*^2 + (\xi_0^- z)^2)^{1/2}} dt d\tau + \frac{q_{22}^-}{2\pi} \iint_{\Omega} \frac{\chi_3^-(t, \tau) \xi_0^- |z|}{(r_*^2 + (\xi_0^- z)^2)^{3/2}} dt d\tau
 \end{aligned}$$

$$q_{1j}^\pm = \sum_{k=1}^2 n_{1k}^\pm \tilde{a}_{kj}, q_{2j}^\pm = \sum_{k=1}^2 n_{2k}^\pm \tilde{a}_{kj}, \beta_j^{\pm\pm} = \sum_{k=1}^2 n_{1k}^\pm m_k^\pm, \beta_j^{\mp\mp} = \sum_{k=1}^2 n_{1k}^\pm m_k^\mp, j=1,2, s^\pm = (2\lambda_3^\pm \xi_0^\pm)^{-1}$$

Шукану температуру T отримаємо так $T = w_4 * Q$

Поклавши $z=0$, отримаємо розподіл температури та теплового потоку в площині з'єднання півпросторів при наявності джерел тепла зосередженого у точці

$$\begin{aligned}
 T^+ &= \theta(z_0) \frac{Q^+(s_1^+ + \beta_1^{++})}{(r_0^2 + (\xi_0^+ z_0)^2)^{1/2}} + \theta(-z_0) \frac{Q^- \beta_1^{+-}}{(r_0^2 + (\xi_0^- z_0)^2)^{1/2}} + q_{11}^+ \iint_{\Omega} \frac{\chi_4^-(t, \tau)}{r_0} dt d\tau; \\
 T^- &= \theta(-z_0) \frac{Q^-(s_1^- + \beta_1^{--})}{(r_0^2 + (\xi_0^- z_0)^2)^{1/2}} + \theta(z_0) \frac{Q^+ \beta_1^{-+}}{(r_0^2 + (\xi_0^+ z_0)^2)^{1/2}} + q_{11}^- \iint_{\Omega} \frac{\chi_4^-(t, \tau)}{r_0} dt d\tau
 \end{aligned}$$

$$q_3^+ = -\theta(z_0) \frac{Q^+ \xi_0^+ |z_0| (1 - \beta_2^{++})}{(r_0^2 + (\xi_0^+ z_0)^2)^{3/2}} + \theta(-z_0) \frac{Q^- \xi_0^- |z_0| \beta_2^{+-}}{(r_0^2 + (\xi_0^- z_0)^2)^{3/2}} + q_{22}^+ \chi_3^-(x, y) - \frac{q_{21}^+}{2\pi} \iint_{\Omega} \frac{\chi_4^-(t, \tau)}{r_0^3};$$

$$q_3^- = \theta(-z_0) \frac{Q^- \xi_0^- |z_0| (1 + \beta_2^-)}{(r_0^2 + (\xi_0^- z_0)^2)^{3/2}} + \theta(z_0) \frac{Q^+ \xi_0^+ |z_0| \beta_2^{+-}}{(r_0^2 + (\xi_0^+ z_0)^2)^{3/2}} + q_{22}^- \chi_3^-(x, y) - \frac{q_{21}^-}{2\pi} \iint_{\Omega} \frac{\chi_4^-(t, \tau)}{r_0^3} dt d\tau \quad (6)$$

Висновки. Побудовано в явному аналітичному вигляді фундаментальні розв'язки задачі тепlopровідності для кусково-однорідного трансверсально-ізотропного простору, що дозволяє дослідити розподіл температури та теплового потоку у площині з'єднання матеріалів, в тому числі у вузлах суднових енергетичних установок

ЛІТЕРАТУРА

1. Кривий О. Ф., Морозов Ю. А. Фундаментальні розв'язки для кусково-одно-рідного трансверсально-ізотропного пружного простору // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2020. – 63, № 1. – С. 122–132.
2. 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.
3. Кривий О. Ф., Морозов Ю. А. Розв'язок задачі тепlopровідності для трансверсально-ізотропного кусково-однорідного простору з двома круговими включеннями // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2017. – 60, № 2. – С. 130–141.
4. Kryvyy 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>.
5. Kryvyy O. F., Morozov Yu. The influence of mixed conditions on the stress concentration in the neighborhood of interfacial inclusions in an inhomogeneous transversely isotropic space // ICTAEM-2020. Structural Integrity, Vol. 16. pp. 204–209. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47883-4_38.
6. Kryvyy O. F., Morozov Yu. The problem of stationary thermoelasticity for a piecewise homogeneous transversely isotropic space under the influence of a heat flux specified at infinity is considered // J. Phys.: Conf. Ser., 1474 012025.
7. Kryvyy O. F., Morozov Yu. O. Interphase Circular Inclusion in a Piecewise-Homogeneous Transversely Isotropic Space Under the Action of a Heat Flux//. ICTAEM18. Structural Integrity, 2019, vol 5. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91989-8_94P. 394–396.
8. Kryvyy O. F., Morozov Yu. Thermally active interphase inclusion in a smooth contact condition with transversely isotropic half-spaces // Frattura ed Integrità Strutturale. 2020, 14, No. 52. pp. 33–50.
– doi: 10.3221/IGF-ESIS.52.04.
9. Kryvyy 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, No. 1(35). –P. 16–30.
10. Kryvyy O. F., Morozov Yu. The problem of stationary thermoelasticity for a piecewise homogeneous transversely isotropic space under the influence of a heat flux specified at infinity is considered // J. Phys.: Conf. Ser., 1474 012025. –doi:10.1088/1742-6596/1474/1/012025.
11. Кривой А. Ф., Радиолло М. В. Особенности поля напряжений возле включений в составной анизотропной плоскости//Изв. АН СССР Механика твердого тела, 1982, стр. 84-92
12. Kryvy O. Tunnel Internal Crack in a Piecewise Homogeneous Anisotropic Space// Journal of Mathematical Sciences, 2014,v. 198, №1,pp. 62-72
13. Krivoi A. F., Popov G. Ya. Interface tunnel cracks in a composite anisotropic space// Journal of applied mathematics and mechanics., 2008, v.72, N 4, pp.499-507
14. Кривой А.Ф. Произвольно ориентированные дефекты в составной анизотропной плоскости//Вісн. Одеськ. держ. ун-ту., Т. 6, вип. Фіз.-мат. науки., 2001., С. 108-115

УДК 629.436

ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОТОРНИХ МАСТИЛ НА РОЗПОДІЛ ТИСКУ В ПАРАХ КОВЗАННЯ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

М. О. Кривий, аспірант

С. В. Сагін, д.т.н., доцент

Національний Університет «Одеська Морська Академія»

Анотація. Задача визначення розподілу тиску в мастильному шарі в парах ковзання суднових дизелів зведена до краєвої задачі для диференційного рівняння Рейнольдса. Отримані точні розв'язки вказаної задачі з урахуванням фізико-хімічних властивостей мастил. Зокрема, досліджено особливості розподілу тиску в парах ковзання для неньютонівських мастил при різних залежностях динамічної в'язкості мастил від тиску і температури.

Ключові слова: мастильний шар, диференціальне рівняння Рейнольдса, неньютонівські мастила, розподіл сили тиску в мастильному шарі.

INFLUENCE OF PROPERTIES OF ENGINE OILS ON PRESSURE DISTRIBUTION IN FRICTION PAIRS OF MARINE DIESEL ENGINES

M.O. Kryvyi, graduate student

S.V. Sagin, Dr. of Science, Associate Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The problem of determining the pressure distribution in the lubricating layer in the friction pairs of marine diesels is reduced to the boundary value problem for the Reynolds differential equation. Precise solutions of this problem are obtained, taking into account the physicochemical properties of lubricants. In particular, the peculiarities of the pressure distribution in friction pairs for non-Newtonian lubricants at different dependences of the dynamic viscosity of lubricants on pressure and temperature are studied.

Keywords: lubricating layer, Reynolds differential equation, non-Newtonian lubricants, pressure force distribution in the lubricating layer

Зношування в парах ковзання є однією із основних причин аварійних ситуацій під час експлуатації теплових двигунів (дизелів та газових турбін) суднових енергетичних установок [1, 2]. Процес тертя тісно пов'язаний з характеристиками мастильного шару, що поділяє поверхні контакту, та на який впливають як режими експлуатації (зокрема пуск, зупинка, зміна частоти обертання, зміна температурних режимів), так і реологічні властивості мастил [3-5]. При цьому критичні режими експлуатації суднових дизелів суттєво змінюють фізико-хімічні властивості моторних мастил, насамперед густину та в'язкість. Тому під час дослідження критичних режимів, а особливо проведення випробувань на цих режимах, необхідно враховувати неньютонівські властивості моторних мастил. Побудова та дослідження математичних моделей, що описують контактні напруження в парах ковзання суднових дизелів та перебіг процесів мащення їх поверхонь з врахуванням неньютонівських властивостей моторних мастил є актуальним теоретичним і прикладним завданням.

У більшості досліджень, що пов'язані з визначенням оптимальних режимів мащення пар ковзання суднових дизелів, вивчається гідродинамічне тертя, при якому мастильний матеріал розглядається як ньютонівська рідина [6]. Поруч з цим останні дослідження [7, 8] показують, що сучасні моторні мастила мають

більш складні реологічні властивості, особливо це виявляється в граничних шарах мастильної плівки (наприклад, за таких умов їх в'язкість залежить від зсувних зусиль) [9]. В роботах [4,5] запропонований підхід до дослідження властивостей неньютонівського мастильного шару, коли динамічна в'язкість μ залежить від тиску $p(\psi)$ в мастильному шарі і має місце співвідношення Баруса $\mu = \mu_0 e^{\xi p(\psi)}$, де μ_0 – в'язкість мастила, яка відповідає зовнішнім тиску і температурі; ξ – п'єзо коефіцієнт в'язкості мастила.

Метою роботи є визначення розподілу тиску в мастильному шарі пари ковзання судових дизелів для неньютонівських мастил при довільній залежності динамічної в'язкості від тиску $p(\psi)$ і температури T в мастильному шарі: $\mu = \mu_0 \mu_*(p, T)$.

Модель руху пари ковзання, поверхні якої поділені мастилом з подібними характеристиками, подана на рис. 1.

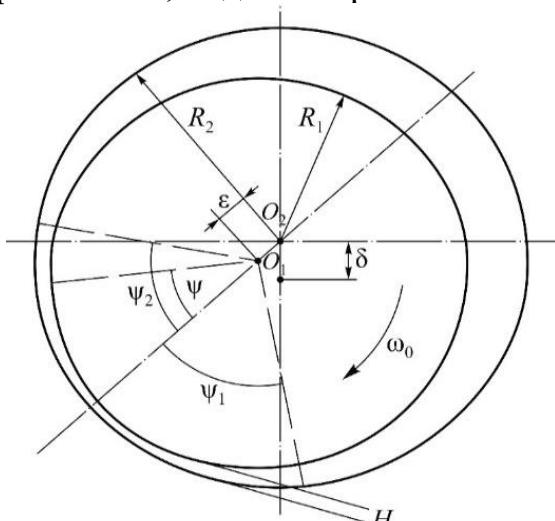


Рисунок 1 – Модель руху пари ковзання суднових дизелів

стила ρ і кутову швидкість $\omega(t)=\omega_0$ сталими. При таких припущеннях тиск в мастильному шарі $p(\psi)$ і його товщина $h(\psi)$ зв'язані рівнянням Рейнольдса, яке може бути подане у вигляді

$$\frac{d}{d\psi} \left(\frac{H^3}{\mu_0 \mu(p, T)} \frac{dp}{d\psi} \right) = 6\omega_0 R_1 R_2 \frac{dH}{d\psi}, \quad \psi_1 < \psi < \psi_2, \quad (1)$$

де T – температура в мастильному шарі; R_1, R_2 – відповідно радіус валу і втулки пари ковзання; ψ_1, ψ_2 – визначають початок і кінець робочої контактної зони, (рис. 1). Будемо вважати, що на початку та при кінці робочої контактної зони тиск дорівнює нулю

$$p(\psi_1) = p(\psi_2) = 0. \quad (2)$$

В припущені відсутності деформації в елементах пари ковзання, товщину прошарку мастила в парі ковзання подамо так: $h(\psi) = \delta + \varepsilon \cos \psi$, де δ, ε – відповідно радіальний зазор і эксцентриситет центрів тіл пар ковзання.

Припустимо, що процеси гідродинамічного або граничного мащення в парі ковзання суднового дизеля є сталими і не залежать від повздовжньої координати, тобто швидкість руху мастила вздовж осі обертання суттєво менше швидкості кругового обертання і нею можна знехтувати [5]. Будемо вважати густину ма-

Крайова задача (1), (2) служить для визначення розподілу тиску в мастильному шарі пари ковзання суднових дизелів. Після першого інтегрування рівняння (1), отримаємо

$$\frac{1}{\mu_*(p, T)} \frac{dp}{d\psi} = 6\mu_0\omega_0 R_1 R_2 h^{-2} + Ch^{-3}, \quad \psi_1 < \psi < \psi_2. \quad (3)$$

Скориставшись методикою робіт [4, 5], виразимо довільну сталу C із рівняння (3) через кут $\psi_0 = \max_{\psi_1 < \psi < \psi_2} p(\psi)$, який задовольняє умові $\frac{dp(\psi_0)}{d\psi} = 0$ і при якому тиск досягає максимуму $p_{\max} = p(\psi_0)$, а товщина мастильного шару мінімуму $h_{\min} = h(\psi_0)$. В результаті маємо подання: $C = -\mu_0 6\omega_0 R_1 R_2 h_{\min}$, порівнюючи цей вираз з результатами робіт [4, 5], в яких були визначені залежності в'язкості неньютонівських мастил, що поділяють пари тертя суднових дизелів, робимо висновок: перша стала інтегрування рівняння Рейнольдса не залежить від динамічних характеристик в'язкості. Отже, диференціальне рівняння (3) подамо так

$$\frac{1}{\mu(p, T)} \frac{dp}{d\psi} = \frac{\Theta(\cos \psi - \cos \psi_0)}{\xi(1 + \varepsilon \cos \psi)^3}, \quad \psi_1 < \psi < \psi_2,$$

в якому введені позначення $\Theta = 6\xi \mu_0 \omega_0 \frac{\varepsilon_0 (\delta_0 + 1)}{\delta_0^2}$, $\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon}{\delta}$, $\delta_0 = \frac{\delta}{R_1}$.

Розглянемо випадок коли динамічна в'язкість залежить від тиску та температури за експоненціальним законом (узагальнене співвідношення Баруса):

$$\mu_*(p, T) = e^{\xi p(\psi) - \sigma_0(T - T_0)},$$

де T_0 – температура ззовні пари ковзання; σ_0 – стала величина, що визначається експериментально для даної пари ковзання.

З урахуванням подання (5), загальний розв'язок диференціального рівняння запишемо у вигляді

$$p(\psi) = \sigma_0(T - T_0) - \frac{1}{\xi} \ln(1 - \Theta J(\psi)), \quad \psi_1 < \psi < \psi_2. \quad (5)$$

$$\text{де } J(\psi) = \int_{\psi_1}^{\psi_2} \frac{\varepsilon_0 (\cos \psi_0 - \cos \alpha)}{(1 + \varepsilon_0 \cos \alpha)^2} d\alpha.$$

Кут ψ_0 визначимо із першої рівності умов (2). Отже, подання (5) визначає розподіл тиску в мастильному шарі пари ковзання, коли динамічна в'язкість залежить від тиску і температури.

Висновки. Як результат дослідження розроблена математична модель, що відображає точний розв'язок крайової задачі для диференціального рівняння Рейнольдса стосовно процесів машинення, що перебігають у парах ковзання суднових дизелів. Це дозволило знайти простий аналітичний вираз для визначення розподілу тиску в мастильному шарі пари ковзання для неньютонівських мастил, коли динамічна в'язкість залежить від тиску і температури. Запропоноване експоненціальне подання враховує залежність в'язкості у тонких плівках

мастильного матеріалу під час зміни зсувних навантажень, що характерно в умовах граничного мащення підшипників ковзання суднових дизелів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sagin S. V., Semenov O. V. Marine Slow-Speed Diesel Engine Diagnosis with View to Cylinder Oil Specification // American Journal of Applied Sciences. – 2016. – Vol. 13. – Iss. 5. – P. 618-627. DOI: 10.3844/ajassp.2016.618.627.
2. Sagin S.V., Solodovnikov V.G. Estimation of Operational Properties of Lubricant Coolant Liquids by Optical Methods // International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – Vol. 12. – № 19. – P. 8380-8391.
3. Сагін С. В. Реология моторных масел при режимах пуска и реверса судовых малооборотных дизелей // Universum: Технические науки. – 2018. – Вып. 3(48). – С. 67-71.
4. Сагін С.В., Кривий М.О. Визначення розподілу тиску в шарі неньютонівських мастил у суднових енергетичних установках / Вісник Одеськ. нац. морск. ун-ту : зб. наук. праць. – 2020. – № 2(62). – С. 160 - 170.
5. Кривий М.О., Сагін С.В. Математична модель мастильного шару в парах ковзання в суднових енергетичних установках/ Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика» 05.11.2019 –06.11.2019. Одеса, НУ «ОМА». – С. 144 - 148.
6. Кривий М. О. Особливості реології моторних мастил при забезпеченні режимів змащення пар тертя суднових мало-обертових дизелів/ Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт: матеріали науково-технічної конференції. – Одеса : НУ «ОМА», 2017. – С. 31-34.
7. Кривий М.А. Исследование явления срратификации вязкости моторного масла в узлах трения судовых дизелей / Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018): матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції – Херсон: ХДМА, 2018.- С. 321-324.
- 8.Кривой М. А. Обеспечение режимов смазывания подшипниковых узлов судовых малооборотных дизелей при режимах пуска и реверса / Суднова энергетика: стан та проблеми : матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2017. – С. 74-78.
9. Сагін С. В., Кривий М. О. Забезпечення мащення суднових дизелів під час граничних режимів тертя. / Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018): матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції – Херсон: ХДМА, 2021.- С. 221-224.
10. Сагін С. В., Кривий М. О. Вплив властивостей мастил на розподіл тиску в парах ковзання в суднових енергетичних установках. / Матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології засобів транспорту», Харків-Миргород, 2021, с. 89-90.

УДК 629.436

ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО КОНТАКТНОГО ТИСКУ В ПАРАХ КОВЗАННЯ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

М. О. Кривий, аспірант

С. В. Сагін, д.т.н., доцент

Національний Університет «Одеська Морська Академія»

Анотація: для визначення максимального контактного тиску і зон контакту в парах ковзання суднових енергетичних установок розроблена методика, яка базується на розв'язанні контактної задачі теорії пружності для циліндричних тіл. Задачу зведено до інтегро-диференціального рівняння з ядром Гілберта, розв'язок якого отримано за допомогою апроксимаційних формул. Проведено числове моделювання, в результаті визначений максимальний тиск і параметри зони контакту для деяких комбінацій матеріалів пари ковзання суднових енергетичних установок.

Ключові слова: пара ковзання, суднові енергетичні установки, контактний тиск, зона контакту.

DETERMINATION OF MAXIMUM CONTACT PRESSURE IN FRICTION PAIRS OF MARINE POWER PLANT

M.O. Kryvyyi, graduate student

S.V. Sagin, Dr. of Science., Associate Professor
 National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: to determine the maximum contact pressure and contact zones in the friction pairs of marine power plants, a technique has been developed based on solving the contact problem of the theory of elasticity for cylindrical bodies. The problem is reduced to the integro-differential equations with the Hilbert kernel, the solution of which is obtained by means of approximation formulas. Numerical simulations were performed, as a result, the maximum pressure and contact zone parameters were determined for some combinations of friction pairs materials of marine power plants.

Key words: friction pairs, marine power plants, contact pressure, contact zone.

Дослідження нормального тиску і визначення областей контакту в парах ковзання є важливими задачами для прогнозування довговічності роботи суднових дизелів. Розв'язання вказаних задач базується на застосуванні математичних моделей процесів (числове моделювання), що відбуваються в парах ковзання. При цьому розглядають два основних процеси які відбуваються при роботі пари ковзання: дослідження контактних і дотичних напружень, які виникають в парах ковзання в рамках пружних або пружно-пластичних контактних моделей; дослідження гідродинамічних процесів в тонкому шарі мастила між елементами пари ковзання. Поєднання цих процесів дозволяє в достатній мірі оцінити вплив пружно-механічних властивостей елементів пари ковзання і в'язкістних та гідродинамічних характеристик мастил на довговічність роботи вузла суднових дизелів.

В результаті втискання циліндра радіуса R_1 в циліндричну порожнину радіусу R_2 , утвориться область контакту $\psi \in (-\psi_0; \psi_0)$, в якій діє контактний тиск $p(\psi)$. Контакт забезпечується завантаженням стискаючої радіальної зосередженої силами P в умовах плоскої деформації (рис. 1).

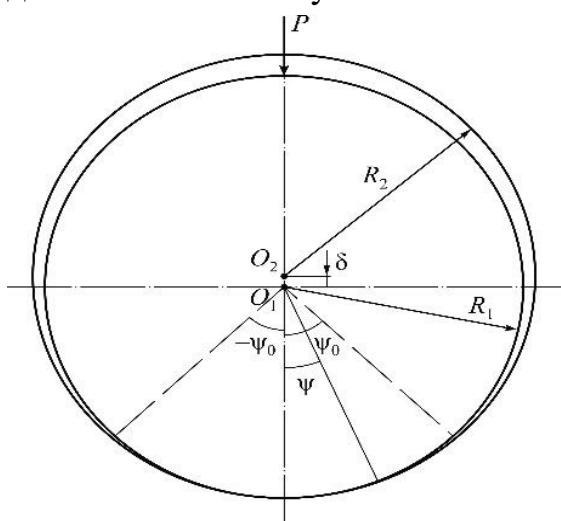


Рисунок 1 – Модель циліндричної пари ковзання

Точка циліндра, яка відповідає куту ψ , суміститься з точкою на циліндричній порожнині, якщо виконується умова $u_1(\psi) + u_2(\psi) = \alpha \cos \psi - \delta(1 - \cos \psi)$, (1)

де δ – радіальний зазор між центрами циліндра O_1 та циліндричної порожнини O_2 (рис. 1); α – зближення елементів пари під час втискання.

Враховуючи гладке примикання елементів пари на кінцях області контакту, контактне напруження $p(\psi)$, яке потрібно визначити, повинно задовільнити умовам:

$$p(\pm\psi_0) = 0. \quad (2)$$

При цьому границя області контакту завчасно не відомо. Для її визначення використаємо умову силової рівноваги

$$\int_{-\psi_0}^{\psi_0} p(\psi) \cos \psi d\psi = P/R, \quad (3)$$

де R – номінальний радіус з'єднання пари (враховуючи, що радіуси елементів пари мало відрізняються, можна вважати $R = R_1 = R_2$).

Скориставшись принципом суперпозиції, фундаментальним розв'язком [1], умовами (1), (3), (4) дають можливість відносно невідомого контактного тиску $p(\psi)$ отримати наступне інтегрально-диференціального рівняння з ядром Гілберта

$$\mu_0 p(\psi) + \int_{-\psi_0}^{\psi_0} p'(x) \operatorname{ctg}(\psi - x) dx = \gamma, \quad \psi \in (-\psi_0; \psi_0) \quad (4)$$

де $\mu_0 = -\chi_2/\chi_1$, $\gamma = -\frac{\mu_2}{\chi_1} \int_{-\psi_0}^{\psi_0} p(\psi) d\psi - \frac{\delta}{2\chi_1}$; χ_j, μ_j – сталі, що залежать від пружних

характеристик пари ковзання.

Для розв'язання рівняння (5) скористаємося апроксимаційною формулою [2].

$$p(\psi) = \lambda_1 \cos\left(\frac{\pi\psi}{2\psi_0}\right) + \lambda_2 \cos\left(\frac{3\pi\psi}{2\psi_0}\right). \quad (5)$$

Коефіцієнти λ_1, λ_2 в поданні (6) і кут ψ_0 визначимо безпосередньо із рівняння (5) і умови силової рівноваги (4).

Використавши отримані розв'язки визначимо максимальне значення контактного тиску $p_{\max} = \max_{\psi \in (-\psi_0; \psi_0)} p(\psi)$.

Враховуючи умови (5), можна стверджувати, що максимальне значення контактний тиск буде досягатись в деякій точці ψ_* , яка належить інтервалу контакту. В цій точці повинна виконуватись умова $p'(\psi_*) = 0$. Скориставшись

поданням (9), отримаємо $p'(\psi) = \frac{\pi}{2\psi_0} \left(\lambda_1 \sin\left(\frac{\pi\psi}{2\psi_0}\right) + 3\lambda_2 \sin\left(\frac{3\pi\psi}{2\psi_0}\right) \right)$. Звідси не важко

довести, що $\psi_* = 0$ і отже: $p_{\max} = \lambda_1 + \lambda_2$.

Розглянемо деякі приклади обчислення параметрів подання (9). Нехай матеріал внутрішнього тіла сталі (кільця або плунжера ПНВТ), для якої $v_1=0,3$; $E_1=210$ ГПа; або бронза (вкладень підшипника) для якої $v_1=0,34$; $E_1=100$ ГПа. Матеріал зовнішнього тіла сталі (вал або втулка ПНВТ) $v_1=0,3$; $E_1=210$ ГПа; або чавун (втулка циліндра), для якого $v_1=0,25$; $E_1=115$ ГПа.

Будемо вважати, наприклад, що радіус внутрішнього тіла пари ковзання $R=0,4$ м; довжина дуги по якій передається навантаження $l=0,25$ м; середній радіальний зазор $\delta=0,03$ м; сила тиску внутрішнього циліндра до зовнішнього тіла $Q=0,15$ кН; $P=Q/b=0,15$ кН/м [10, 11]. В табл. 1 наведені значення сталіх із

подання (9), а також максимальне значення контактного тиску для вказаних пар ковзання при заданих значеннях навантаження і внутрішнього радіуса.

Таблиця 1 – Розрахунок контактного тиску в різних парах тертя ковзання

Пара ковзання	Матеріал	Параметр, що розраховується			
		ψ_0 , град	λ_1 , МПа	λ_2 , МПа	p_{max} , МПа
вал – вкладень підшипника	сталь-бронза	54,4	120,3	-12,5	107,8
поршневе кільце – втулка циліндра	сталь-чавун	53,7	115,7	-12,4	103,1
плунжер ПНВТ – втулка ПНВТ	сталь-сталь	52,5	126,5	-12,1	114,4

Висновки. Отриманні значення дозволяють зробити висновок, що розподіл тиску і його максимальне значення суттєво залежать як від навантаження так і від радіального зазору. Результати розрахунків, що виконані із застосуванням розробленої чисельної моделі, свідчать, що зміна радіального зазору від початкового до максимально можливого призводить до збільшення тиску в парі ковзання на 23 ... 37 %. Це сприяє значному зростанню втрат енергії на подолання контактних зусиль та зменшенню часу надійної експлуатації пар ковзання, тому потребує постійного відстеження в процесі експлуатації та виконання дій, спрямованих на зменшення радіальних зазорів. Крім того таке значне зростання тиску між елементами пари ковзання висуває додаткові вимоги щодо пружнодемпфуючих характеристик моторних мастил [2-8].

ЛІТЕРАТУРА

1. Штаерман И. Я. Контактная задача теории упругости. – М.: Гостехиздат, 1949. – 272 с.
2. Александров В.М., Ромалис Б.Л. Контактные задачи в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
3. Сагін С.В., Кривий М.О. Визначення розподілу тиску в шарі неньютонівських мастил у суднових енергетичних установках / Вісник Одеськ. нац. морск. ун-ту : зб. наук. праць. – 2020. – № 2(62). – С. 160 - 170.
4. Кривий М.О., Сагін С.В. Математична модель мастильного шару в парах ковзання в суднових енергетичних установках // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика» 05.11.2019 –06.11.2019. Одеса, НУ «ОМА». – С. 144 - 148.
5. Кривий М. О. Особливості реології моторних мастил при забезпеченні режимів змащення пар тертя суднових мало-обертових дизелів/ Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт: матеріали науково-технічної конференції. – Одеса : НУ «ОМА», 2017. – С. 31-34.
6. Кривой М.А. Исследование явления срратификации вязкости моторного масла в узлах трения судовых дизелей / Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018): матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції – Херсон: ХДМА, 2018.- С. 321-324.

7. Кривой М. А. Обеспечение режимов смазывания подшипниковых узлов судовых малооборотных дизелей при режимах пуска и реверса / Суднова енергетика: стан та проблеми : матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2017. – С. 74-78.

8. Сагін С. В., Кривий М. О. Забезпечення машиння суднових дизелів під час граничних режимів тертя. / Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018): матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції – Херсон: ХДМА, 2021.- С. 221-224.

9. Сагін С. В., Кривий М. О. Вплив властивостей мастил на розподіл тиску в парах ковзання в суднових енергетичних установках. / Матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології засобів транспорту», Харків-Миргород, 2021, с. 89-90.

УДК 629.5.064.5-83

МОДЕЛЬ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА У СКЛАДІ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

О. Я. Карпович, к.т.н., доцент,

Одеська національна академія харчових технологій

Г. В. Налєва, к.т.н., доцент,

О. А. Онищенко, д.т.н., професор,

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. Представлена спрощена методика структурно-параметричної ідентифікації параметрів вентильно-індукторного електродвигуна, призначеного для використання у поршневих компресорах холодильних установок різного цільового призначення. Запропоновано аналітичний опис контуру струму керованих електроприводів таких електродвигунів, заснований на методі віртуальних приростів зміни потокозчеплення у часі. Наведена узагальнена структурна схема двигуна, яка є основою для налаштування всіх регульованих координат електроприводу компресора.

Ключові слова: вентильно-індукторний двигун, електропривод, компресор, холодильна установка, математичне моделювання, система підпорядкованого управління.

MODEL OF A SWITCHED RELUCTANCE ELECTRIC MOTOR AS A PART A RECIPROCATING COMPRESSOR OF THE REFRIGERATION UNIT

O. Y. Karpovich, Ph.D., Docent

Odessa National Academy of Food Technologies

G. V. Naleva, Ph.D., Docent

O. A. Onishchenko, Dr.Tech.Sc., Professor

National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. A simplified method of structural-parametric identification of the parameters of a switched reluctance electric motor intended for use in reciprocating compressors of refrigeration units for various purposes is presented. An analytical description of the current circuit of controlled electric drives of such electric motors is proposed, based on the method of virtual increments of flux linkage in time. The generalized block diagram of the engine which is a basis for adjustment of all adjustable coordinates of the electric drive of the compressor is resulted.

Keywords: switched reluctance motor, electric drive, compressor, refrigeration unit, mathematical modeling, subordinate control system.

Вентильно-індукторний електропривод (ВІП) – сучасний тип електромеханічного перетворювача, що потребує розробки нових та вдосконалення існую-

чих способів проектування, управління, ідентифікації параметрів. Контур регулювання струму ВІП визначає швидкодію, рівень пульсацій моменту та інші суттєві характеристики приводу.

Особливістю функціонування поршневих холодильних компресорів є різке змінення (залежно від кута повороту валу двигуна) статичного навантаження. Відомі конструктивні рішення щодо створення холодильних компресорів на основі ВІП. При цьому налаштування контуру струму ВІП компресора – неоднозначна задача [1-3], оскільки фаза ВІД складно піддається структурній та параметричній ідентифікації, аналітичному опису [1, 3, 4]. Також ускладнюють налаштування контуру струму особливості технічної реалізації формувача сигналу включення силових ключів (петлі гістерезису, широтно-імпульсна модуляція (ШІМ), затримки на включення/відключення, закон обробки сигналу помилки за струмом та ін.). Тому на етапах попереднього проектування ВІП дуже важливо мати можливості для оцінки (ідентифікації) властивостей контуру струму, моделювання процесів та подальшого налаштування. Таким чином, для вирішення названих задач необхідно розробити такий метод опису вентильно-індукторного електродвигуна (ВІД), щоб він виявився зручним для аналітичних досліджень і дозволяв здійснювати фізичну реалізацію регулятора струму ВІП, який входить до складу компресора холодильної установки.

Для подальшого аналізу розглянемо режим симетричної одиночної комутації фаз ВІД [1-4]. Для такого режиму у будь-який момент часу від джерела живлення постійного струму підводиться напруга тільки до однієї фази двигуна. За законом Фарадея, представленому в найбільш загальній формі запису, та згідно з другим законом Кірхгофа, для працюючої фази ВІД із внутрішнім опором R у будь-який момент часу справедливий вираз:

$$u(\tau) = i(\tau) \cdot R + \frac{d\psi}{d\tau}, \quad (1)$$

де ψ , $i(\tau)$ та $u(\tau)$ – миттєві значення сумарного потокозчеплення, струму через фазу та напруги на фазі ВІД. Виходячи з конструкції ВІД [1-3] та просторового розташування ротора на різних ділянках перемикання фаз, відзначимо, що миттєве значення сумарного потокозчеплення ψ фази ВІД залежить від миттєвого значення струму $i(\tau)$ через працючу фазу двигуна та від кутового положення $\Theta(\tau)$ ротора – розташування зубців ротора щодо зубців статора у даний момент часу.

Отже, для працюючої фази ВІД сумарне потокозчеплення є нелінійною функцією двох змінних – струму та кутового положення ротора: $\psi = \psi[i(\tau), \Theta(\tau)]$. Тоді рівняння (1) представляється у вигляді залежності

$$u(\tau) = i(\tau) \cdot R + \frac{d\psi[i(\tau), \Theta(\tau)]}{d\tau},$$

де $d\psi[i(\tau), \Theta(\tau)] / d\tau$ – похідна потокозчеплення за часом, розкриваючи яку, отримуємо:

$$u(\tau) = i(\tau) \cdot R + \frac{\partial \psi[i(\tau), \Theta(\tau)]}{\partial i(\tau)} \cdot \frac{di(\tau)}{d\tau} + \frac{\partial \psi[i(\tau), \Theta(\tau)]}{\partial \Theta(\tau)} \cdot \frac{d\Theta(\tau)}{d\tau}. \quad (2)$$

Позначимо $\psi[i(\tau), \Theta(\tau)] = i(\tau) \cdot L[i(\tau), \Theta(\tau)]$, де $L[i(\tau), \Theta(\tau)]$ – диференціальна індуктивність. Зрозуміло, що введення у розгляд індуктивності, як елемента схеми заміщення реального ланцюга фази ВІД, дає можливість враховувати явища самоіндукції та накопичення енергії у магнітному полі обмотки двигуна. З цією метою залежності потокозчеплення $\psi[i(\tau), \Theta(\tau)]$ від положення ротору та струму подають залежностями індуктивності $L[i(\tau), \Theta(\tau)]$ від положення ротору та струму. Зазвичай, на етапах попереднього синтезу систем управління ВІД, ці залежності ($\psi[i(\tau), \Theta(\tau)]$ та $L[i(\tau), \Theta(\tau)]$) апроксимуються.

Для виведення рівняння електричної рівноваги для фази ВІД розкриємо вираз (2), припускаючи, що переміщення ротора та індуктивність фази на нескінченно малих приростах незмінні. Тоді другий та третій доданки в (2) набудуть вигляду:

$$\begin{aligned} \frac{\partial\{i(\tau) \cdot L[i(\tau), \Theta(\tau)]\}}{\partial i(\tau)} \cdot \frac{di(\tau)}{d\tau} &= L[i(\tau), \Theta(\tau)] \cdot \frac{di(\tau)}{d\tau}, \\ \frac{\partial\{i(\tau) \cdot L[i(\tau), \Theta(\tau)]\}}{\partial \Theta(\tau)} \cdot \frac{d\Theta(\tau)}{d\tau} &= i(\tau) \cdot \frac{\partial L[i(\tau), \Theta(\tau)]}{\partial \Theta(\tau)} \cdot \frac{d\Theta(\tau)}{d\tau}. \end{aligned}$$

Враховуючи, що $d\Theta(\tau)/d\tau = \omega(\tau)$ – швидкість ротору, перепишемо загальну форму запису виразу (1) у вигляді рівняння електричної рівноваги для працюючої фази ВІД:

$$u(\tau) = i(\tau) \cdot R + L[i(\tau), \Theta(\tau)] \cdot \frac{di(\tau)}{d\tau} + \frac{\partial L[i(\tau), \Theta(\tau)]}{\partial \Theta(\tau)} \cdot i(\tau) \cdot \omega(\tau). \quad (3)$$

Застосуємо математичне перетворення, засноване на методі віртуальних приростів зміни потокозчеплення у часі [1]. Тоді миттєві значення приростів напруги на фазі, струму фази та швидкості ротора будуть визначатися виразом:

$$\begin{aligned} u(\tau) + \Delta u(\tau) &= [i(\tau) + \Delta i(\tau)] \cdot R + L\{[i(\tau) + \Delta i(\tau)], \Theta(\tau)\} \cdot \frac{d[i(\tau) + \Delta i(\tau)]}{d\tau} + \\ &+ \frac{\partial\{L[i(\tau) + \Delta i(\tau), \Theta(\tau)]\}}{\partial \Theta(\tau)} \cdot [i(\tau) + \Delta i(\tau)] \cdot [\omega(\tau) + \Delta \omega(\tau)]. \end{aligned}$$

Оскільки прийнято, що на нескінченно малих приростах переміщення ротора та індуктивність фази не залежатимуть від часу та струму, то:

$$u(\tau) + \Delta u(\tau) = [i(\tau) + \Delta i(\tau)]R + L \frac{d[i(\tau) + \Delta i(\tau)]}{d\tau} + \frac{\partial L}{\partial \Theta}[i(\tau) + \Delta i(\tau)][\omega(\tau) + \Delta \omega(\tau)]. \quad (4)$$

З урахуванням сказаного, аналогічно (4) переписуємо і рівняння (3):

$$u(\tau) = i(\tau)R + L \frac{di(\tau)}{d\tau} + \frac{\partial L}{\partial \Theta} i(\tau) \omega(\tau). \quad (5)$$

Визначимо миттєві значення приростів змінних для деякого усталеного режиму роботи фази ВІД. Нехай дія нескінченно малих збурень призводить до приростів змінних поблизу точок, де значення цих змінних (напруги, струму і швидкості), наприклад, номінальні. З цією метою віднімемо з рівняння (4) рівняння (5):

$$\Delta u(\tau) = \Delta i(\tau)R + L \frac{d\Delta i(\tau)}{d\tau} + \frac{\partial L}{\partial \Theta} [\omega(\tau)\Delta i(\tau) + \Delta \omega(\tau)i(\tau) + \Delta \omega(\tau)\Delta i(\tau)]. \quad (6)$$

Знехтуємо в (6) приростами другого порядку малими ($\Delta \omega(\tau)\Delta i(\tau) \approx 0$) і оскільки для цього методу $\partial L / \partial \Theta = c = const$, то можна переписати останнє рівняння в операторній формі ($d / d\tau \Rightarrow s$):

$$\Delta u(s) = \Delta i(s)R + Ls\Delta i(s) + c\omega(s)\Delta i(s) + c\Delta \omega(s)i(s),$$

звідки після перетворень отримаємо:

$$\Delta u(s) = \Delta i(s)[R + Ls + c\omega(s)] + ci(s)\Delta \omega(s). \quad (7)$$

Позначимо $R_\Sigma(s) = R + c\omega(s)$ та $C(s) = ci(s)$. Оскільки середні значення струму і швидкості незмінні, можна (7) представити у вигляді:

$$\Delta u(s) = \Delta i(s)[R_\Sigma + Ls] + C(s)\Delta \omega(s). \quad (8)$$

Тепер передавальна функція щодо вихідної змінної (приросту струму фази) може бути записана у вигляді:

$$W_\Theta(s) = \frac{\Delta i(s)}{\Delta u(s) - C(s)\Delta \omega(s)} = \frac{1 / R_\Sigma}{1 + sT_\Theta}, \quad (9)$$

де $T_\Theta = L / R_\Sigma$ – сумарна електромагнітна постійна часу фази ВІД.

Отже, застосування методу нескінченно малих приростів до рівняння (1) з урахуванням прийнятих припущень дозволяє подати електричну ділянку ланцюга фази ВІД у формі, наблизеної до класичного подання для електродвигуна постійного струму з незалежним збудженням. Повна структурна схема ВІД, побудована на основі описаного методу віртуальних приrostів, наведена на рис. 1. Аналіз отриманої структурної схеми показує, що є можливість налаштування контуру струму фаз ВІД на основі широко відомих методів підпорядкованого регулювання координат.

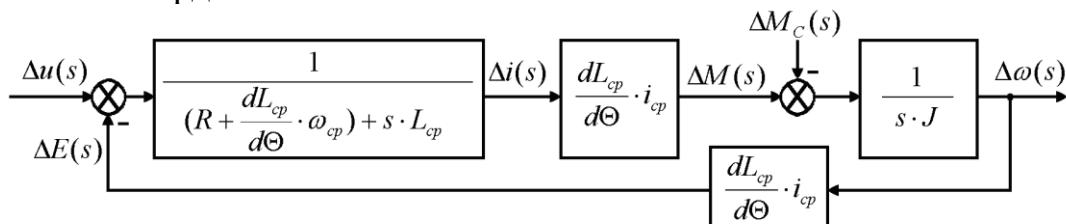


Рисунок 1 – Структурна схема ВІД, побудована на основі методу віртуальних приrostів

При цьому необхідно врахувати, що фіксоване налаштування параметрів ПІ або ПІД-регулятора контуру струму не зможе забезпечити однакову якість переходних процесів на різних ділянках повороту валу ВІД, оскільки електромагнітна постійна часу двигуна є змінною функцією [4-6].

Висновки. Наведено методику структурної ідентифікації ВІД, що дозволяє проводити різні дослідження методами математичного моделювання замкнених електромеханічних систем різного призначення. Здійснювати подальше налаштування контуру струму фази ВІД необхідно з урахуванням технічної реалізації формувача сигналу включення силових ключів. При налаштуванні замкненого

контуру стабілізації швидкості ВІП компресора холодильної установки необхідно врахувати спільну дію пульсацій моменту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Krishnan R. Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design, and Applications. Copyright Year 2001. Published June 28, 2001 by CRC Press, 432 p. ISBN 9780849308383.
2. Василець Д. І., Налева Г. В., Онищенко О. А. Особливості функціонування та розробка алгоритму моделювання вентильно-індукторних електроприводів суднових механізмів та систем / Матеріали Х Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 157-160. DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245.
3. Карпович О. Я., Онищенко О. А. Система управління вентильно-індукторним електродвигателем микрокомпресора. Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – № 03(79). – С. 204-206.
4. Карпович О. Я., Налева Г. В., Онищенко О. А. Аналіз схем електроприводів вентильно-індукторних двигунів з метою їх моделювання у середовищі Matlab // Sciences of Europe (Praha, Czech Republic), 2021. – № 75, vol. 1, p. 42-49. DOI: 10.24412/3162-2364-2021-75-1-42-49.
5. Карпович О. Я., Марченко А. А., Онищенко О. А. Оценка влияния управляющих воздействий на механические характеристики вентильно-індукторного электропривода // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. № 28. – С. 16-23.
<http://www.kamchatgtu.ru/ndeyat/vestnik/nizdan/default.aspx>
6. Карпович О. Я., Онищенко О. А. Вентильно-індукторный электропривод с адаптивной системой управления для компрессоров малых холодильных установок // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012. – № 3(19). – С. 150-152.

УДК 539.3

SIMULATION OF THE DYNAMIC STRESS STATE OF A FINITE CYLINDER WITH A CIRCULAR CRACK

O. Demydov, Assistant

V. Popov, Dr. of Science, Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The axisymmetric dynamic problem of determining the stress state in the region of a circular crack in a finite cylinder is solved. The loading source is the rigid circular plate, which is coupled with one of the cylinder ends and loaded by the time-dependent torsional moment. The paper proposes a method that consists in the difference approximation of only the derivative with respect to time. As a result, the original problem is reduced to a sequence of homogeneous boundary value problems. Their solution contains an unknown displacement jump on the crack. The integral equation for the unknown jump is reduced to the Fredholm integral equation of the second kind. The found numerical solution of this equation allowed the approximate formula for the SIF calculation.

Key-words: stress intensity factor (SIF), an axisymmetric dynamic problem, finite differences, finite cylinder, a circular crack, torsional moment

МОДЕлювання динамічного напруженоого стану скінченного циліндра з круговою тріщиною

О. В. Демидов, асистент

В. Г. Попов, д-р фіз.-мат. наук, професор

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Розв'язано віссиметричну динамічну задачу визначення напруженоого стану в околі кругової тріщини в скінченому циліндрі. Джерелом навантаження є жорстка кругла пластина, яка з'єднана з одним з кінців циліндра і навантажена крутільним моментом, що залежить від часу. У

роботі запропоновано метод, який полягає у різницевій апроксимації лише похідної за часом. В результаті вихідна задача зводиться до послідовності однорідних крайових задач. Їх розв'язок містить невідомий стрибок переміщення на тріщині. Інтегральне рівняння відносно невідомого стрибка зводиться до інтегрального рівняння Фредгольма другого роду. Знайдений числовий розв'язок цього рівняння дозволив отримати наближену формулу для розрахунку КІФ.

Ключові слова: коефіцієнт інтенсивності напруженень (КІН), віссесиметрична динамічна задача, скінченні різниці за часом, скінченний циліндр, кругова тріщина, крутний момент.

1. Introduction. A large number of machine elements and structures are cylindrical. The stress state of finite and infinite cylindrical bodies under static loading has been studied sufficiently enough, but works with the analysis of the stress state under dynamic loading conditions is much smaller.

In this paper, we used a modified method of finite difference in time [1]. With the help of this method, this paper solves the problem of determining SIF in the vicinity of the circular crack in a finite cylinder under torsional loading.

2. Problems formulations.

An isotropic finite elastic cylinder with height a and radius r_0 is considered. The cylinder is related to the cylindrical system of coordinates, whose center coincides with the center of the lower base, and the Oz axis with the cylinder axis.

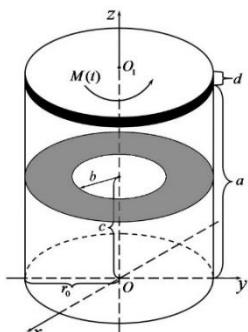


Figure 1. Cylinder with circular crack.

The top end of the cylinder is joined with a rigid plate with thickness d and radius r_0 . The plate suffers the action of a torsional moment $M(t)$. The bottom end of the cylinder $z=0$ is coupled with a rigid base. At a height of $z=c$, $0 < c < a$, in parallel with the cylinder ends, there is a circular crack of radius $b < r_0$, whose center is on the axis (figure 1). Both the cylinder side surface and crack surface are considered to be free of stresses. Under these conditions, the cylinder is in a state of axisymmetric torsional deformation and only the angular displacement $\bar{w}(r, z, t)$

will be different from 0. This displacement is satisfied the equation:

$$D_{\eta\zeta} w = \frac{\partial^2 w}{\partial \tau^2}, \quad D_{\eta\zeta} = \frac{\partial^2}{\partial \eta^2} + \frac{1}{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} - \frac{1}{\eta^2} + \frac{1}{\gamma^2} \frac{\partial^2}{\partial \zeta^2} \quad (1)$$

Equation (1) is considered as having zero initial conditions and the following boundary conditions on the lateral surface and the ends of the cylinder:

$$\tau_{\varphi\eta}(1, \zeta, \tau) = 0, \quad 0 \leq \zeta \leq 1, \quad w(\eta, 0, \tau) = 0, \quad w(\eta, 1, \tau) = \eta \alpha(\tau), \quad 0 \leq \eta \leq 1, \quad \tau \in [0, +\infty). \quad (2)$$

where $\alpha(\tau)$ - the unknown angle of rotation of the plate, determined from the equation of its motion

For the conditions on the crack we have

$$\tau_{\varphi\zeta}(\eta, l, \tau) = 0, \quad 0 \leq \eta \leq \beta, \quad w(\eta, l+0, \tau) - w(\eta, l-0, \tau) = \chi(\eta, \tau), \quad 0 \leq \eta \leq \beta, \quad \tau \in [0, +\infty), \quad (3)$$

where $\chi(\eta, \tau)$ is an unknown dimensionless jump of displacements in the plane of the crack, and $\chi(\eta, \tau) = 0$, $\eta \geq \beta$.

To solve the formulated initial-boundary problems (1)-(3) we apply a method based on the difference approximation of time derivatives, detailed in [1]. This method allowed us to reduce the problem to a set of sequentially solvable boundary value problems for the homogeneous Helmholtz equation:

$$D_{\eta\zeta}U_\nu - \varkappa_\nu^2 U_\nu = 0, \quad \nu = 1, 2, 3, \dots, \quad \varkappa_\nu = h_\nu^{-1}. \quad (4)$$

The boundary conditions on the lateral surfaces and at the ends of the cylinder can be written as follows:

$$\tau_{\varphi\eta\nu}(1, \zeta) = 0, \quad 0 < \zeta < 1, \quad U_\nu(\eta, 0) = 0, \quad U_\nu(\eta, 1) = \eta A_\nu, \quad 0 < \eta < 1. \quad (5)$$

And the boundary conditions for the crack will take the form:

$$\tau_{\varphi\zeta\nu}(\eta, l) = 0, \quad 0 \leq \eta \leq \beta, \quad \langle U_\nu \rangle = \chi_\nu(\eta), \quad \chi_\nu(\eta) \equiv 0, \quad \eta \geq \beta, \quad \chi_k = \sum_{\nu=1}^k C_{k\nu} \chi_\nu. \quad (6)$$

3. Solution to the problem.

We represent the solution to the boundary-value problem (4) - (6) as the sum:

$$U_\nu(\eta, \zeta) = U_\nu^0(\eta, \zeta) + U_\nu^*(\eta, \zeta).$$

The first term is the solution to the problem in the absence of crack and it is given by the formula:

$$U_\nu^0(\eta, \zeta) = A_\nu \eta \frac{\sinh(\gamma \varkappa_\nu \zeta)}{\sinh(\gamma \varkappa_\nu)}.$$

The second term is the solution that satisfies the zero conditions on the ends and lateral surface of the cylinder. The condition on the crack has the form (6), and equality should be satisfied:

$$\tau_{\varphi\zeta\nu}^*(\eta, l) = -\tau_{\varphi\zeta\nu}^0(\eta, l), \quad 0 < \eta < \beta. \quad (7)$$

The solution to this boundary value problem is constructed by the integral transform method, analogous to papers [2]. This solution contains the unknown function $\chi_\nu(\xi)$. To determine it, we use the condition on the crack (7) and obtain the integral equation, which, after integration by parts, will take the form:

$$\int_0^\beta \xi \psi_\nu(\xi) [F_1(\xi, \eta) + D_1(\xi, \eta)] d\xi = A_\nu \eta \gamma \varkappa_\nu \frac{\cosh(\gamma \varkappa_\nu l)}{\sinh(\gamma \varkappa_\nu)}, \quad (8)$$

where $\psi_\nu(\xi) = \frac{1}{\xi} \frac{d}{d\xi} [\xi \chi(\xi)], \quad F_1(\xi, \eta) = \left. \frac{\partial S(\xi, \eta, \zeta)}{\partial \zeta} \right|_{\zeta=l}, \quad D_1(\xi, \eta) = \left. \frac{\partial D(\xi, \eta, \zeta)}{\partial \zeta} \right|_{\zeta=l}.$

To solve this equation, we reduce it to the Fredholm equation of the second kind according to the known method [2].

To do this, we introduce the new unknown function

$$\psi_\nu(\xi) = -\frac{2}{\pi} \frac{1}{\xi} \frac{d}{d\xi} \int_\xi^\beta \frac{\tau \cdot \varphi_\nu(\tau)}{\sqrt{\tau^2 - \xi^2}} d\tau.$$

And then we apply the operator

$$D_2[f] = \frac{d}{dx} \int_0^x \frac{y dy}{\sqrt{x^2 - y^2}} \int_0^y f(\eta) d\eta.$$

Due to these transformations, the introduction of designations

$$\lambda = u \varkappa_\nu, \quad \sqrt{u^2 + 1} = p, \quad \tau = \beta y, \quad \varphi_\nu(\tau) = \varphi_\nu(\beta y) = \beta g_\nu(y), \quad y \in [0, 1], \quad x = \beta s, \quad s \in [0, 1]$$

and even extension of the function $g_\nu(y)$ on the interval $[-1,1]$, equation (8) is reduced to the Fredholm integral equation of the second kind:

$$g_\nu(s) - \frac{2\beta}{\pi\nu} \int_{-1}^1 g_\nu(y) [B(y,s) + Q(y) - Q(y-s)] dy - g_\nu(0) = -\frac{2\beta\nu A_\nu}{\operatorname{sh}(\nu)} s^2, \quad (9)$$

where $B(Y)$ and $Q(Y)$ are represented as uniformly convergent series and proper integrals.

An approximate solution to equation (9), as in [2], is sought in the form of an interpolation polynomial.

We approximate its integrals according to the quadrature Gauss-Legendre formula and obtain a system of linear algebraic equations with respect to the values of the unknown function in the interpolation nodes. After solving the system, the unknown function is approximated by the interpolation polynomial.

$$g_\nu(y) \approx g_\nu^n(y) = \sum_{m=1}^n g_{vm} \frac{P_n(y)}{(y - y_m) P'_n(y_m)}, \quad g_{vm} = g_\nu(y_m), \quad m=1, 2, 3, \dots, n,$$

where $P_n(y)$ is the n-th Legendre polynomial, and y_m is the polynomial root.

4. Results of numerical analysis.

For the criteria of destruction, an important role is played by SIF. The dimensionless SIF value can be obtained from the formulas:

$$K(\tau_k) = \frac{\tilde{K}(t_k)}{G\sqrt{b}}, \quad K(\tau_k) = \sum_{v=1}^k C_{kv} K_v, \quad K_v = -\frac{\sqrt{\beta}}{\sqrt{2}\pi\nu} g_\nu(1). \quad (10)$$

By formula (10), there was performed a numerical study of the dependence of SIF on the dimensionless time $\tau = c_2 t / r_0$. The time grid nodes were condensed near the point $\tau=0$. During these calculations, it was considered that dimensionless thickness of the plate is $\delta=d/a=0.1$, the dimensionless radius of the circular crack is $\beta=b/r_0=0.5$.

The influence of the type of load and the mass of the plate on the time dependence of the SIF was studied. The results of the calculations are shown in figure 2 in the form of graphs of time dependencies of dimensionless SIFs. During these calculations, it was considered that dimensionless cylinder height is $\gamma=a/r_0=2$. The charts have been constructed for the cases of the action of a suddenly applied torsional load (figure 2a), and the torsional load by a suddenly applied moment of the unit length (figure 2b). Curves 1-3 correspond to different values of the relative plate density: $\rho = \rho_{\text{plate}}/\rho_{\text{cyl}} : 0.25; 1; 4$.

From the graphs in figure 2 it can be seen that in all considered types of loading, during the transient process, the maximum SIF values are observed. This maximum is 2–2.5 times higher than the static value of SIF. Hence, it is most likely that the destruction of the cylinder will occur during the transient period.

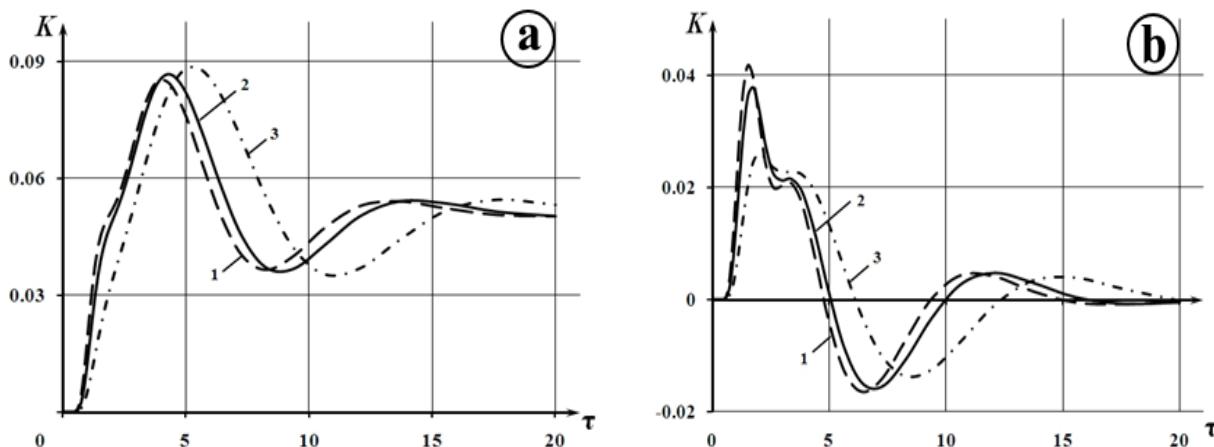


Figure 2. Time dependence of dimensionless SIF for different types of load:

a) $M_0(\tau) = H(\tau)$; b) $M_0(\tau) = H(\tau) - H(\tau - 1)$.

Conclusion.

The article proposes a method for solving the problem of determining the stress-strain state of an elastic finite cylindrical body with an internal circular crack that is under torsional loading. This technique is based on the differential approximation of the time derivative and use of a time grid with specially selected nodes. Numerical results demonstrate the effectiveness of such an approach when investigating the transient processes that occur immediately after load application.

REFERENCES

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. Popov V G 2012 Stress state of a finite elastic cylinder with a circular crack at torsional oscillations *International Applied Mechanics* **48** (4) 86–93.

УДК 539.3

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ОКОЛІ ДЕФЕКТА У ВИГЛЯДІ Н-ЛАНКОВОГО ВКЛЮЧЕННЯ В УМОВАХ ВІБРАЦІЇ

В. Г. Попов, д.ф.-м.н., професор

О.В. Литвин, к.ф.-м.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Розв'язана задача визначення напруженого стану в околі тунельного жорсткого включення, що в перерізі представляє ламану. На включення, що знаходиться в необмеженому пружному просторі, діє гармонічна зсувна сила. Задача зведена до розв'язання системи сингулярних інтегральних рівнянь з нерухомими особливостями. Для наближеного розв'язання вказаної системи застосований числовий метод, який враховує справжню асимптотику невідомих функцій і використовує спеціальні квадратурні формули для сингулярних інтегралів.

Ключові слова: жорстке включення, зсувна сила, сингулярні інтегральні рівняння, нерухомі особливості.

THE SIMULATION AND RESEARCH OF INFLUENCE ON A STRESS STATE IN THE CONDITIONS OF VIBRATION OF THE LINEAR SIZES OF LINKS OF THREE-LINK INCLUSION

V. Popov, Dr. of Science, Professor

O. Lytvyn, Ph.D., Docent

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The problem about the determination of stress state in the vicinity of the tunnel rigid inclusion of the shape of N segments broken line. The harmonic shear force impacts on inclusion in the unlimited elastic medium. The problem is reduced to solving a system of singular integral equations with fixed singularities. For the approximate solution of this system a numerical method is applied. It takes into account the true asymptotics of unknown functions and uses special quadrature formulas for singular integrals.

Key-words: rigid inclusion, harmonic shear force, singular integral equations, fixed singularities.

Постановка задачі. У необмеженому пружному середовищі, що знаходиться в умовах антиплоскої деформації, міститься тонке абсолютно-жорстке включення, яке в перерізі площею Oxy має вигляд ламаної з трьох ланок. На включення діє гармонічна зсувна вздовж осі Oz сила $Re^{-i\omega t}$. За умов антиплоскої деформації єдина відмінна від 0 z -компоненту вектора переміщень розсіяного хвильового поля $W(x; y)$ в системі координат Oxy задовільняє рівняння Гельмгольца.

Для формулювання граничних умов на включення з кожною його ланкою пов'язується локальна система координат $O_l x_l y_l$. За умов повного зчеплення на кожній ланці виконуються умови

$$W_l^1(x_l, 0) = c, \quad (1)$$

$$\tau_{zy_l}(x_l, +0) - \tau_{zy_l}(x_l, -0) = \chi_l(x_l), \quad -d_l < x_l < d_l, \quad l = 1; 2; 3, \quad (2)$$

де $\chi_l(x_l)$ – невідомий стрибок дотичних напружень на l -їй ланці, $2d_l$ – довжина l -ї ланки.

В рівність (1) входить c – невідоме переміщення включення під дією зсувної сили. Воно визначається з рівняння руху включення, яке у випадку гармонічних коливань має вигляд

$$-\omega^2 c \sum_{l=1}^3 m_l = P + \sum_{l=1}^3 \int_{-d_l}^{d_l} \chi_l(\eta) d\eta, \quad (3)$$

m_l – маса відповідної ланки включення.

Розв'язання задачі. Метод розв'язання полягає у поданні переміщень в тілі у вигляді суми розривних розв'язків рівняння Гельмгольца з стрибками (2), побудованими на кожній ланці включення. Відносно невідомих стрибків після реалізації умов (1) отримана система інтегральних рівнянь

$$\int_{-1}^1 \left(-\frac{E}{\tau - \zeta} + Q(\tau, \zeta) + R(\tau, \zeta) \right) \Phi(\tau) d\tau = 0, \quad -1 < \zeta < 1,$$

$$\int_{-1}^1 (U \ln |\tau - 1| + D(\tau)) \Phi(\tau) d\tau = c_0, \quad (4)$$

В системі (4)

$$\Phi(\tau) = \begin{pmatrix} \varphi_1(\tau) \\ \varphi_2(\tau) \\ \varphi_3(\tau) \end{pmatrix}, \quad \varphi_l(\tau) = \frac{\chi_l(d_l \tau)}{G}, \quad R(\tau, \zeta) = \{R_{lk}(\tau, \zeta)\}, \quad D(\tau) = \{D_{lk}(\tau)\},$$

$$\eta = d_l \tau, \quad x_l = d_l \zeta, \quad \gamma_l = \frac{d_l}{d}, \quad \varepsilon_l = \frac{a_l}{d}, \quad \delta_l = \frac{b_l}{d}, \quad d = \max(d_1; d_2; d_3),$$

E – одинична матриця розміру 3×3 , U – діагональна матриця розміру 3×3 з елементами $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ на головній діагоналі. Матриці $R(\tau, \zeta)$ та $D(\tau)$ складаються з функцій, які визначають регулярні інтеграли. Матриця $Q(\tau, \zeta)$ має вигляд

$$Q(\tau, \zeta) = \begin{pmatrix} 0 & q_{12} & o \\ q_{21} & 0 & q_{23} \\ 0 & q_{32} & 0 \end{pmatrix},$$

$$q_{ll \mp 1}(\tau, \zeta) = \frac{\gamma_{l \mp 1}(\gamma_l(\zeta \pm 1) - \gamma_{l \mp 1}(\tau \mp 1) \cos \beta_{ll \mp 1})}{s_{ll \mp 1}(\tau, \zeta)},$$

$$s_{ll \mp 1} = \gamma_{l \mp 1}^2 (\tau \mp 1)^2 - 2\gamma_l \gamma_{l \mp 1} (\tau \mp 1) (\zeta \pm 1) \cos \beta_{ll \mp 1} + \gamma_l^2 (\zeta \pm 1)^2. \quad (5)$$

Формули (5) показують, що функції $q_{ll \mp 1}(\tau, \zeta)$ мають особливості при $\tau = \pm 1, \zeta = \mp 1$.

До системи (4) необхідно додати рівність (3) для визначення невідомої амплітуди

$$c_0 = -\frac{1}{2l_0} \left(P_0 + \sum_{l=1}^3 \gamma_l \int_{-1}^1 \varphi_l(\tau) d\tau \right), \quad (6)$$

$$l_0 = \bar{\rho} \varepsilon \kappa_0^2 \sum_{l=1}^3 \gamma_l, \quad c_0 = \frac{c}{d}, \quad P_0 = \frac{P}{Gd}, \quad \bar{\rho} = \frac{\rho_1}{\rho}, \quad \varepsilon = \frac{h}{d},$$

де ρ_1, h – густина та товщина матеріалу включення.

Тому одним з основних результатів є числовий метод розв'язання отриманої системи. Відповідно до запропонованого методу невідомі функції подаються у вигляді

$$\varphi_1(\tau) = (1 + \tau)^{-1/2} (1 + \tau)^{-\delta_1} \psi_1(\tau), \quad \varphi_2(\tau) = (1 + \tau)^{-\delta_1} (1 + \tau)^{-\delta_2} \psi_2(\tau),$$

де степеневі показники визначаються рівностями

$$\delta_k = \begin{cases} \frac{\pi - \alpha_{kl}}{2\pi - \alpha_{kl}}, & 0 < \alpha_{kl} \leq \frac{\pi}{2} \\ \frac{\alpha_{kl} - \pi}{2\alpha_{kl}}, & \frac{\pi}{2} < \alpha_{kl} < \pi \end{cases}, \quad \alpha_{kl} = |\alpha_l - \alpha_k|, \quad k = 1; 2, \quad l = 2; 3.$$

Далі здійснюється апроксимація функцій, яка ґрунтується на використанні спеціальних інтерполяційних многочленів. Це дає можливість отримати спеціальні формулі для сингулярних інтегралів і застосувати до системи (3) метод колокації.

За характеристику напруженої стану поблизу включення прийнятій узагальнений коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН), який обчислюються за наступними формулами

$$K_1 = G\sqrt{d_1} \frac{\psi_1(-1)}{2^{\delta_1}}, \quad K_2 = G\sqrt{d_3} \frac{\psi_3(1)}{2^{\delta_2}}.$$

Результати числового аналізу та висновки. Для демонстрації запропонованого методу розв'язання задачі розглянуто абсолютно жорстке включення з трьох ланок однакової довжини d (Рис. 1).

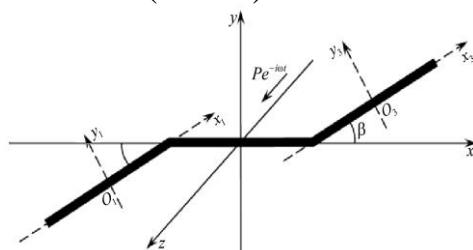


Рисунок 1

З'ясовано вплив на значення КІН і амплітуди коливання включення довжин його ланок, а саме значень $\gamma_1; \gamma_2; \gamma_3$. На рис. 2 (а, б) та 3 наведені графіки відповідно при $1 - \beta = 5^\circ$, $2 - 45^\circ$, $3 - 90^\circ$, $4 - 135^\circ$, $5 - 165^\circ$.

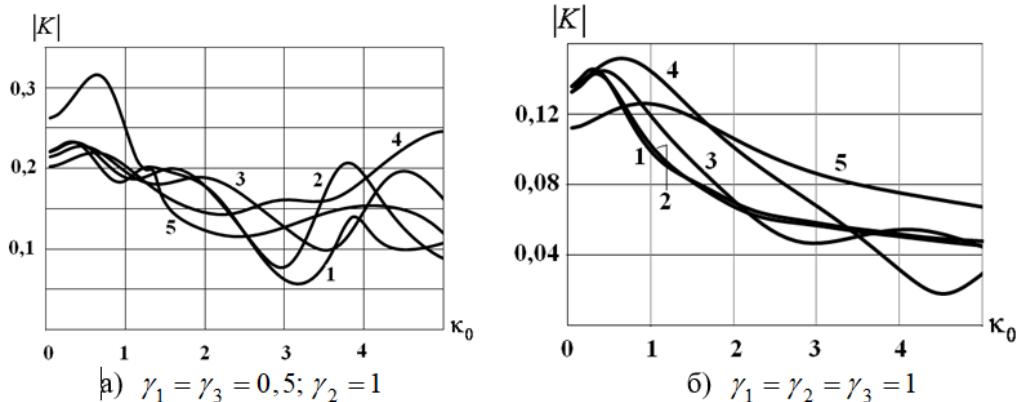


Рисунок 2 – Залежність КІН від безрозмірної частоти

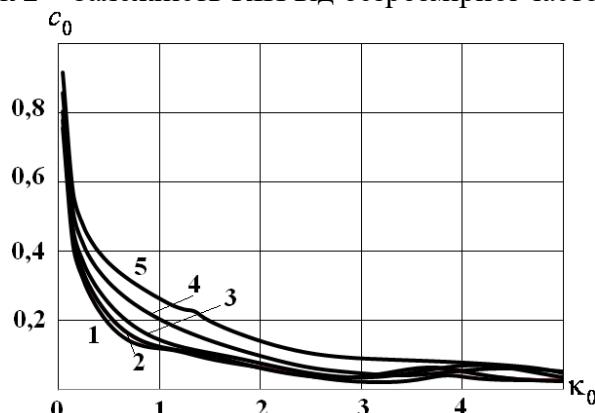


Рисунок 3 – Залежність амплітуди коливання включення від безрозмірної частоти

Як видно значення КІН поступово спадають з ростом κ_0 , досягнувши незначного максимуму за певних частот (Рис. 2). Як видно, лінійні розміри ланок включення впливають не тільки поведінку залежності КІН від безрозмірної частоти, так і на значення КІН. Що стосується амплітуди коливання включення (Рис. 3), то її значення спадають з ростом хвильового числа при всіх значеннях кута між ланками включення.

Висновки. Отримані формули обчислення КІН, значення яких виражені через наближений розв'язок системи інтегральних рівнянь. Досліджено вплив на значення КІН та амплітуду коливання включення лінійних розмірів ланок включення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Литвин О.В., Попов В.Г. Взаємодія гармонічної хвилі поздовжнього зсуву з v-подібним включенням / Львів. Математичні методи та фізико-механічні поля. 2017. -60, №1. –С. 1-11.
2. Литвин О.В., Попов В.Г. Напружений стан у пружному тілі з триланковим жорстким включенням при гармонічному хвильовому навантаженні // Збірник наук. праць «Проблеми обчислювальної механіки та міцності конструкцій» Дніпро: Ліра, 2018. -Вип. 28. С. 183-202.
3. Попов В.Г. Исследование полей напряжений и перемещений при дифракции упругих волн сдвига на тонком жестком отслоившемся включении / Попов В.Г.– Москва: Изв. РАН, Механика твердого тела, 1992. – №3. – С. 139–146.
4. Сулим Г.Т. Основи математичної теорії термопружної рівноваги динамічних твердих тіл з тонким включенням / Сулим Г.Т – Львів – 2007. – 716 с.

УДК 615.322

МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ПРАКТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ

Н.Д. Орлова, к.т.н., доцент
Національний університет "Одеська морська академія"

Анотація: Розглянуто різні підходи до вивчення процесів подрібнення рослинної сировини у вібраційних млинах. Показано, що у відомих математичних моделях Кирпічева-Кіка, Бонда, Ріттінгера, Ходакова Г.С. визначення постійних рівнянь, що входять, може бути визначено теоретично з певними припущеннями. Експериментальна перевірка рівнянь кінетики у галузях дисперсності рослинних матеріалів становить значні труднощі.

Ключові слова: рослинна сировина, вібраційне подрібнення, оптимальні параметри.

ON THE POSSIBILITY OF USING VARIOUS MATHEMATICAL MODELS OF CRUSHING PLANT RAW MATERIALS FOR PRACTICAL CALCULATIONS

N. Orlova, Ph.D., associate professor
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract: Various approaches to the study of the processes of grinding plant raw materials in vibration mills are considered. It is shown that in the well-known mathematical models of Kirpichev-Kick, Bond, Rittinger, Khodakov G.S. determination of constants included in the equation can be determined theoretically with certain assumptions. Experimental verification of the equations of kinetics in the areas of dispersion of plant materials presents significant difficulties.

Key-words: vegetable raw materials, vibration grinding, optimal parameters.

В останні роки розроблено багато нових способів механічної дії на рослинну сировину. Завданням теорії вібраційного подрібнення (екстрагування) є встановлення залежності між дисперсією отриманого продукту, фізико-хімічними та механічними властивостями, витратами енергії та параметрами вібраційних млинів. Процес подрібнення рослинної сировини [1,2] істотно відрізняється від подрібнення різного типу порошків та композиційних матеріалів тим, що в рослинній сировині міститься значно більша кількість складових, що мають різні фізичні та хімічні характеристики. Наприклад, для оболонки зерна потрібно руйнівне зусилля близько 31,6 МПа [2], а для руйнування внутрішніх складових зерна ці зусилля значно менші.

Основними факторами, що впливають на процес екстрагування, є анатомічна (або гістологічне) будова рослинного матеріалу, характер, ступінь, час екстракції та температурний режим, наявність або відсутність поверхнево-активних речовин (ПАР прискорюють процес екстрагування, оскільки присутність ПАР знижує поверхневий натяг на межі поділу фаз).

Розглянемо найбільш відомі закони руйнування частинок та можливість їх застосування при вібраційному подрібненні рослинної сировини.

Як було показано Чарльзом [3,4] закон подрібнення, при енергетичному підході, має вигляд

$$d\varepsilon = \frac{-C''dX}{X^m} ; d\varepsilon = \frac{C'dS}{S^{2-m}}$$

де ε – енергія, що повідомляється одиниці об'єму тіла, що руйнується (частки); X – середній розмір зерен, що руйнуються; S – питома поверхня; S_0 – початкова питома поверхня (питома поверхня матеріалу до його подрібнення); C'', C', m – постійні, що емпірично підбираються.

Якщо $m=1$ маємо $d\varepsilon = \frac{C'dS}{S} \Rightarrow \varepsilon = C' \ln \frac{S}{S_0}$ закон Кирпічева-Кіка;

якщо $m=1.5$ $\varepsilon = \frac{-C''}{\sqrt{X}} ; \varepsilon = 2C' \sqrt{S}$ закон Бонда;

якщо $m=2$ $\varepsilon = \frac{C''}{X} ; \varepsilon = C'S$ закон Ріттінгер.

Закон Кирпічева-Кіка отримують з теорії пружності, згідно з якою енергія U_0 , що витрачається на руйнування обсягу V дорівнює

$$U_0 = \frac{P_0}{2E} V$$

де P_0 – межа міцності; E – модуль Юнга.

Як показано в [4] $C' = \frac{P_0}{2E \ln n}$ де n^3 – кількість частинок, що утворюються в кожному акті руйнування.

У наведених вище законах не береться до уваги те, що диспергування сировини супроводжується пластичною деформацією, на яку витрачається значна частка енергії, що підводиться. Екстрагування рослинної сировини, як правило, супроводжується пластичними деформаціями оброблюваного матеріалу. Крім того, для рослинної сировини немає такого поняття як модуль пружності Юнга. Відомо [1,2,4], що поверхнево-активні речовини (ПАР) мають великий вплив на процес тонкого подрібнення у вібраційному млині, і помели рослинної сировини являють собою подрібнення з добавками ПАР, а в області дисперсності більше $10 \text{ m}^2/\text{g}$ подрібнення в вібраційних млинах супроводжується агрегуванням для рослинної сировини така межа агрегування буде зміщена через присутність ПАР.

У [4] наведено закон подрібнення

$$d\varepsilon = \frac{4.5bP_0}{Ea_2} \frac{dS}{S} + \left(\frac{6b\beta l + a_1\gamma + a_1a_2\sigma}{a_1a_2} \right) dS - \frac{b\beta l^2}{a_1^2a_2} SdS$$

де β – щільність енергії пластичних деформацій, що передують тендітному руйнуванню; γ – поверхнева щільність роботи сил тертя та енергія утворення та руйнування агрегатів; σ – вільна енергія одиниці поверхні; l – товщина шару, в якому відбувається пластична деформація (величина постійна, незалежна від крупності частинок);

b – об'ємний фактор форми; $\bar{X} = \frac{6}{S}$ – середній розмір зруйнованих частинок;

a_1, a_2 – фактор форми поверхні, що не залежать від розмірів руйнованої частки.

У цьому законі перший доданок враховує витрати на об'ємне деформування твердих частинок (закон Кирпічова-Кіка); другий доданок – витрати енергії на непружні деформації, роботу сил тертя та створення нових поверхонь; третій доданок – зміна обсягу області пластичних деформацій у зв'язку зі зміною розміру частинок.

Визначення кожної з постійних рівнянь потребує проведення дослідів з конкретними матеріалами або може бути визначено теоретично з певними припущеннями. Експериментальна перевірка рівнянь кінетики [3,4] у галузях дисперсності рослинних матеріалів становить значні труднощі. У цих рівняннях не враховано вплив ПАР та агрегація частинок, яка має місце при подрібненні рослинної сировини. Крім того, закон подрібнення отриманий при двох істотних обмеженнях, які обмежують його застосування для диспергування дуже малих частинок, По-перше $\bar{X} \geq l$, по-друге, не враховано вплив середовища на механізм тонкого вібраційного подрібнення. При подрібненні (диспергуванні) рослинної сировини розміри частинок варіюються в межах 40-200 μm (борошно вищого гатунку складається з частинок розміром 60-100 μm). Таким чином, використання наведеного вище закону для теоретичних та практичних досліджень вібраційного подрібнення рослинної сировини є скрутним.

У [5] наведено закон подрібнення

$$f_{\infty}(x) = \exp\left(-q\left(x^{d_i} + x^{-d_i}\right)\right)$$

де $f_{\infty}(x)$ – функція розподілу частинок за розмірами; $x = \frac{a}{a_0}$, a – поточний розмір часток; a_0 – максимальний розмір частинок, здатних до утворення конгломератів (визначається експериментально); $q = \frac{\alpha}{\beta}$ α – поверхнева енергія; β – коефіцієнт дифузії; d_i – фронтальна розмірність порового простору конгломератів частинок (визначається експериментально).

У цьому законі, який використовується в основному для теоретичних досліджень подрібнення металів, скрутним є практичне визначення коефіцієнтів.

Висновки. Найбільш практично прийнятним законом подрібнення (зміни $\bar{X}(t)$ середнього розміру частинок або зміни питомої поверхні $S(t)$) для рослинної сировини є модель, заснована на випадкових Марківських процесах [6,7,8]

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}[\bar{X}(t)] &= \frac{1}{3}[\lambda(1 - \beta t) + \mu]\bar{X}(t) \\ \frac{dS}{dt} &= \frac{1}{3}(\lambda(1 - \beta \cdot t) + \mu)S(t)\end{aligned}$$

де $\bar{X}(t)$ – середній діаметр, подрібнюваної частинки; λ – коефіцієнт інтенсивності подрібнення; β – коефіцієнт, який визначається частиною частинок, що знаходяться в зоні подрібнення, μ – коефіцієнт агрегування частинок.

Параметри цієї математичної моделі [6,7,8] залежать від режиму роботи вібраційного млина та фізико-хімічних властивостей подрібнюваної рослинної сировини і що найголовніше визначаються експериментальним шляхом [7,8]. Значення невідомих параметрів α, β, μ можуть бути знайдені за експериментальними даними залежності питомої поверхні від часу, (метод Нелдера-Міда) для аналізованих диференціальних рівнянь.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ошкордін О.В. Кінетика та динаміка подрібнення рослинної сировини для виробництва харчових продуктів / О.В. Ошкордін, Л.Ю. Лаврова, Г.А. Усов// Повзунівський Вісник.-Ізд.: Алтайський державний технічний університет ім. І.І. Повзунова (Барнаул). –2011. –№2/2. –С. 202-206. ISSN: 2072-8921.
2. Л.В.Кисла. Теоретичні основи диспергування зерна різних диспергаторах. Матеріали конференції Теорія та практика процесів подрібнення та поділу. Частина1., Одеса 1993р., стор.117-127.
3. R. I.Charles, Min.tng.9., 80 (1957).
4. Г.С.Ходаков. Фізика подрібнення. М., Наука.1972г., 307с.
5. В.Н.Анціферов, С.А.Оглезнєва, С.Н.Терещенко. Механічне легування заліза фосфором та вуглецем. Фізика металів та металознавство. РАН том85, вип.2, 1998, стор.98-104.

6. В.В.Кафаров Системний аналіз процесів хімічної технології: методи нерівномісної термодинаміки:монографія / І.М.Дорохов, Е.М.Кольцова; відп. редактор Н.М.Жаворонков - 2-ге вид.перероб. та дод. - М.: Видавництво Юрайт, 2018. - 377с. - (Серія: Університети Росії) ISBN 978-5-534-06997-6.

7.Орлова Н.Д. Математичний опис процесу подрібнення та агломерації на основі ймовірнісної моделі процесу. Sience fnd Education New Dimension/ Natural and Technical Sciences. VI(19) Issue: 171, 2018, 47-50.

8. Орлова Н.Д. Оптимізація параметрів під час вібраційного подрібнення. Вісник національного технічного університету „ХПІ” Збірник наукових праць Випуск №30,2006 стор.153-158.

УДК: 681.518.5

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ

С.О. Рожков, д.т.н., проф.

К.В. Кондрашов, аспірант

К.В. Тимофеєв, к.т.н., доц.

I.Б. Бутаков, аспірант

М.В. Старов, аспірант

Херсонська державна морська академія

Анотація: Запропоновано математичну модель системи діагностування в задачах автоматичного контролю. Обґрунтовано модель прогнозування стану суднових систем за вектором їх параметрів у вигляді спостерігача. Показано перспективи використання інтелектуальних систем, які забезпечать автоматичний моніторинг, прогноз стану судна та його систем, а також рекомендації для пошуку та усуненню несправностей.

Ключові слова: діагностування, автоматизоване керування, інформаційна підтримка, інформаційна система, аварійно-попереджувальна сигналізація

MATHEMATICAL MODEL OF THE DIAGNOSTIC SYSTEM IN THE PROBLEMS OF AUTOMATIC CONTROL

S.Rozhkov, Dr. of Science, Professor

K. Kondrashov, Graduate student

K. Tymofeiev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

I. Butakov, Graduate student

M. Starov, Graduate student

Kherson State Maritime Academy

Abstract: A mathematical model of the diagnostic system in automatic control problems is proposed. The model of forecasting the state of ship systems by the vector of their parameters in the form of an observer is substantiated. Prospects for the use of intelligent systems that will provide automatic monitoring, forecast of the state of the vessel and its systems, as well as recommendations for troubleshooting.

Keywords: diagnostics, automated control, information support, information system, alarm system

Безпека мореплавання є головною відзнакою морського флоту і представляється найважливішою умовою можливості ефективної експлуатації суден [1]. Одну з найважливіших функцій у забезпечені безпеки на судні грає система діагностування суднових механізмів в режимі реального часу (аварійно-попереджувальна сигналізація, АПС), основним завданням якої є контроль стабільної роботи всіх суднових систем та попередження оператора в разі появи

будь-якої несправності [2]. Стан системи відділяє майбутнє від минулого, так що стан містить всю інформацію, необхідну для визначення реакції об'єкта на довільний вхідний сигнал.

Для моделі системи діагностиування (АПС) використано наступні визначення: вектор \mathbf{x} - вектор станів, вектор \mathbf{u} - вектор управління, вектор \mathbf{g} - вектор збурення.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \mathbf{x}; \dim \mathbf{x} = n; \quad \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_m \end{bmatrix} = \mathbf{u}; \dim \mathbf{u} = m; \quad \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_k \end{bmatrix} = \mathbf{g}; \dim \mathbf{g} = k. \quad (1)$$

Для можливості обліку конструктивних особливостей об'єкта введемо параметри у вигляді матриці A , причому матриця параметрів необов'язково буде прямокутна. Також введемо поняття динамічного об'єкта W , який набирає вигляду $W = W(x, u, g, A)$.

Якщо взяти $A = \text{const}$ та, за умови незалежності поведінки системи від зовнішніх впливів, можливо досліджувати залежність векторів від часу. Для цього зафіксуємо точку режиму при \mathbf{x}^* , \mathbf{u}^* , \mathbf{g}^* . З огляду на умови збереження стану об'єкта діагностиування (ОД) для вихідної величини (1) без урахування управління та збурення отримуємо:

$$\mathbf{x} \in \varepsilon(\mathbf{x}^*) \rightarrow \mathbf{y} \approx \mathbf{x}^* + \frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}} \frac{d\mathbf{x}}{dt} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^2 \mathbf{x}^*} \frac{d^2 \mathbf{x}}{dt^2} + \frac{1}{6} \frac{\partial^3 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^3 \mathbf{x}^*} \frac{d^3 \mathbf{x}}{dt^3} + \dots + \mathbf{R} = \mathbf{0} \quad (2)$$

При зміні контролюваних параметрів об'єкта діагностиування в межах дозволених режимів роботи без управління та збурень отримуємо різні моделі, висловлюючи їх відносно старшої похідної (табл. 1).

Таблиця 1 – Моделі дозволених режимів роботи ОД

Порядок моделі	Рівняння моделі
1	$\frac{d\mathbf{x}}{dt} + \left(\frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}} \right)^{-1} \mathbf{x} = \mathbf{0}$
2	$\frac{d^2 \mathbf{x}}{dt^2} + \left(\frac{1}{2} \frac{\partial^2 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^2 \mathbf{x}^*} \right)^{-1} \left(\frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}} \right) \frac{d\mathbf{x}}{dt} + \left(\frac{1}{2} \frac{\partial^2 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^2 \mathbf{x}^*} \right)^{-1} \mathbf{x} = \mathbf{0}$
3	$\frac{d^3 \mathbf{x}}{dt^3} + \left(\frac{1}{6} \frac{\partial^3 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^3 \mathbf{x}^*} \right)^{-1} \left(\frac{1}{2} \frac{\partial^2 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^2 \mathbf{x}^*} \right) \frac{d^2 \mathbf{x}}{dt^2} + \left(\frac{1}{6} \frac{\partial^3 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^3 \mathbf{x}^*} \right)^{-1} \left(\frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}_{\mathbf{x}^*}} \right) \frac{d\mathbf{x}}{dt} + \left(\frac{1}{6} \frac{\partial^3 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{x}^3 \mathbf{x}^*} \right)^{-1} \mathbf{x} = \mathbf{0}$

Якщо матричні коефіцієнти в моделі постійні, то така модель володіє лінійністю. Позначивши матриці в рівняннях моделі A_0 , A_1 , A_2 , отримаємо ста-

ндартну форму моделі динаміки системи в просторі станів. Рівняння зміни стану ОД в межах допустимих значень лінійної системи третього порядку має вигляд:

$$\ddot{\mathbf{x}} + A_2 \dot{\mathbf{x}} + A_1 \mathbf{x} + A_0 \mathbf{0} = \mathbf{0}. \quad (3)$$

Вплив управлінь та збурень на ОД можна описувати тим же методом, але зазвичай є достатні моделі з правою частиною нульового порядку [3]:

$$\ddot{\mathbf{x}} + A_2 \dot{\mathbf{x}} + A_1 \mathbf{x} + A_0 \mathbf{x} = B \mathbf{u} + Q \mathbf{g}. \quad (4)$$

Для опису моделі динамічної системи ОД в просторі станів застосуємо формулу Коші:

$$\dot{\mathbf{x}} = A \mathbf{x} + B \mathbf{u} + Q \mathbf{g}. \quad (5)$$

Виходячи з виразу (5) вкажемо на можливість моделювання динамічного об'єкта, де у найпростішому випадку спостерігаються впливи управління та збурення при відомих матрицях моделі ОД. Об'єднавши рівняння моделі та об'єкта, отримаємо систему (6):

$$\left. \begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= A \mathbf{x} + B \mathbf{u} + Q \mathbf{g} \\ \dot{\mathbf{x}}_m &= A_m \mathbf{x}_m + B_m \mathbf{u}_m + Q_m \mathbf{g}_m \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Припущення ідентичності моделі об'єкту та вимірювання управління та збурень дозволяє реалізувати модель W_m для об'єкта W (рис. 1), яка може «рухатися» у темпі об'єкта W або випереджати його. Розглядаючи модель та об'єкт, отримуємо просту схему (рис. 1) для оцінки відхилення моделі від об'єкта.

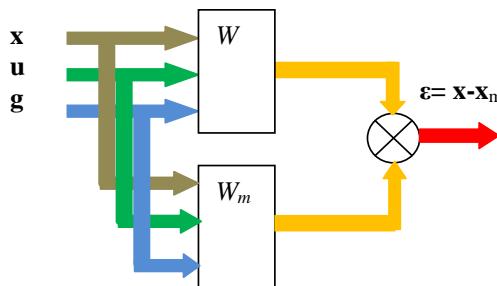


Рисунок 1 – Формування оцінки відхилення системи і її моделі

Під помилкою ϵ будемо розуміти різницю вектора стану об'єкта діагностування та його моделі:

$$\dot{\mathbf{x}} - \dot{\mathbf{x}}_m = A \mathbf{x} - A_m \mathbf{x}_m + B \mathbf{u} - B_m \mathbf{u}_m + Q \mathbf{g} - Q_m \mathbf{g}_m. \quad (7)$$

Для ідентичної моделі і вимірюваних управліннях та збуреннях отримуємо рівняння у відхиленнях

$$A = A_m; \quad B = B_m; \quad Q = Q_m \quad \rightarrow \quad \dot{\mathbf{x}} - \dot{\mathbf{x}}_m = A(\mathbf{x} - \mathbf{x}_m) \quad \rightarrow \quad \dot{\epsilon} = A\epsilon. \quad (8)$$

При рівних початкових умовах модель та система знаходяться в однакових станах, тобто $\boldsymbol{\varepsilon} = 0$. При різних початкових умовах та за умови асимптотичної стійкості системи (8), помилка оцінки вектора стану зведеться до нуля тільки через певний час.

Усунути такий недолік в оцінці вектора станів можливо введенням в управління моделлю пропорційного регулятора, з матрицею передачі W_H . Тоді отримуємо систему рівнянь:

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = (A + W_H) \boldsymbol{\varepsilon} \quad \rightarrow \quad \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = G \boldsymbol{\varepsilon}. \quad (9)$$

Алгоритм усунення помилки оцінювання стану (9) показано на рис. 2. Введення додаткового контуру регулювання за помилкою $\boldsymbol{\varepsilon}$, яка була визначена відмінностями початкових умов, дозволить досить швидко усунути цю помилку. В такому випадку модель буде «наздоганяти» об'єкт, коректуючи своє управління на помилку $\boldsymbol{\varepsilon}$. Такий підхід визначимо як асимптотичний спостерігач стану. Цей метод дозволяє виключити тільки помилку, пов'язану з початковими умовами або неконтрольованими збуреннями.

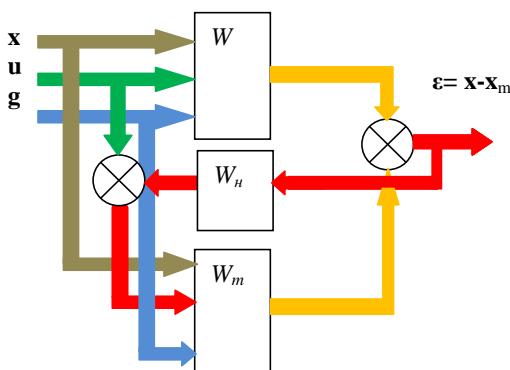


Рисунок 2 – Усунення помилки початкових умов

Кутти першого порядку має вигляд для рівняння першого порядку:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} \approx \frac{\mathbf{x}(t + \Delta t) - \mathbf{x}(t)}{\Delta t}; \quad \dot{\mathbf{x}} = A\mathbf{x} \quad \rightarrow \quad \frac{\mathbf{x}(t + \Delta t) - \mathbf{x}(t)}{\Delta t} = A\mathbf{x}(t). \quad (10)$$

Тоді для пари об'єкт модель отримуємо:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}(t + \Delta t) &= \mathbf{x}(t) + A\mathbf{x}(t)\Delta t \\ \mathbf{x}_m(t + \Delta t) &= \mathbf{x}_m(t) + A\mathbf{x}_m(t)\Delta t \end{aligned} \right\} \rightarrow$$

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}(t) &= \mathbf{x}_n \\ \mathbf{x}(t + \Delta t) &= \mathbf{x}_{n+1} \end{aligned} \right\} \rightarrow \dot{\mathbf{x}}_{n+1} = \mathbf{\varepsilon}_n + A\mathbf{\varepsilon}_n\Delta t \quad (11)$$

Для багатовимірних систем, таких, як суднова система діагностування, в просторі станів використовуються матричні рівняння, але суть методу від цього

Динамічні характеристики системи (9) визначаються власними числами матриці G . Оскільки матриця W_H обирається довільно, можемо вибором цієї матриці вибрати власні числа матриці G , які забезпечать необхідну асимптотичну збіжність помилки оцінювання до нуля.

Реалізація методу проста як в аналоговій реалізації, так і в цифровому алгоритмі. Наприклад, реалізація методом Рунгекутти першого порядку має вигляд для рівняння першого порядку:

не зміниться. Таким чином, в структуру системи вводиться додатковий оптимальний регулятор W_i , який забезпечує підстроювання моделі під об'єкт (рис. 3) .

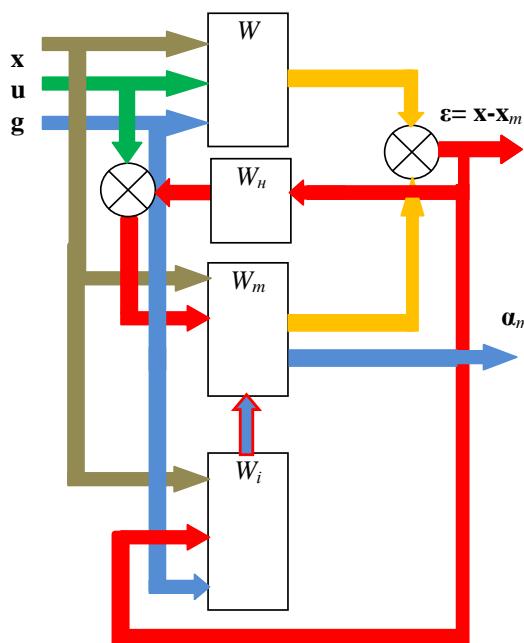


Рисунок 3 – Відновлення вектора параметрів

Практично регулятор W_i буде зменшувати помилку ε , підганяючи матрицю моделі або α_m - вектор параметрів моделі.

Таким чином, отримуємо структуру з двома регуляторами асимптотичним спостерігачем W_H та ідентифікатором W_i , (рис. 3). Вектор параметрів моделі α_m при прагненні вектора помилки ε до нуля, буде прагнути до вектору параметрів об'єкта α .

Висновки. Метод діагностики та автоматичного контролю за вектором параметрів є перспективним. При використанні інтелектуальних систем, які забезпечать автоматичний моніторинг, прогноз стану судна та його систем, а також рекомендації для пошуку та усуненню несправностей .

ЛІТЕРАТУРА

1. Снопков В.И. Безопасность мореплавания [Текст] / В.И. Снопков, Г.И. Конопелько, В.Б. Васильева. –М.: Транспорт, 1994. – 247 с.
2. KONSBERG. Kongsberg K-Chief 500/600 Marine Automation System Installation Manual /311956 / F March 2013 © Kongsberg Maritime AS
3. Тихонов А.Н. Дифференциальные уравнения 4-е изд. А.Н.Тихонов, Васильева А.Б. Свешников А.Г. – М.: Физматлит. 2002. 232с.

УДК 004.942: 629.4.001.4

ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЇ МОДЕЛІ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА СУДОВЫХ ДІЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

І.М. Гвоздєва, доктор техніческих наук, професор

В.Ф. Миргород, доктор техніческих наук, доцент

С.В. Колесник, студент

С.В. Корольчук, студент

Національний університет «Одесська морська академія»

Аннотація: Рассматривается подход к получению робастной математической модели температурных параметров судовых дизель-генераторных установок. Подход основан на экспериментальных данных SCADA-системы длительной эксплуатации судовых дизель-генераторных установок. Предложена методика идентификации регрессионной модели температурных параметров судовой дизель-генераторной установки на основе генетических алгоритмов. Результаты исследования позволяют уменьшить чувствительность предложенной математической модели к неоднородности выборки исходных данных, и, тем самым, повысить качество диагностирования технического состояния.

Ключові слова: диагностичний параметр, дизель-генераторна установка, статистичні данні, регресійна модель, генетичний алгоритм

IDENTIFICATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE TEMPERATURE REGIME OF SHIP DIESEL GENERATOR UNITS BASED ON GENETIC ALGORITHMS

I. Hvozdeva, Dr. of Science, Professor

V. Myrhorod, Dr. of Science, Associate Professor

S. Kolesnik, student

S. Korolchuk, student

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: An approach to obtaining a robust mathematical model of the temperature parameters of marine diesel generator sets is considered. The approach is based on the experimental data of the SCADA system for the long-term operation of marine diesel generator sets. A method for identifying a regression model of temperature parameters of a ship diesel generator set based on genetic algorithms is proposed. The results of the study make it possible to reduce the sensitivity of the proposed mathematical model to the heterogeneity of the sample of initial data, and, thereby, to improve the quality of diagnosing the technical condition.

Key words: diagnostic parameter, diesel generator set, statistical data, regression model, genetic algorithm

Судовые энергетические установки (СЭУ) содержат ряд систем и агрегатов, в том числе, важную компоненту в виде судовых дизель-генераторных установок (СДГУ). Повышение технико-экономических показателей СДГУ обеспечивается в настоящее время реализацией стратегии эксплуатации таких установок по техническому состоянию взамен эксплуатации по назначенному ресурсу. Реализация указанной стратегии достигается усовершенствованием судовых систем автоматизированного контроля и диагностики (САКД) на основе применения современных информационных интеллектуальных технологий.

Проблема внедрения новой стратегии эксплуатации СДГУ по техническому состоянию состоит в необходимости разрешения противоречия между необходимым и достигнутым в настоящее время уровнем технического, методического и алгоритмического обеспечения САСКД применительно к реальным условиям эксплуатации в условиях возможной неполноты и частичной недостоверности исходных данных.

Судовые ДГУ управляются и контролируются SCADA-системами на основе потоков данных дискретных измерений ряда параметров, в частности температур выходящих газов цилиндров, давлений в них, оборотов, тока нагрузки, параметров маслосистемы и системы охлаждения и других.

Применение в САСКД современных информационных технологий и методов искусственного интеллекта, учитывающих достоверность значений параметров контроля, их взаимосвязь, позволит уменьшить вероятность ошибочных выводов о техническом состоянии СДГУ.

Выбранному актуальному направлению исследований посвящены ряд работ, в частности, в [1–4] рассмотрены вопросы диагностирования СДГУ, оценка их технического состояния проанализирована в [5,6], в [1,7,8] предложены методы многомерного анализа временных рядов параметров регистрации в САСКД, в [7] рассматривается пространство признаков в САСКД для оценки технического состояния СДГУ. Работы [1, 9] посвящены рассмотрению структурных схем и алгоритмов САСКД. В [10 – 13] описаны технические средства, методы проектирования алгоритмов поиска неисправностей. Применение в САСКД методов искусственного интеллекта предложено в работах [3, 10, 16]. Анализ последних исследований и публикаций позволяет сделать вывод о существующем противоречии между возможностями новых средств алгоритмического обеспечения САСКД и их практической реализацией.

Целью настоящего исследования является обоснование подхода к получению робастной математической модели температурных параметров СДГУ для усовершенствования САСКД путем использования передовых методов искусственного интеллекта в виде генетических алгоритмов для построения адекватных моделей взаимозависимости параметров СДГУ в процессе длительной эксплуатации.

Исследуемая СЭУ описана в [14,15] и состоит из трех ДГУ, в составе которых использованы дизельные двигатели модели 6EY18L фирмы YANMAR и генераторы фирмы HYUNDAI. Параметры СДГУ контролировались двумя системами мониторинга: EPM (Enamor Power Monitor) и Kongsberg K-Chief 600. Система EPM контролирует и анализирует электроэнергетические параметры, вырабатываемые синхронными генераторами (напряжение, силу тока, частоту, мощность, коэффициент мощности и т.д.). Передача полученных данных осуществляется по стандарту RS 485 в формате NMEA («National Marine Electronics Association») другим судовым системам мониторинга, в том числе основной системе мониторинга Kongsberg K-Chief 600.

Согласно [14,15] для фиксации значений диагностических параметров судовых ДГУ использовалась специальная электронная таблица, в которую каж-

дые 24 часа заносились текущие значения. Данные были получены М.А. Якименко [14]. Путем корреляционного анализа параметров СДГУ в [14] выделены параметры, имеющие наибольшую информативность, а именно температуры выходящих газов каждого цилиндра и ток нагрузки.

На рисунке 1 представлены согласно [15] временные ряды температур выходящих газов каждого цилиндра ДГУ №1, а на рисунке 2 - временной ряд действующего значения тока нагрузки в процессе длительной эксплуатации.

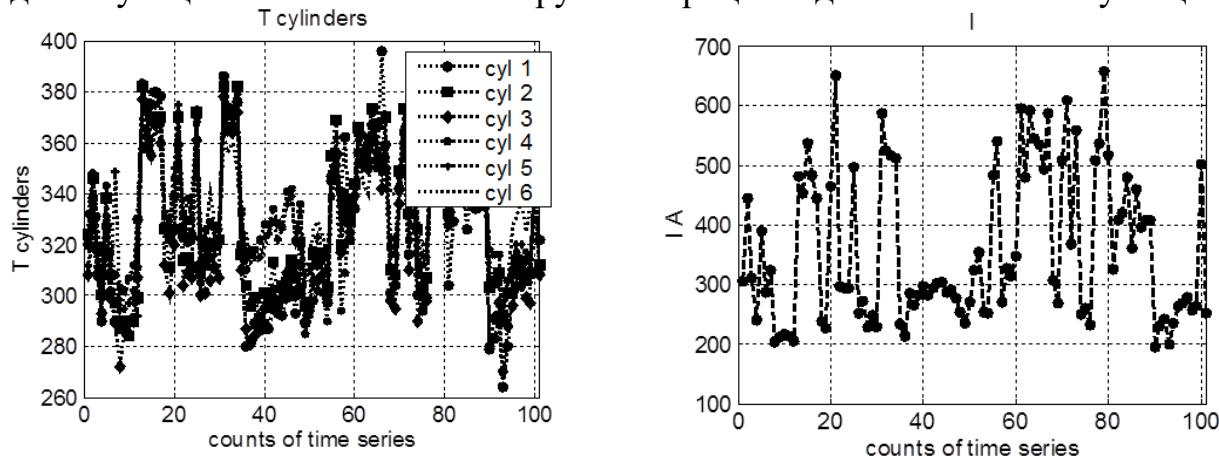


Рисунок 1 – Временные ряды температур выходящих газов каждого цилиндра СДГУ

Рисунок 2 – Временные ряды тока нагрузки СДГУ

Рисунок 3 иллюстрирует зависимость средней по цилиндрам температуры выходящих газов цилиндров СДГУ от тока нагрузки и различные формы аппроксимации этой зависимости.

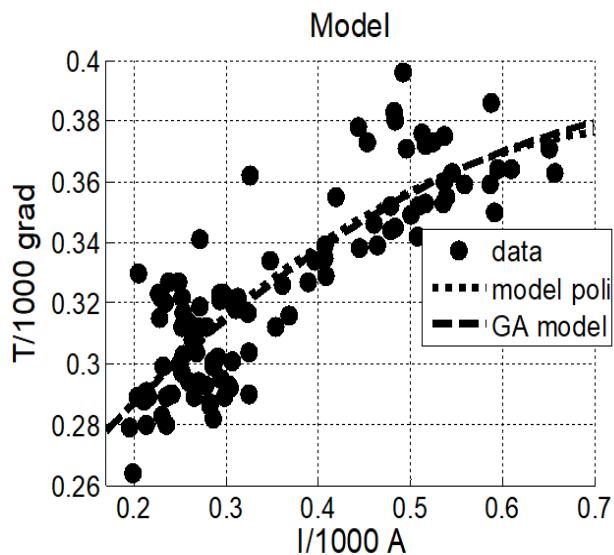


Рисунок 3 – Зависимость температуры выходящих газов цилиндров СДГУ от тока нагрузки.

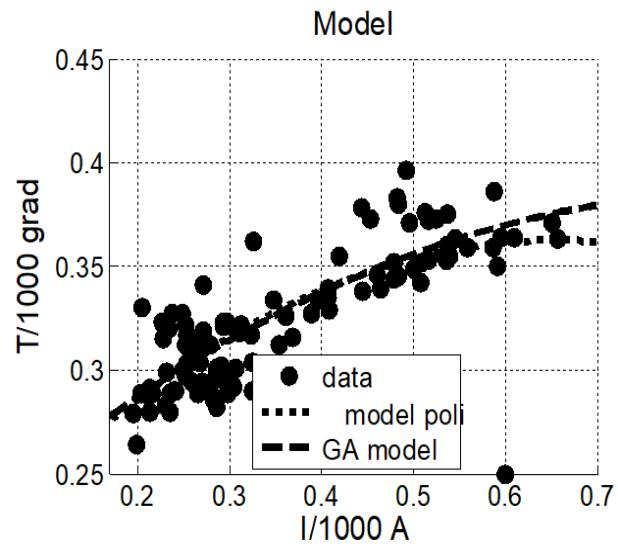


Рисунок 4 – Зависимости модельных значений температуры выходящих газов цилиндров СДГУ от тока нагрузки при однократном ошибочном измерении.

Как следует из результатов построения регрессионной модели различными методами и рисунка 3, обе модели дают равносильные результаты по критерию минимума среднеквадратичной ошибки аппроксимации. Для установления робастности различных методов получения регрессионной модели выполнено исследование влияния однократного ошибочного измерения температуры газов на параметры регрессионной модели, полученной методами МНК и ГА, что представлено на рисунке 4

Таким образом, применение передовых методов нелинейной регрессии диагностических параметров СДГУ, а именно: температуры выходящих газов и тока нагрузки, в виде генетических алгоритмов (ГА), позволяет обеспечить адекватность таких моделей. При этом, предлагаемый подход, в отличие от известного подхода, основанного на методе наименьших квадратов (МНК), обеспечивает робастность идентификации математической модели. Известным недостатком МНК для получения нелинейной регрессии является неудовлетворительная робастность, а именно высокая чувствительность к так называемым «выбросам» - значительным ошибкам измерений и/или регистрации. Деформация полиномиальных аппроксимаций, как это видно из рисунка 4, является столь значительной, что существенно ограничивает их применение в условиях неполноты и возможной частичной недостоверности исходных данных.

Напротив, предлагаемый метод получения нелинейной регрессионной модели на основе (ГА) не имеет указанных недостатков ввиду физической сущности такого алгоритма.

Тем не менее, следует учитывать известные ограничения применения ГА [16], а именно, чувствительность к исходным приближениям, значительное время сходимости, необходимость повторных итераций и др. Поэтому следует выполнять предварительный анализ данных для установления однородности выборок известными критериями.

Выводы. Предложен и обоснован на основе экспериментальных данных подход к получению математической модели температурных параметров судовых дизель-генераторных установок. Подход основан на экспериментальных данных SCADA-системы длительной эксплуатации судовых дизель-генераторных установок. Предложена методика идентификации регрессионной модели температурных параметров судовой дизель-генераторной установки на основе генетических алгоритмов. Результаты исследования позволяют уменьшить чувствительность предложенной математической модели к неоднородности выборки исходных данных, и, тем самым, повысить качество диагностирования технического состояния.

Перспективы дальнейших исследований состоят в обосновании статистической математической модели порождения данных технического состояния СДГУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гвоздева И. М., Демиров В. В. Трендовый контроль в современных системах диагностики судовых энергетических установок. Вісник Херсонського національного технічного університету. Херсон, 2016. № 3. С. 191–194.
2. Головко С. В. Диагностика технического состояния судового электрооборудования на основе интеллектуального анализа данных. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия управление, вычислительная техника и информатика. Астрахань, 2009. № 2. С 90–95.
3. Надеев А. И., Буй Х. Н., Васильевич С. Ф. Диагностика технического состояния судовых дизелей на основе интеллектуального анализа данных. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. Астрахань, 2011. № 2.
4. Миська А. Р. Трендовый контроль режимных параметров дизель-генераторных установок. Авиационно-космическая техника и технология. Харьков, 2010. № 7. С. 154–157.
5. Кононова Е. А., Нечаус А. А., Серпутько А. П. Выбор обобщенного диагностического параметра для оценки технического состояния дизель-генератора. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. Харків, 2010. № 3(25). С. 156–163.
6. Грицай Л. Л., Горбунов В. Ф., Калугин В. Н. Информационная ценность диагностических параметров судовых малооборотных дизелей. Судостроитель, 1973. № 8. С. 35–37.
7. Борисенко А. Н., Кубрик Б. И., Лавриненко О. В. и др. Обоснование и выбор информационных сигналов для систем управления и технической диагностики дизель генераторов. Вестник Национального технического университета "ХПИ". Автоматика и приборостроение. Харьков, 2011. № 57. С. 3–8.
8. Hvozdeva I., Myrhorod V., Deren Y. The Metod of Trend Analysis of Parameters Time Series Gas-turbine Engine State : 9th International Conference for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences State. AIP Conference Proceedings. Melville, New York, 2017, № 1895. P. 030002-1-030002-9
9. AutoChief C20: Instruction Manual Sulzer RT-Flex Engines Fixed Propeller installation, 2016. 127 p.
10. Говорущенко Н. Я. Диагностика технического состояния автомобилей : учебник. Москва : Транспорт, 1970. 256 с.
11. Надев А. И., Буй Х. Н., Свирепов Ф. В. Моделирование судового дизеля как объекта управления на базе нечеткой логики. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. Астрахань, 2012. №1.
12. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей : уч. пособие. / С. В. Епифанов и др. Киев : Техника, 1998. 312 с.
13. Миргород В. Ф., Ранченко Г. С. Особенности применения трендовых статистик при обработке данных в системах технической диагностики. Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2005. № 4. С. 25–27.
14. 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.
15. Гвоздева, И.М. Математическая модель температурного режима судовых дизель-генераторных установок на основе радиально-базисной нейронной сети [Текст] / И.М. Гвоздева, В.Ф. Миргород, А.А. Демиров // Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.124-128
16. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007.- 87 с.

УДОСКОНАЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНОВИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСТОСУВАННЯ FUZZY-РЕГУЛЯТОРІВ**В.Ф. Миргород**, доктор технічних наук, доцент**I.М. Гвоздева**, доктор технічних наук, професор**Д.В. Лутій**, студент**О.В. Мурзак**, студент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Пропонується підхід до удосконалення суднових систем автоматичного регулювання шляхом застосування регуляторів, що засновані на нечіткій логіці. Отримані частотні характеристики типових та нечітких регуляторів. Шляхом комп'ютерного експерименту встановлені запаси стабільності регуляторів, що засновані на нечіткій логіці, у порівнянні з типовими регуляторами. Запропонована методика дослідження запасів стабільності систем автоматичного регулювання, що застосовують регулятори, засновані на нечіткій логіці. Встановлено, що застосування пропонованих нечітких регуляторів покращує показники якості суднових автоматичних систем.

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

IMPROVEMENT OF CHARACTERISTICS OF VESSEL SYSTEMS OF AUTOMATIC ADJUSTMENT USING FUZZY REGULATORS**V. Myrhorod**, Dr. of Science, Associate Professor**I. Hvozdeva**, Dr. of Science, Professor**D. Lutyj**, student**A. Murzak**, student

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The approach to improvement of ship systems of automatic regulation by application of regulators based on fuzzy logic is offered. Frequency characteristics of typical and fuzzy regulators are received. The computer experiment established the stability margins of the controllers, based on fuzzy logic, compared to typical controllers. A method for studying the margins of stability of automatic control systems using regulators based on fuzzy logic is proposed. It is established that the use of the proposed fuzzy regulators improves the quality of ship's automatic systems.

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

Одним із важливих завдань удосконалення автоматичних систем регулювання (ACP) параметрів суднових енергетичних установок (СЕС) є досягнення нового, якісно кращого, процесу регулювання основних параметрів. За вимогами експлуатації, такі АСР застосовують типових пропорційно-інтегрально-диференціальних (ПІД) регуляторів різного програмно-апаратного виконання.

Важливим науково-прикладним завданням є удосконалення таких регуляторів шляхом впровадження передових підходів ситуаційного управління з використанням методів штучного інтелекту, зокрема методів нечіткої логіки.

Регулятори, що засновані а нечіткій логіці, застосовуються для рішення різноманітних завдань науки й техніки [1,2,3,4], оскільки дозволяють вирішити завдання автоматичного регулювання в умовах невизначеності, а також покращити якісні показники АСР у порівнянні із типовими регуляторами. Напрямком

сучасних досліджень є [5,6] впровадження регуляторів, що засновані а нечіткій логіці, для вирішення завдань удосконалення АСР параметрів СЕС.

Регулятори, що засновані а нечіткій логіці, виконують складне логіко-динамічне перетворення сигналу відхилення у вихідний сигнал керування виконавчим пристроєм. Тому встановлення найбільш важливих показників АСР, а саме, запасів сталості та показників якості переходів процесів аналітичними методами є ще невирішеним завданням. За системним підходом можна вважати, що такий регулятор є нелінійною ланкою зі складною неоднозначною функцією перетворення. За такою обставиною найбільш перспективним пропонується використання частотних методів аналізу АСР.

Метою пропонованого дослідження є обґрунтування підходу до удосконалення суднових систем автоматичного регулювання шляхом застосування регуляторів, що засновані на нечіткій логіці, та розробка методики встановлення запасів сталості означених систем.

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

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

- Проводиться комп'ютерний експеримент шляхом отримання зрізів амплітудно – фазових частотних характеристик для застосування критерію Найквіста, а саме: зрізу АФЧХ з рівними амплітудами першої гармоніки на вході fuzzy – регулятора та виході АСР, та зрізу АФЧХ з протикофазою першої гармоніки на вході fuzzy – регулятора та виході АСР. Комп'ютерний експеримент проводиться як для АСР із fuzzy - регулятором та класичним ПІД – регулятором.

- За першим етапом комп'ютерного експерименту отримується запас сталості АСР по фазі, за другим етапом – запас сталості по амплітуді.

- Виконується перевірка збіжності результатів комп'ютерного експерименту для встановлення запасів сталості АСР із класичним ПІД – регулятором відомими методами теорії автоматичного регулювання.

- Виконується додаткова перевірка збіжності результатів комп'ютерного експерименту для встановлення запасів сталості АСР із fuzzy – регулятором шляхом виводу на межу сталості зміною коефіцієнта підсилення

- За позитивним результатом перевірки встановлені запаси сталості АСР із fuzzy – регулятором приймаються як дійсні.

Для верифікації пропонованої методики встановлення запасів сталості АСР із fuzzy – регулятором обрано відомий приклад *sltank* програмного продукту *Fuzzy Logic Toolbox* інтерактивного середовища MATLAB, що є аналогом суднової системи регулювання рівня рідини в допоміжному судновому котлі. Модель комп'ютерного експерименту представлена на рисунку 1. На відміну від прикладу *sltank* в модель додатково уведені блоки Фур'є – аналізу для визначення амплітуди та фази першої гармоніки досліджуваних сигналів та визначення запасів сталості по амплітуді і по фазі АСР.

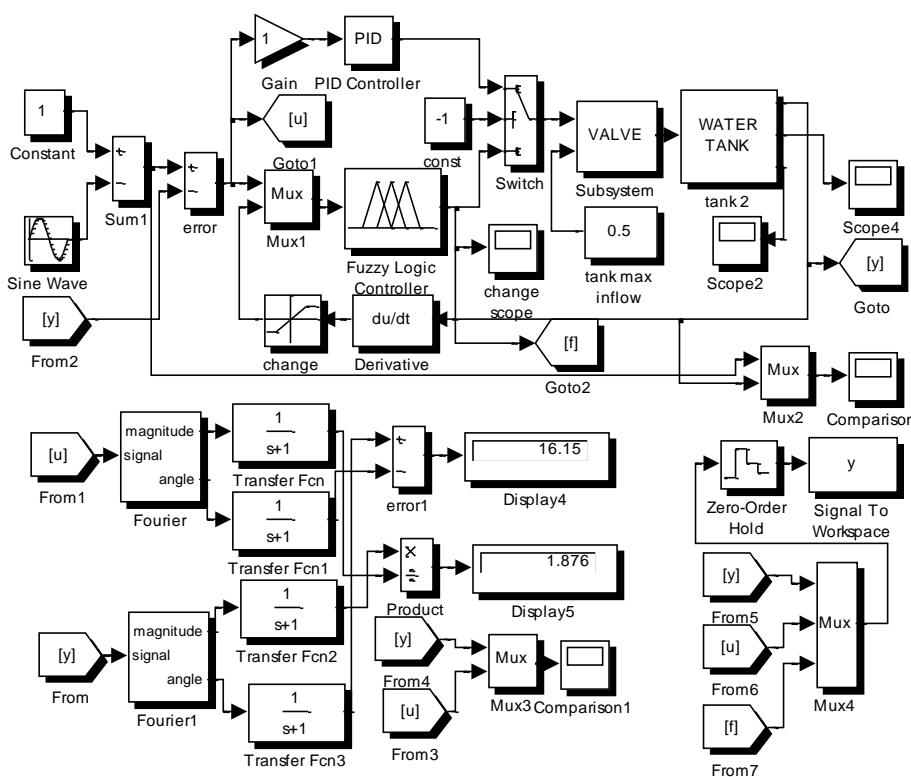


Рисунок 1 – Схема моделювання АСР рівнем рідини.

Відмінною особливістю пропонованого комп’ютерного експерименту є той факт, що досліджується замкнена АСР, оскільки в розімкненому стані вона непрацездатна. Однак, критерій Найквіста застосовується для встановлення запасів сталості замкнених АСР за характеристиками розімкнених. Тому аналізу підлягали процеси на вході регулятора у порівнянні із процесами на виході АСР, що забезпечує адекватність отриманих результатів. За комп’ютерним експериментом встановлено, що запас сталості АСР по фазі із класичним ПІД – регулятором становить 86,2 град., а по амплітуді inf , що відповідає отриманими відомими методами теорії автоматичного регулювання. Дійсно, незмінна частина АСР містить інтегруючу ланку (сервопривод) та аперіодичну ланку першого порядку (об’єкт). Тому АФЧХ розімкненої АСР не виходить за межі 3 – го квадранту і тому запас сталості по амплітуді є нескінченим. Для АСР із fuzzy – регулятором запаси сталості становлять: по фазі – 100,8 град., по амплітуді – 22,97 db. Перевірка збіжності результатів комп’ютерного експерименту для встановлення запасів сталості АСР із fuzzy – регулятором шляхом виводу на межу сталості збільшенням коефіцієнта підсилення сигналу відхилення підтверджує результати.

Коректність частотного аналізу нелінійних АСР, до яких слід віднести АСР із fuzzy – регулятором, встановлюється, за звичай, відповідності незмінної частини умовам фільтру. На рисунку 2 представлені діаграми сигналів в АСР із fuzzy – регулятором, які підтверджують, що дійсно така умова в розглянутому прикладі виконується.

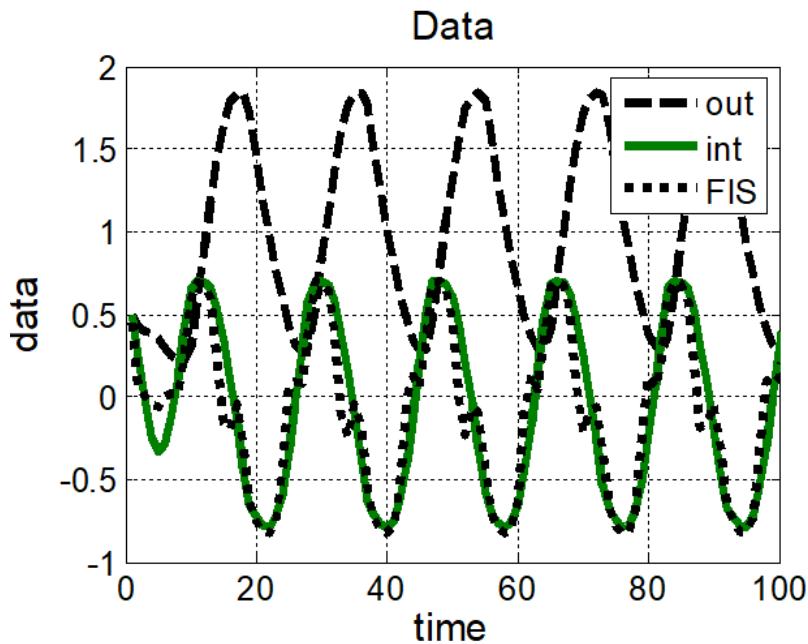


Рисунок 2 – Діаграми сигналів в АСР рівнем рідини.

Висновки. Обґрунтовано підхід до удосконалення суднових систем автоматичного регулювання шляхом застосування регуляторів, що засновані на нечіткій логіці, що відрізняється встановленням запасів сталості пропонованих регуляторів у порівнянні з типовими регуляторами. Запропонована методика дослідження запасів сталості систем автоматичного регулювання, що застосовують регулятори, засновані на нечіткій логіці. Встановлено, що застосування пропонованих нечітких регуляторів покращує показники якості суднових автоматичних систем.

Перспективи подальших досліджень полягають в обґрунтуванні методики встановлення показників якості суднових систем автоматичного регулювання, які застосовують регулятори, що засновані на нечіткій логіці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Романов И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. – М: Наука. 2006. – 336 с.
2. Романов П.С., Суворин Е.И. Искусственный интеллект: применение в технических системах. - С.-Пб.: МАА, 1996. - 118 с.
- 3 Апостолюк В.О. Інтелектуальні системи керування: конспект лекцій. / В.О. Апостолюк, О.С. Апостолюк. - К.: НТУУ «КП», 2008. – 88 с.
4. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. – К.: Радиоаматор, 2008. – 972 с.
5. Надев А. И., Буй Х. Н., Свиридов Ф. В. Моделирование судового дизеля как объекта управления на базе нечеткой логики. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. Астрахань, 2012. №1.
6. Головко С. В. Диагностика технического состояния судового электрооборудования на основе интеллектуального анализа данных. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия управление, вычислительная техника и информатика. Астрахань, 2009. № 2. С 90–95.

Секція 6. РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ ТА ЗВ'ЯЗОК

УДК 621.396.969.3

**ПЕРІОДИЧНІ СКЛАДНІ БАГАТОФАЗНІ СИГНАЛИ З ДОДАТКОВОЮ
АМПЛІТУДНОЮ МОДУЛЯЦІЮ ПОБУДОВАНІ НА БАЗІ ФУНКЦІЇ ЧЕБИШЕВА****В. Кошевої**, д.т.н., професор**О. Пашенко**, ст. викладач

National University “Odessa Maritime Academy”, Ukraine

Анотація: Останнім часом велика увага приділяється вивченю шумоподібних складних сигналів. Залишається відкритим питання про вплив параметрів сигналу на характеристики детектування цілей. Ця робота присвячена вивченю кореляційних властивостей складних багатофазних сигналів з додатковою амплітудною модуляцією (AM) на основі різних функцій. Як було показано в [1, 2], використання AM з узгодженою обробкою дозволяє більш ефективно придушувати бічні пелюстки взаємної функції невизначеності. Додаткова перевага складних багатофазних сигналів, що розглядаються, полягає в тому, що їх можна використовувати як при роботі з імпульсними радарами в аперіодичному режимі, так і з безперервними радарами в періодичному режимі. Раніше в [3, 4] розглядався випадок аперіодичного режиму роботи. Періодичний режим роботи частково розглядався в [1] для сигналів без AM. У цій статті ми продовжуємо розглядати складні багатофазні сигнали з додатковою AM для радара, що працює в періодичному режимі роботи.

Ключові слова: функція невизначеності, взаємна функція невизначеності, радіолокаційна станція, додаткова амплітудна модуляція, радіолокаційні сигнали

**PERIODIC COMPOUND MULTIPHASE SIGNALS WITH AN ADDITIONAL
AMPLITUDE MODULATION BASED ON THE CHEBYSHEV FUNCTION****V. Koshevyy**, DSc, professor,**O. Pashenko**, associate professor

National University “Odessa Maritime Academy”, Ukraine

Abstract: Recently, much attention has been paid to the study of noise-like compound signals. The question of the influence of the signal parameters on the detection characteristics remains open. We continue to study the correlation properties of compound multiphase signals with an additional amplitude modulation (AM) based on various functions. As it was shown in [1, 2], the using of AM with matched processing allows suppressing side-lobes (SL) of the Cross-ambiguity function (CAF) more efficiently due to more efficient spectrum of waveform, with reduced spectral SL comparatively to waveforms with rectangular shape. An additional advantage of the considered compound multiphase signals is they can be used both with pulsed radars by aperiodic mode and with continuous wave radars by periodic mode. Earlier in [3, 4], the case of aperiodic operation was considered. Periodic mode of operation was considered partially in [1] for signals without AM. In this article, we continue to consider compound multiphase signals with an additional AM for radar, operating in periodic mode.

Keywords: ambiguity function, Cross-ambiguity function, radar, additional amplitude modulation, radar signals

The complex envelope of a compound multiphase signals (s_n) consists of two sequences (base (s_n^B) and external (s_n^V) signal) [5-7]:

$$s_n^v = \exp \left\{ j \frac{\pi}{4} \beta' \left[2 \left(E \left[\frac{n}{N_{B_1}} \right] - N_V E \left[\frac{E \left[\frac{n}{N_{B_1}} \right]}{N_V} \right] + 1 \right) - (N_V + \mu_0^V) \right]^2 \right\}, n = \overline{0, N-1};$$

$$s_n = s_n^V \cdot s_n^B, \quad (1)$$

where $\alpha' = \alpha T_0^2$; $\beta' = \beta (T_0 N_B)^2$; $\alpha', \beta', N_{B1}, \mu_0^B, \mu_0^V$ - phase modulation parameters; T_0 is the duration of a single pulse; N_B is the number of pulses in the base sequence; N_V is the number of external sequence pulses; N is the number of pulses in the signal; $E[x]$ is the integer part of X .

We considered a signal with the following set of parameters: $\alpha'=1/N_B$, $\beta'=2/N_V$, $N=306$, where $N_B=18$, $N_V=17$, $\mu_0^B = 0$, $\mu_0^V = 1$, $N_{B1}=15$.

A signal with an additional AM is formed according to the following expressions [8]:

$$\begin{aligned} s_n^{am} &= s_n \cdot v_n; \\ v_n = v_n^b &= v_{n-E[n/N_B]N_B}^b \cdot v_{E\left[\frac{n}{N_V}\right]+1}^v, n = \overline{0 \div N-1}, \end{aligned} \quad (2)$$

where s_n^{am} is a compound multiphase signal with an additional AM; v_n are weights for the signal s_n ; v_n^b , v_n^v are weights for the base and external sequences, respectively.

This article was devoted to learning the influence of changing of signal's type on the SL level of correlation function with consideration of Doppler effect. We compared three different types of compound multiphase signals with an additional AM:

1) compound multiphase signal with matched processing by the function \sin (3), with an additional AM:

$$\begin{aligned} v_n^B &= \sin\left[\pi\left(\frac{y_B}{N_B+1} + \frac{n}{N_B+z_B}\right)\right], n = 0 \div N_B-1; \\ v_n^V &= \sin\left[\pi\left(\frac{y_V}{N_V+1} + \frac{n}{N_V+z_V}\right)\right], n = 0 \div N_V-1; \end{aligned} \quad (3)$$

where y_B , y_V are positive numbers for basic and external sequences, respectively, which vary in the range:

$$1 \leq y_B < \frac{N_B+1}{2}; \quad 1 \leq y_V < \frac{N_V+1}{2};$$

where z_B , z_V are variables for the basic and external sequences:

$$z_B = \frac{2y_B N_B - (N_B+1)}{N_B+1-2y_B}; \quad z_V = \frac{2y_V N_V - (N_V+1)}{N_V+1-2y_V}.$$

2) compound multiphase signal with matched processing by the function \sin^2 (3), with an additional AM:

$$\begin{aligned} v_n^B &= (\sin\left[\pi\left(\frac{y_B}{N_B+1} + \frac{n}{N_B+z_B}\right)\right])^2, n = 0 \div N_B-1; \\ v_n^V &= (\sin\left[\pi\left(\frac{y_V}{N_V+1} + \frac{n}{N_V+z_V}\right)\right])^2, n = 0 \div N_V-1. \end{aligned} \quad (4)$$

3) compound multiphase signal with matched processing based on Chebyshev function with an additional AM (5):

These functions allow controlling the behavior of CAF, namely, to control the peak-factor of the signal and the SL level of the CAF. The expression for calculating the peak-factor parameter was considered earlier in [3,4,8-11].

Thus, the CAF structure of compound multiphase signals was analyzed and compared. For this, a minimax criterion was used. So, we analyzed of the maximum level of central peak (CP) ratio to the maximum SL level in free zone (FZ).

Consider cases of matched processing with an additional AM in Table 1.

Table 1 - The ratio of CP to the maximum SL level in FZ for a compound multiphase signal with matched processing with an additional AM, $N = 306$ ($N_B = 18$, $N_V = 17$), $\alpha' = 1/N_B$, $\beta' = 2/N_V$, $\mu_0^V = 1$, $\mu_0^B = 0$, $N_{B1} = 15$

	Weight function sin (3)				Weight function \sin^2 (4)				Chebyshev weight function (20 dB, 40 dB) (5)			
	y=1	y=2	y=3	y=4	y=1	y=2	y=3	y=4	y=1	y=2	y=3	y=4
l=0	29,41	27,03	23,26	21,74	29,41	35,71	31,25	25,00	31,25	34,48	37,04	35,71
l=1	22,73	21,74	22,22	22,73	22,73	23,26	22,22	22,22	20,41	21,28	21,28	21,74
l=2	15,15	15,15	15,38	15,87	18,18	16,39	15,38	15,38	14,71	14,93	14,93	14,71
l=3	11,49	10,31	10,00	10,00	10,87	13,51	10,99	10,10	12,20	12,35	12,20	12,20
l=4	8,85	7,52	6,99	6,94	5,71	9,35	8,20	7,14	10,42	10,31	10,20	10,20

The cross-sections of the compound multiphase signal's CAF body for Chebyshev weight function case are presented on the Fig. 1.

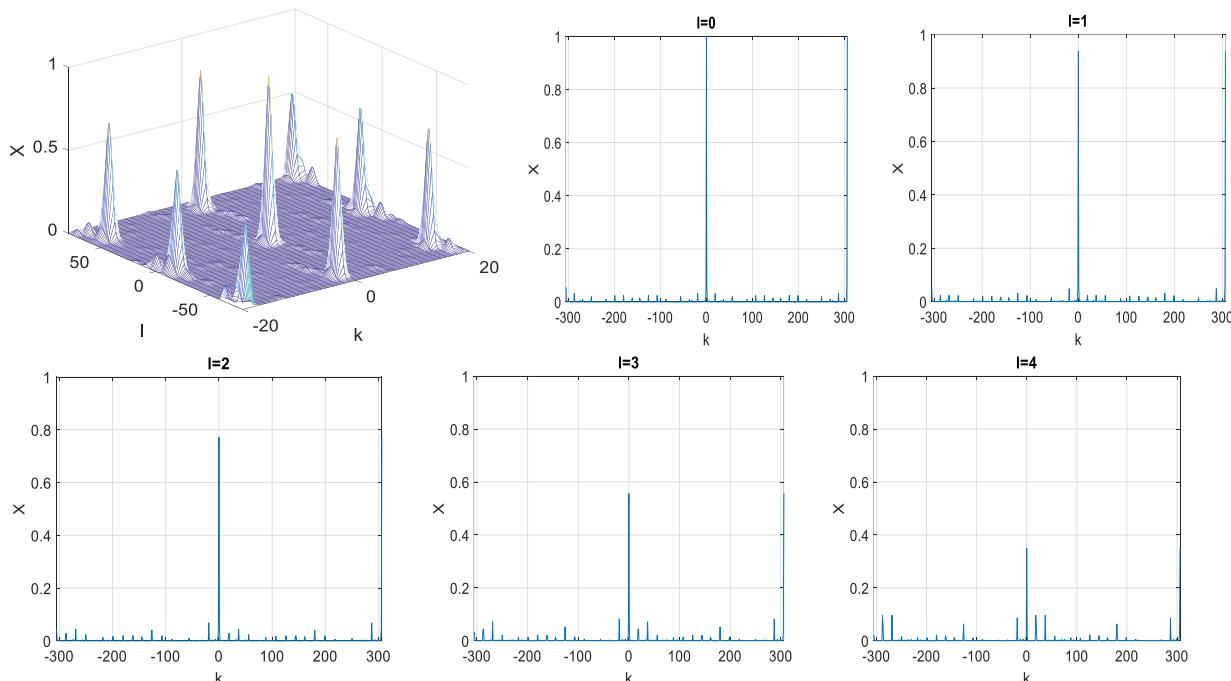


Figure 1 – CAF body of a compound multiphase signal with mismatched processing by the Chebyshev weight function (5), with an additional AM, with $N = 306$ ($N_B = 18$, $N_V = 17$), $\alpha' = 1/N_B$, $\beta' = 2/N_V$, $\mu_0^V = 1$, $\mu_0^B = 0$, $N_{B1} = 15$, $y = 1$.

We compared compound multiphase signals with the Chebyshev weight function and with weight function \sin and \sin^2 . The first one have the ratio of CP to the maximum SL level in FZ bigger for $l=0,3,4$, as is follows from the table 1.

Since the structure of compound multiphase signals with additional AM is associated with changing amplitudes, therefore, the peak factor is used for the analysis (table 2).

Table 2. Dependence between parameters Peak-factor and $y_B=y_V$ for a compound multiphase signal with an additional AM, $N = 306$ ($N_B = 18$, $N_V = 17$) $\alpha'=1/N_B$, $\beta'=2/N_V$, $\mu_0^V=1$, $\mu_0^B=0$, $N_{B1}=15$ (matched processing) with weight function \sin (3), \sin^2 (4) and Chebyshev (5)

$y_B=y_V$	Weight function \sin	Weight function \sin^2	Chebyshev function
1	3.58	6.36	3.51
2	2.80	4.92	11.07
3	2.21	3.69	22.98
4	1.77	2.77	39.29
5	1.46	2.01	59.97
6	1.25	1.53	85.04
7	1.11	1.24	114.49
8	1.03	1.07	148.32
9	1.00	1.01	186.53
10	1.01	1.03	229.13
11	1.07	1.14	276.1
12	1.18	1.37	327.46
13	1.35	1.76	383.2
14	1.61	2.34	443.32
15	1.98	3.18	507.82
16	2.49	4.28	576.7
17	3.18	5.62	649.96

After the calculations, we can make the following conclusions:

1. The weighting function \sin and \sin^2 have the biggest ratio of CP to the maximum SL level in FZ for $l = 1: 3$.
2. The Chebyshev weight function has the biggest ratio of CP to the maximum SL level in FZ for $l = 0, 4$.
3. The behavior of CAF for all three cases is approximately the same.
4. It should be noted that the peak factor is not big enough for \sin and \sin^2 weighting functions. It was no bigger than 6.36. But Chebyshev weighting function shows a significant loss in the peak factor parameter.

REFERENCES

1. B.L. Lewis, F.F. Kretschmer, Linear frequency modulation derived polyphase pulse compression codes, IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems Vol. AES-18, N5, Sept. 1982, pp. 637-641.
2. V. Koshevyy & O. Pashenko, Signal Processing Optimization in the FMCW Navigational Radars, Marin Navigation and Safety of Sea Transportation. Activities in Navigation. (edited) Adam Weinrit. CRC Press. 2015 pp. 55-60V.
3. V.M. Koshevyy, V.I. Kuprovskyy. Investigation of properties of compound multiphase signals. Izvestiya VUZ. Radioelectronics (Radioelectronics and Communication Systems), N8, 1991, pp. 63-66.

4. V.M. Koshevoy, A.A. Kononov, Synthesis optimal one channel discrete signals and filters, Izvestiya VUZ. Radioelectronika (Radioelectronics and Communication Systems), vol. 27, N8, 1984, pp. 62-65.
5. Chu D. C. Polyphase codes with good correlation properties, IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. IT-18, no. 4, July 1972, pp. 531-532.
6. Ein-Dor L., I.Kanter, and W. Kinzel, Low autocorrelated multiphase sequences, Physical Review E (Statistical, Nonlinear and Soft Matter Physics), vol.65, no. 2, February 2002, pp. 020102/1-020102/4.
7. Friese M., Polyphase Barker sequences up to length 36, IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. 42, no. 4, July 1996, pp. 1248-1250.
8. V Koshevyy, O Pashenko. Periodic Compound Multiphase Signals with an Additional Amplitude Modulation investigation for Marine Radars. UkrMiCo-2019.
9. V.M. Koshevyy. Synthesis of Waveform-Filter pairs under Additional Constraints with Group-Complementary Properties. IEEE, Radar Conference 2015, May 2015, Arlington,VA (USA), pp.0616-0621.
10. V.M. Koshevyy, Synthesis compound multiphase signals, Izvestiya VUZ. Radioelectronika (Radioelectronics and Communication Systems), vol. 31, N8, 1988, pp. 56-58.
11. V.M. Koshevyy. Synthesis of Waveform-Filter pairs under Additional Constrains with Group-Complementary Properties IEEE, Radar Conference 2015, May 2015, Arlington,VA (USA), pp 0616-0621.

УДК 621.396.67

OUTPUT ANTENNA SIGNALS NORMALIZATION FOR WEAK TARGETS SELECTION

V.M. Koshevyy, Professor, Doctor of sciences

A.A. Shevchenko, assistant of Maritime Radiocommunication department
National University "Odessa Maritime Academy"

Annotation: The special normalization procedure of radar reception diagramm is considered. The results of normalization, according the special transformation of output antenna signals are shown.

Key word : reception diagramm, weights coefficients, normalization.

НОРМУВАННЯ СИГНАЛІВ НА ВИХОДІ АНТЕН ДЛЯ ВИДЛЕННЯ СЛАБКИХ ЦЛЕЙ

В.М. Кошевий, професор, д.т.н.

А.А. Шевченко, асистент

Національний Університет "Одеська Морська Академія "

Анотація: В роботі розглянуто методи розрахунку нормування діаграми спрямованості радара. Представлено графіки згідно запропонованих розрахунків.

Ключові слова: діаграма спрямованості, вагові коефіцієнти, нормування.

The modern radars are the high-powered technical mean of navigation and take important role in protection from the space-time interference. But they aren't free from many drawbacks. The high enough side lobes level of radar antenna array diagram is one of such drawbacks. It leads to impossibility of the separation reflected signals from the big targets (which have big effective reflecting surface (ERS)) and from the small targets, which have small ERS, and which are situated on the same distance and have the azimuth angles with close values. The solution of this problem can be obtained by means of radar antenna pattern formation on the base of antenna array with controlled elements. The optimal methods of such diagrams formation are known and connected with the need of all array elements be tuned by complicated algorithms [1]. At the same time the reaching the antenna pattern side lobes required

suppression level may be realized with the simple methods by using the arrays with limited number of tunable weight coefficients of the spatial filter (antenna array elements), for example, when there are only two of such tunable weight coefficients. In this case all weights coefficients w_i of the receiving antenna array, except two (first and last: w_1, w_N), are fixed (selected under the condition of providing the required average antenna pattern side lobes level) (w_2, w_3, \dots, w_{N-1}). Value of the two tunable weights coefficients are selected for providing zero values in two points (θ_1, θ_2) of the reception pattern.

The expressions, which are describing the reception pattern of linear array antenna $G(\theta)$ for the considered case, may be written in the following form:

$$G(\theta) = \sum_{i=1}^N W_i \cdot e^{-j2\pi(d/\lambda)(N-1)i \sin \theta} = G_{N-2}(\theta) - \gamma_1 \cdot G_{N-2}(\theta_1) - \gamma_2 \cdot G_{N-2}(\theta_2) \quad (1)$$

where $G_{N-2}(\theta)$ — partial diagram,

$$G_{N-2}(\theta) = \sum_{i=2}^{N-1} W_i \cdot e^{-j2\pi(d/\lambda)(N-1)i \sin \theta} \quad (2)$$

$\varphi = 2\pi d \sin \theta / \lambda$ — signal phase; λ — wave's length; d — distance between antenna's array elements; θ — angle between the normal to the axis of the array antenna and direction of the coming signal.

In previous papers [7] the research of antenna non-tunable part and it's superdirective properties was considered. In this paper, due to special calculations, the diagram with weak target highlighted against a big target was obtained. According to our approach suppression of the receiving antenna diagram sidelobes were produced on the angles, that corresponded weak and strong targets mutual situation. Then spacial normalization procedure was provided for highlighted weak signal on the background of strong signal at antenna output. In figure 1 the reception diagramms with sidelobes suppression (b, in dB) are shown.

In figure 2 the results of normalization, according the special transformation of output antenna signals are shown.

The weak target (on 10dB below than strong target) is situated on the left side of Figure 2.

According of the investigation that was provided of the approach gives us the possibility is getting the conclusion that good results enough was obtained for the separation weak signals on the background of strong signals. It is very important, in particular, for marine radar.

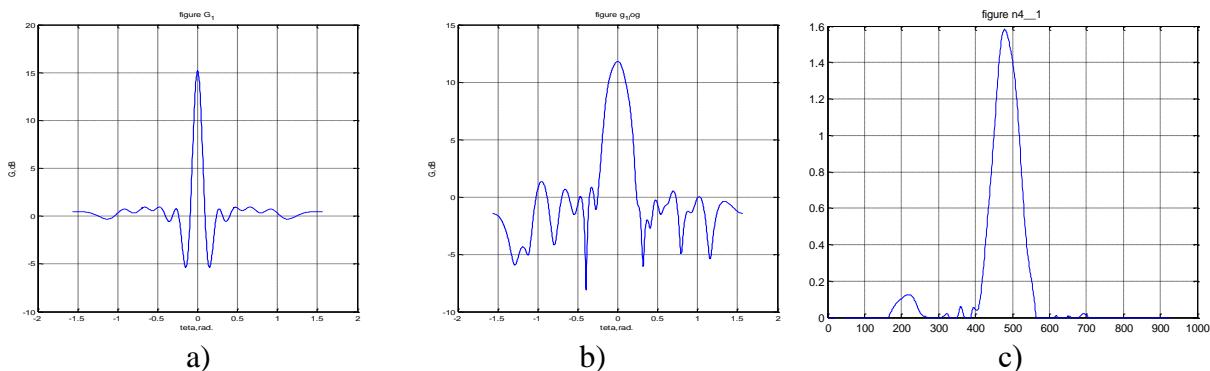


Figure 1 – Reception diagramms a) – Measured in times; b) – measured in dB; c) – Normalization

REFERENCES

1. Shirman Y., Manjos V., (1981), Theory and technics of radar information processing under interferences. *M. Radio I Svyaz*, – 416.
2. Valderas D., Suncho J.I., Puente D., Ling C., Chen X. Ultrawideband Antennas (*Design and Application*) Imperial College Press. 2011: 194.
3. Siviaak K., McKeown D., Ultra-Wide-band Radio Technology, *John Wiley&Sons*, 2004: 246.
4. Zhang B. LiJ., Deng Y., Zhou Z., Design of a Low-profile Ultra-wideband Antenna Array Based on Planar Dipole Elements, *IEEE Radar 2018*: 0125-0128.
5. Koshevyy V., Shershova A., 2013, The formation of zero levels of Radiation Pattern linear Antennas Array with minimum quantity of controlling elements, *Proc. 9 Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques (ICATT-13)*, Odessa, Ukraine: 264-265.
6. Koshevyy V., Lavrinenco V., Chuprov S., 1975, The efficiency of quasi-filter analysis. “*RIPORT*”, *VIMI*. №2: 7.
7. Koshevyy V., Shevchenko A., 2016, The research of non-tunable part of antenna array amplitude distribution for side lobes suppression efficiency. *2016 International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo'2016)*, National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine: 156 – 160.
8. Koshevyy V., Pashenko O., Improved compound multiphase waveforms with additional amplitude modulation (periodic mode) for marine radars. *The second International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo'2017)*, 11-15 September 2017, Odessa, Ukraine: 1-6.
9. Huang Yi, Boyle K., Antennas, From Theory to Practice. *Wiley*, 2008: 363.
10. Hansen R.C., 1981, Some New Calculations on Antenna Superdirectivity, *Proceeding of the IEEE*, Vol. 69, No. 10: 1365-1366. (Oct. 1981).
11. Newman E. H., Richmond J.H., Walter C. H., Array size reduction using superdirectivity, *AP – S Session 108, 1550*: 331-334 (June 21, 1976).
12. Koshevyy V., Lavrinenco V., 1981, Target selection on the base of discret structure with minimum number of tuned elements. “*Izvestia VUZ Radioelectronika*”, vol. 24, №4: 105 – 107.
13. Koshevyy V., 1982, Moving target systems identification synthesis with the inverse matrix size restrictions. “*Izvestia VUZ. Radioelectronika*”, t.25, № 3: 84-86.
14. Koshevyy V., 1981, Some Limited Relations for Cross-Ambiguity Function of Finite Signals. *Radio Engineering and Electronics*, Vol. 26: 2588-2599 (Dec. 1981).
15. V. Koshevyy, 1983, Optimum Properties of One Stage (Single) MTI Canceller. *Radio Engineering*, №7: 64-66 (Jul.1983)

Секція 7. МОРСЬКА ЕЛЕКТРОНІКА ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА

УДК 681.518

КОНФІГУРАЦІЯ СИСТЕМИ КІБЕРБЕЗПЕКИ СУДНА ТА БОРТОВОГО ПЕРСОНАЛУ

С.А. Михайлів, д.т.н., професор

Ю.С. Шевцов, к.т.н., доцент

Д.Р. Сочинський, курсант

Національний Університет «Одеська морська академія»

Анотація: Сучасні технології можуть збільшувати вразливість морського транспорту, особливо якщо судна розміщені у незахищених мережах та мають вільний доступ до Інтернету на борту. Це вимагає розуміння всіх бортових комп'ютерних систем і того, як кіберінцидент може поставити під загрозу безпеку, операції та бізнес.

Ключові слова: IT-технології, інтернет, кібербезпека, кібератаки, збір даних, інформаційна безпека

CONFIGURATION OF THE CYBER SECURITY SYSTEM OF SHIP AND ON-BOARD PERSONNEL

S.A. Mikhailov, Doctor of technical Sciences, Professor

Y.S. Shevtsov, Candidate of technical Sciences, Associate Professor

D.R. Sochynskyi, cadet

National University «Odessa Maritime Academy»

Annotation: The modern technology can make the sea transport more different, especially if the vessel is located near unprotected margins and can have free access to the Internet on board. Achievement of intelligence of all on-board computer systems, and in addition, as a cyber incident can pose a threat to security, operations and business.

Keywords: IT, Internet, cybersecurity, cyber attacks, data collection, information security

При розробці системи безпеки судна важливо переконатися, що особи, які виконують завдання, пов'язані з кібербезпекою, розуміють, що мета процедур - запобігти несанкціонованому доступу, а не просто задоволити регулюючі органи або їхнє безпосереднє начальство.

Досвід судноплавної галузі та інших секторів бізнесу, таких як фінансові установи, державні адміністрації та повітряний транспорт показав, що успішні кібератаки можуть привести до масштабної відмови доступу до послуг.

Сучасні технології можуть збільшувати вразливість морського транспорту, особливо якщо судна розміщені у незахищених мережах та мають вільний доступ до Інтернету на борту. Крім того, прибережний та бортовий персонал може не знати, що деякі виробники обладнання підтримують віддалений доступ до бортового обладнання та його мережової системи. Невідомий та нескоординований віддалений доступ до працюючого судна має бути важливою частиною оцінки ризику.

Рекомендується компаніям повністю володіти питаннями суднових систем ІТ, а також те, як ці системи підключаються та інтегруються з береговою ліні-

єю, включаючи державні органи, морські термінали та стивідори. Це вимагає розуміння всіх бортових комп'ютерних систем і того, як кіберінцидент може поставити під загрозу безпеку, операції та бізнес.



До деяких ІТ-можна отримати віддалений доступ, і вони можуть мати постійне підключення до Інтернету для віддаленого моніторингу, збору даних, обслуговування та безпеки. Це можуть бути «сторонні системи», при яких підрядник контролює та обслуговує системи з віддаленого місця та може бути як двостороннім потоком даних, так і лише для завантаження.

Наприклад, системи та робочі станції з функціями віддаленого керування, доступу або налаштування можуть бути:

- комп'ютери на містку та машинному відділенні та робочі станції в адміністративній мережі судна;
- вантажі, такі як контейнери із системами контролю температури рефрижераторів або спеціалізовані вантажі, що відстежуються віддалено;
- Системи підтримки прийняття рішень щодо стійкості;
- системи контролю напруги корпусу,
- навігаційні системи, включаючи реєстратор даних рейсу (VDR) з електронними навігаційними картками,
- системи динамічного позиціонування (ДП),
- вантажно-розвантажувальні роботи та укладання, системи керування двигуном та вантажами, а також системи планування завантаження,
- мережі безпеки та охорони, такі як CCTV (внутрішня мережа кабельного телебачення),
- спеціалізовані системи, такі як бурові платформи, пристрой запобігання викидам, системи підводного монтажу,
- аварійна зупинка (ESD) танкерів-газовозів, прокладання та ремонт підводних кабелів.

Нижче наведено деякі поширені кібер-уразливості, які можуть бути виявлені на борту існуючих суден і деяких нових судах:

- застарілі та непідтримувані операційні системи,
- застаріле або відсутнє антивірусне програмне забезпечення та захист від шкідливих програм,

- неадекватні конфігурації безпеки та передові методи, включаючи неефективне керування мережею та використання облікових записів та паролів адміністратора за умовчанням,
- бортові комп'ютерні мережі без заходів щодо охорони їх зовнішніх зв'язків та сегментації мереж,
- критично важливе для безпеки обладнання або системи, що постійно підключені до берегових центрів управління,
- неадекватний контроль доступу для третіх сторін, включаючи підрядників та постачальників послуг.



Забезпечення надійної обізнаності та навчання персоналу на борту є невід'ємною частиною організації заходів кібербезпеки судна. Сьогодні найслабшою ланкою в кібербезпеці, як і раніше, залишається людський фактор.

Останні дослідження в галузі кібербезпеки показують, що галузь все більше обізнана з цією проблемою і розширила навчання управлінню кіберрисками, але все ще є можливості для покращення ситуації.

При оцінці кіберрисків слід враховувати як зовнішні, так і внутрішні кіберзагрози. Судновий персонал відіграє ключову роль у захисті ІТ-систем, але та-кож може проявляти безтурботність, наприклад, використовуючи знімні носії для передачі даних між системами, не вживаючи запобіжних заходів проти передачі шкідливого ПЗ. Навчання та обізнаність мають бути адаптовані до відповідного стажу бортового персоналу, включаючи капітана, офіцерів та екіпаж.

Нарешті, рекомендується всім зберігати пильність у кіберпросторі та уникати відповіді на фішингові дії хакерів, які використовують тематику COVID-19. Необхідно бути обережними при поводженні з будь-якими електронними листами, в яких є тема, вкладення або гіперпосилання, пов'язані з COVID-19, і остерігайтесь прохань, текстів або дзвінків у соціальних мережах, пов'язаних з COVID-19.

Висновки: рекомендується використовувати надійних джерел, такі як законні урядові веб-сайти, для отримання актуальної на основі фактів інформації про кібербезпеку та COVID-19. Категорично забороняється розкривати особисту чи фінансову інформацію електронною поштою або відповідати на запити

електронних ресурсів на паролі та іншу конфіденційну інформацію. Рекомендується відключати або закривати тимчасовий віддалений доступ, наданий будь-якій зовнішній стороні після завершення роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Структура защиты информации в международной географической организации / Михайлов С.А., Шевцов Ю.С // Інформаційні управлюючі системи та технології: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції / відп. ред. В.В. Вичужанін ; Одес:изд-во “Экология”, 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 управлюючі системи та технології: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції / відп. ред. В.В. Вичужанін; Одес: изд-во “Экология”, 2020 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.

УДК 621.391.6

CYBERSECURITY PROCEDURES FOR MARINE COMPUTERS SYSTEMS

N.S. Mikhailov, postgraduate student
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstracts: Developing and implementation of protection and detection measures reduce likelihood of vulnerabilities being exploited and reduce their impact. Cyber risk protection measures may be technical and focused on ensuring that onboard systems are designed and configured to be resilient to cyber attacks. Protection measures may also be procedural and should be covered by company policies, safety management procedures, security procedures and access controls.

Key words: cybersecurity, threats, protection, detection, security, technology, malware, network, data, access control.

ПРОЦЕДУРИ КИБЕРБЕЗПЕКИ МОРСЬКИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Н.С. Михайлов, аспірант
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Розробка та впровадження заходів захисту та виявлення знижує ймовірність використання вразливостей та знижує їх вплив. Заходи захисту від кібергрисків можуть бути технічними та зосереджені на забезпеченні того, щоб бортові системи були спроектовані та налаштовані так, щоб бути стійкими до кібератак. Заходи захисту також можуть бути процедурними та повинні охоплюватися політикою компанії, процедурами управління безпекою, процедурами безпеки та засобами контролю доступу.

Ключові слова: кібербезпека, загрози, захист, виявлення, безпека, технології, шкідливе програмне забезпечення, мережа, дані, контроль доступу.

Presently the questions of providing of cybersecurity appeared in a spotlight for absolutely all participants and members of society of informatively-communication www.femire.onma.edu.ua

technologies. For the marine informative systems, taking into account their noninteraction and spatial remoteness, this question is especially actual. We will consider and will discuss procedures, recommendations and key rules of achievement of cybersecurity at-sea.

Procedural Defences

Procedural defences are also defined by the CPNI and the SANS institute. The selected issues are considered to be the highest priority for shipboard application. In general terms, the "host document" on board for these defences should be the Ship Security Plan, a confidential document mandated under SOLAS Chapter XI-2. Additionally, the procedural issues described will map across into the International Safety Management Code Safety Management System on board, and into company HR and IT procedures.

1. *Access control on board.* The Ship Security Plan will already call for access control measures, such as proof of identity at the gangway, visitor passes, visitor escort, and the identification and securing off unattended spaces which should include spaces containing IT equipment. These requirements can break down when "trusted" people are on board, such as maintenance engineers, agents or port officials. Small crews and busy turnarounds can make escort and supervision duties a challenge. Alternatively, on a large passenger ship the number of people moving around the ship can cause some confusion. Extra vigilance is called for when any visitor requires or requests access to a technical space or the ship's IT equipment.

2. *Security skills training appropriate to job description.* The Ship Security Plan calls for one senior officer to be appointed as the Ship Security Officer. His post can only be held by an officer suitably qualified, and this qualification is mandated under the Standards, Training and Certification for Watchkeepers Convention. This training did not contemplate the particular demands of cyber security. On larger, more technically complex ships it may be the case than an Electro Technical Officer is assigned the role of system administrator. This is a responsible post and although no mandatory training might be called for, the system administrator should be trained and qualified to keep the system efficient and safe.

3. *Controlled use of administrative privileges and passwords.* Systems in shared use often have a shared password, which is very porous (especially if the password is "password"). Computer configurations should be set up so that password syntax is robust, containing at least 8 characters of which a number, an uppercase character and a special character are present. Passwords should ideally be assigned to individuals and changed regularly. Assigning passwords to individuals allows for fine tuning of access controls.

4. *Physical media controls and policies.* One of the greatest risks to system security is the accidental infection of a computer or system with worms, Trojans or other malware present on physical media such as USB sticks. A recent examination con-

ducted by the writer of a number of bridge and cargo office PC's on board several large cargo ships revealed the presence of Potentially Unwanted Programmes, or PUPs. The use of unencrypted and unscanned physical media should be prohibited. If it is necessary to receive information from the shore in this format, a "dirty" or quarantine standalone PC should be used as a gatekeeper to the system.

5. *Employee vetting.* One of the easiest ways to place an insider is to have them hired by the target organization. For example, whilst large container ships operated by lines use crews from a trusted or in-house source, many ships engaged in oil and gas can have hundreds of workers on board, the identities of whom have to be taken at face value. Proper vetting, requiring the production of original documents before hire, references and background checks, should be considered prior to placing anyone in a position of trust.

In many cases seamen do not differ from other users of computers and need introduction of similar measures of «cyber hygiene». A computer equipment on board a ship is frequently assembled on principle of «installed-and-forgotten». For the ship informative computer systems such approach can not be acceptable, in them measures must be foreseen on providing of informative safety and defence. Important, that such conception found understanding among crews and all personnel of vessels, got approval and support of marine public and specialists, how it already will be realized in the coastal computer informative systems.

SOURCES

1. Paul Thomas. Cyber: it's about operational risk management. //Alert! The International Maritime Human Element Bulletin/ Issue №39 September 2015. – London – UK. – p.6.
2. David Patraiko. Cyber security onboard. // Seaways: The International Journal of The Nautical Institute/ September, 2014. - London - UK.: Stephens&George, Merthyr Tydfil, 2011. – p. 9.
3. 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.
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.
5. The Navigator. Cyber Security / The Nautical Institute and Royal Institute of Navigation. - Issue № 12, June 2016. – London – UK. – p.11.
6. Nick Lemon. E-Nav advances. // Seaways: The International Journal of The Nautical Institute/ July, 2015. - London - UK: Stephens&George, Merthyr Tydfil, 2015.- № 7. - p. 10 - 11.
7. Johnson Rod. Cyber Risk. A Joint Hull Committee paper in conjunction with Stephenson Harwood LLP. – September 2015. – 30 p.

УДК 618.518

РЕКОМЕНДАЦІЇ КЛАСИФІКАЦІЙНИХ ТОВАРИСТВ ЩОДО СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПІДХОДУ ДО КІБЕРРИЗИКІВ

Ю. С. Шевцов, к. т. н., доцент

Р. Ю. Харченко, к. т. н., доцент

А. О. Молчанов, курсант

Національний Університет «Одеська морська академія»

Анотація. Згідно з останніми Рекомендаціями з кібербезпеки на борту суден, кіберніциденти призведуть до фізичних наслідків та потенційних інцидентів, пов'язаних з безпекою та/або забрудненням навколошнього середовища. Отже, компаніям необхідно оцінити ризики, що виникають під час використання ІТ-обладнання на борту суден, і встановити відповідні заходи захисту від кіберніцидентів, пов'язаних з будь-яким з них. У цій доповіді розглядаються питання ідентифікації, оцінки, а також встановлення відповідних заходів управління кіберрізиків.

Ключові слова: управління кіберрізиками, кіберрізики, кібербезпека, кіберзлочин, кіберніцидент.

RECOMMENDATIONS OF CLASSIFICATION SOCIETIES FOR THE DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED APPROACH TO CYBER RISKS

Y.S. Shevtsov, Candidate of technical Sciences, Associate Professor

R. U. Harchenko, Candidate of technical Sciences, Associate Professor

A. O. Molchanov, cadet

National University "Odessa Maritime Academy"

Anotation. The latest Guidelines on Cyber Security Onboard Ships that cyber incidents will result in physical effects and potential safety and/or pollution incidents. Therefore, companies need to assess the risks arising from the use of IT equipment onboard ships and establish appropriate safeguards against cyber incidents involving either of these. This article discuss questions identification, assessment and establishment cyber risk management measures.

Key words: cyber risk management, cyber risks, cybersecurity, cybercrime, cyber incident.

Сучасні системи управління безпекою судна, що не можуть існувати без аналізу кіберрізиків, оскільки кіберзлочинці активізували свою діяльність використовуючи кризи, такі як пандемія COVID-19.

У процесі розв'язання експлуатаційних проблем, таких як відмова у фізичному доступі, карантин для суден та обмеження на пересування, судновласники нині активно відкривають для себе віддалений доступ. Впроваджуючи інструменти віддаленої цифрової обробки інформації щодо суден і заохочують береговий персонал працювати віддалено з дому.

Також все частіше використовуються мобільні пристрої для доступу до операційних систем на борту судна та основних бізнес-систем компаній. Незахищенні пристрої можуть привести до втрати даних, порушень конфіденційності та блокування систем з вимогою викупу. Дані - це актив, і для їх захисту потрібен універсальний баланс між конфіденційністю, цілісністю і доступністю.

В епоху повсюдної кібернетичної трансформації, технологічної трансформації, використання хмарних технологій та розширення мережевих можливостей для суден обсяг загроз продовжує зростати. Кіберзлочинці прагнуть атакувати операційні системи та можливості резервного копіювання одночасно найважливішими способами, що призводять до руйнівних кібератак. Кібербезпека залежить не тільки від того, як спроектовані корпоративні та суднові системи та процеси, а й від того, як вони використовуються – від людського чинника.

Злочинці, які намагаються використовувати морську галузь, судна та їх екіпажі, добре організовані та постійно змінюють методи своєї роботи. Це відбиває постійно мінливий характер кіберрисків загалом. Підходи до управління кіберрисками повинні залежати від компанії та судна, але також повинні керуватися вимогами, що містяться у відповідних національних та міжнародних правилах.

Судновласники та оператори, які ще не зробили цього, повинні провести оцінку ризиків і включити заходи щодо усунення кіберрисків у системи управління безпеки своїх судів і навчання екіпажу. Судновласники та оператори також повинні впроваджувати культуру поінформованості про кіберризики на всіх рівнях і у відділах офісу та на борту суден. Результатом має стати гнучкий режим управління кіберрисками, який діє постійно та оцінюється за допомогою ефективних механізмів зворотного зв'язку.

Морська або річкова класифікація суден є неурядовою організацією, яка встановлює та підтримує технічні стандарти для будівництва та експлуатації суден та морських споруд. Класифікаційні товариства засвідчують, що конструкція судна відповідає встановленим стандартам, і проводять регулярні огляди в процесі експлуатації, щоб гарантувати постійну відповідність цим стандартам.



Рисунок 1 – Підхід управління кіберрисками

Більшість класифікаційних товариств (далі «Регістр») та кілька морських консалтингових компаній випустили керівні принципи та рекомендації щодо кібербезпеки на борту суден. Регістр, як визнана організація від імені влади держави прапора, тепер може також проводити аудит, який включає кіберризики. Як консультант Регістр також може запропонувати оцінку ризиків кібербезпеки, поліпшення, тестування на проникнення та підтримку навчання як на борту, так і в офісі.

Рекомендується застосовувати комплексний підхід до кіберрисків для захисту конфіденційності, цілісності та доступності IT-систем за

допомогою заходів, що охоплюють процеси, технології та, найголовніше, людей. Для кіберзлочинців найпростіший і найпоширеніший спосіб отримати доступ - це через недбалих або погано навчених людей.

Згідно з останніми Рекомендаціями з кібербезпеки на борту суден, кіберінциденти призведуть до фізичних наслідків та потенційних інцидентів, пов'язаних з безпекою та/або забрудненням навколошнього середовища. Отже, компаніям необхідно оцінити ризики, що виникають під час використання ІТ-обладнання на борту суден, і встановити відповідні заходи захисту від кіберінцидентів, пов'язаних з будь-яким з них.

Плани та процедури компанії з управління кіберрисками повинні бути узгоджені з чинними вимогами до управління ризиками безпеки, що містяться в Кодексах ISPS (Після подій 11 вересня в США) організація IMO - International Maritime Organization (Міжнародна морська організація), яка прийняла рішення розробити, рекомендувати та впровадити комплекс заходів безпеки щодо морських суден, портових споруд та обладнання по всьому світу. Комплекс цих заходів, що отримали назву Inter-national Ship and Port Facility Code, або скорочено ISPS), включених у політику компанії.

Комітет IMO з безпеки на морі (MSC) ухвалив резолюцію MSC.428 (98) про управління кіберрисками на морі в системах управління безпекою в червні 2017 року. У резолюції йдеться, що затверджена система управління безпекою повинна включати управління кіберрисками відповідно до цілей і вимог кодексу ISM, не пізніше першої щорічної перевірки Документу про відповідність компанії після 1 січня 2021 року.

Грунтуючись на рекомендаціях MSC-FAL.1 / Circ.3, В принципах управління морськими кіберрисками, стверджується, що чинні методи управління ризиками повинні використовуватися для усунення операційних ризиків, що виникають через збільшену залежність від систем, що підтримують кіберпростір. У посібнику викладено такі дії, які можуть бути здійснені для підтримки ефективного управління кіберрисками:

Призначення: визначте ролі відповідальних за керування кіберрисками, та визначте системи, активи, дані, які у разі збою створюють ризики для всієї системи.

Захист: впровадження процесів та заходів з контролю ризиків, а також планування дій у надзвичайних ситуаціях для захисту від кіберінцидентів та забезпечення безперервності судноплавних операцій.

Виявлення: розробка та впровадження процесів та засобів захисту, необхідних для своєчасного виявлення кіберінцидентів.

Реакція: розробка та реалізація заходів та планів щодо забезпечення стійкості та відновлення систем, необхідних для операцій з доставлення або надання послуг, які були зупинені через кіберінцидент.

Відновлення: визначення способів резервного копіювання та відновлення кіберсистем, необхідних для обладнання, що постраждав в результаті кіберінциденту.

Власник документа про відповідність несе повну відповідальність за забезпечення керування кіберрізиками на борту. Якщо судно перебуває під керуванням третьої сторони, менеджеру судна рекомендується домовитися із судновласником про те, хто відповідає за це питання. Обидві сторони повинні приділяти особливу увагу розподілу відповідальності, узгодженю конкретних інструкцій для менеджера та можливій участі у прийнятті рішень про закупівлю, а також бюджетним вимогам.

Крім вимог ISM, така угода повинна враховувати додаткове законодавство, таке як Загальний регламент ЄС із захисту персональних даних (GDPR) або особливі правила кіберпростору в інших прибережних державах. Менеджери та власники повинні розглянути можливість використання цих керівних принципів як основи для відкритого обговорення того, як найкраще реалізувати ефективний режим управління кіберрізиками на борту. Будь-які угоди про відповідальність за управління кіберрізиками мають бути офіційними та у письмовій формі.

Компанії повинні оцінювати та включати процеси фізичної безпеки постачальників послуг та управління кіберрізиками в угодах та контрактах з постачальниками. Так само координація заходів суден у порт - дуже складне завдання, що має як глобальний, і локальний характер. Він включає оновлення від агентів, координацію інформації з усіма постачальниками портів, контроль держави порту, обробку вимог до судів і екіпажів, а також електронний зв'язок між судном, портом і владою на березі. Стандарти якості агентів важливі, тому що, як і всі інші підприємства, агенти також стають жертвами кіберзлочинців.

Висновки: злочини з використанням кіберпростору, такі як шахрайство з використанням електронних засобів зв'язку та неправдиві призначення судів, і кіберзагрози, програми-здирники та зломи, вимагають спільних кіберстратегій та кібер-розширеніх відносин між власниками та агентами для зниження цих ризиків.

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 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.

УДК 681.518

КІБЕРБЕЗПЕКА ДЛЯ ВІЙСЬКОГО-МОРСЬКИХ СИЛ УКРАЇНИ

С.А. Михайлів, д.т.н., професор

В.А. Прядко, курсант IBMC

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Сучасні технології можуть збільшувати вразливість військово-морських сил та морського транспорту, особливо якщо кораблі мають доступ у незахищені інформаційні мережі та мають вільний доступ до Інтернету на борту. Це вимагає розуміння всіх бортових комп'ютерних систем і того, як кіберінцидент може поставити під загрозу безпеку, операції та військових службовців.

Ключові слова: IT-технології, інтернет, кібербезпека, кібератаки, збір даних, інформаційна безпека

CYBERSECURITY FOR UKRAINE NAVY

S.A. Mikhailov, Doctor of technical Sciences, Professor

V.A. Pryadko, cadet

National University «Odessa Maritime Academy»

Annotation: The modern technology can make the Ukraine NAVY more different, especially if the vessel is located near unprotected margins and can have free access to the Internet on board. Achievement of intelligence of all on-board computer systems, and in addition, as a cyber incident can pose a threat to security, operations and business.

Keywords: IT, Internet, cybersecurity, cyber attacks, data collection, cybersecurity

Протягом останніх років у світі триває інформаційна революція, з кожним днем вона вдосконалюється все більше і більше. Іноді вона рухається настільки швидко, що її все важче наздогнати. З кожним кроком інформаційної революції люди повинні бути готові до різноманітних наслідків цього прогресу, а саме того що чим більше інформації, тим більше людей хочуть нею заволодіти. Таких людей зазвичай називають хакерами або крекерами. За декілька хвилин воні можуть отримати доступ до певної бази даних і отримати те, що їм необхідно. Тому люди намагаються захистити і посилити свою базу даних в мережі Інтернет, найбільш ефективно. Це питання дуже актуальне для ВМС ЗС України, а саме для офіцерів і військовослужбовців які будуть зазначенюю певними документами інформацією, для якої буде потрібен інформаційний захист.

На сьогоднішній момент у світі існує багато різноманітних способів захистити певні інформаційні ресурси:

- антивіруси
- Хмарні сервіси обслуговування даних користувача
- Локальні переносні носії зберігання даних
- DDR or SSD накопичувачі
- Операційні системи сімейства Windows or Linux
- Сервера з посиленим захистом зберігання інформації

Всі ці способи є цілком актуальними, але їх надійність відносна. Щось має свою позитивні сторони, а щось і негативне. Для ВМС ЗС України на даний момент для найбільш ефективного захисту даних може слугувати такий термін як Real Time. Він набув популярності не так давно, основна його перевага в тому, що він сканує і аналізує певну кількість заданої йому інформації кожні секунди, що дозволяє контролювати ситуацію протягом усього часу. Також для найбільш ефективного захисту інформацію науковці намагаються роботизувати процес обробки і зберігання даних, бо здібності роботів для розрахунків і аналізування даних набагато більша ніж у звичайної людини. Тому на цей фактор треба звертати увагу в першу чергу. Але, як ми всі знаємо, для того що оперувати певною кількістю інформації необхідна операційна система, тому наведемо приклад ОС Linux, яка адаптована під всі вище перераховані процеси. За допомогою ОС сімейства Linux можна заощадити кошти та при цьому всьому поширити кругозор знань.

На даний момент Інститут Військово-морських сил (ІВМС) веде підготовку спеціалістів за наступними програмами в рамках ступеня вищої освіти “бакалавр”:

1. Пошуково-рятувальні та водолазно-аварійні роботи на морі.
2. Корабельна зброя та засоби навігації.
3. Корабельні енергетичні установки.
4. Корабельне радіотехнічне озброєння та засоби зв’язку.

Інститут Військово-морських сил також веде підготовку за наступними програмами в рамках ступеня вищої освіти “магістр”:

1. Корабельне озброєння;
2. Морський транспорт Військово-Морських Сил.

Серед цих спеціальностей кожен майбутній офіцер повинен оперувати вище зазначеною кількістю інформації для успішного виконання завдання і покладених на військовослужбовця обов’язків.

Єдиним недоліком усього цього вищеперерахованого є те, що для оволодіння даною кількістю інформації необхідні грошові витрати та найголовніше це час, який буде витрачений на навчання військовослужбовців інформаційної грамотності. Але в кінці ВМС ЗС України і взагалі ЗС України зможуть отримати набагато більше ніж було вкладено, бо інформаційно грамотна людина - це перший крок для майбутнього прогресу.

ЛІТЕРАТУРА

1. <https://sites.google.com/site/informacijnabezpeka15/-ponatta-informacijnoe-bezpeki/viznacenna-informacijnoe-bezpeki>
2. <http://sum.in.ua/>
3. Wikipedia. org
4. <https://context.reverso.net>
5. <https://ain.ua/special/robots-vs-humans/>
6. <https://habr.com/ru/amp/post/488064>

УДК 681.518

MEASURES FOR PROTECTION AND DETECTION OF CYBER SECURITY THREATS

S. Mikhailov, Doctor of technical Sciences, Professor

B. Rusak, master

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstracts: Developing and implementation of protection and detection measures reduce likelihood of vulnerabilities being exploited and reduce their impact. Cyber risk protection measures may be technical and focused on ensuring that onboard systems are designed and configured to be resilient to cyberattacks. Protection measures may also be procedural and should be covered by company policies, safety management procedures, security procedures and access controls.

Key words: cybersecurity, threats, protection, detection, security, technology, malware, network, data, access control.

ЗАХОДИ ЗАХИСТУ ТА ВИЯВЛЕННЯ ЗАГРОЗ КІБЕРБЕЗПЕКИ

С. Михайлов, д.т.н., професор

Б. Русак, магістр

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Розробка та впровадження заходів захисту та виявлення загроз зменшують ймовірність використання уразливостей та зменшують їх вплив. Заходи захисту від кіберзахисників можуть бути технічними та зосереджені на тому, щоб бортові системи були розроблені та налаштовані так, щоб вони були стійкими до кібератак. Заходи захисту також можуть бути процедурними і повинні охоплюватися політикою компанії, процедурами управління безпекою, процедурами безпеки та контролем доступу.

Ключові слова: кібербезпека, загрози, захист, виявлення, безпека, технологія, шкідливе програмне забезпечення, мережа, дані, контроль доступу.

Introduction

All vessel equipped with electronic and integrated software. This software is connected to many parties, such as shore office and suppliers. This include the data exchange between vessel and shore office. As this include many parties, it increases cyber risk and high potential of cyber-attack.

It is important to protect critical systems and data with multiple layers of protection measures, which take into account the role of personnel, procedures and technology. Cyber risk protection measures may be technical and focused on ensuring that onboard systems are designed and configured to be resilient to cyberattacks. Protection measures may also be procedural and should be covered by company policies, safety management procedures, security procedures and access controls.

Technical measures

Network control. Information technology (IT) and operational technology (OT) onboard ships are being networked together – and more frequently connected to the internet. This brings the greater risk of unauthorized access or malicious attacks to ships' systems and networks.

It should be a requirement that routers are secured against attacks and unused ports should be closed to prevent unauthorized access to systems or data.

Detection, blocking & alerts

- A baseline of network operations and expected data flows for users and systems should be established and managed so that cyber incident alert thresholds can be established.

- Ensure accountability
- Ensure that dedicated onboard personnel can understand the alerts and their implications

Physical security is a central aspect of cyber security onboard. Security and safety critical equipment should be protected from unauthorized access.

Network devices

It should be determined which systems should be attached to controlled or uncontrolled networks.

Controlled networks are designed to prevent any security risks from connected devices by use of firewalls, security gateways, routers and switches.

Uncontrolled networks may pose risks due to lack of data traffic control and they should be isolated from controlled networks, as direct internet connection makes them highly prone to infiltration by malware.

Measures for safe network devices are following:

- Onboard networks should be partitioned by firewalls to create safe zones.
- Reduce number of communications links and devices in a zone
- Confidential and safety critical systems should be in the most protected zone.

Satellite & radio communication

Ship's navigation. Measures to prevent illegitimate connections gaining access to the onboard system should be taken into account.

Virtual Private Network (VPN). When using VPN, the data traffic should be encrypted to an acceptable international standard.

Firewall should be deployed.

Management interface. Security control software should be used.

Wireless access control should be limited to appropriate authorized devices and secured with strong encryption key which should be changed regularly.

Configuration for hardware / software.

Administrator profiles should be used/accessed only by authorized persons.

User profiles should have limited rights.

Malware detection

Onboard PCs should be protected to the same level as office computers ashore. Scanning software for detection and addressing the presence of malware should be used. Anti-virus and anti-malware software should be installed, maintained and updated on all personal work-related computers. This will reduce risk of these computers acting as attack vectors towards servers and other computers on the ship's network.

Email & web browser protection is used to:

- Prevent email being used as a method of obtaining sensitive information
- Protect personnel from potential social engineering

- Prevent users from executing malicious scripts
- Ensure that information is appropriately protected to ensure confidentiality and integrity of data

Data recovery capability

Essential information and software adequate backup facilities should be available to ensure it can be recovered following a cyber incident.

Application software security

Critical safety and security updates should be provided to onboard systems and should be applied correctly and in timely manner to ensure that any flaws in a system are addressed before they are exploited by a cyberattack.

Procedural measures

Training and awareness for shipboard and shoreside personnel which can include: proper and safe internet usage, social media, cloud-based file storage, cyber threats related to emails, how to behave in safe manner.

Access for visitors

Unauthorized access to sensitive OT network computers should be prohibited through clearly marked physical barriers. If access to a network is allowed for visitors it should be restricted in terms of user privileges.

Software maintenance

Relevant hardware and software installations onboard should be updated to maintain a sufficient security level. Procedures for timely updating of software should be taken into account.

Remote access

Procedures should be established for control over remote access to onboard IT and OT systems:

- clear guidelines regarding the access
- close co-ordination with the senior ship personal
- should be recorder for review
- should be clearly defined, monitored and reviewed periodically

Physical security

Transferring data from uncontrolled systems to controlled systems represents a major risk of introducing malware. A clear policy for the use of removable media devices is essential: to require checking of removable media for malware and/or validating legitimate software by digital signatures and watermarks.

Equipment disposal

Procedure should be in place to ensure that the data held in obsolete equipment is properly destroyed prior disposing of the equipment, ensuring that vital information cannot be retrieved.

Contingency plans onboard are important so that ships have access to technical support in case of cyber attacks.

Cyber risk protection measures may be either technical or procedural in nature, with technical controls implemented to enforce procedural controls; a combination approach using appropriate measures provides the most effective level of protection.

Conclusion

It is important to protect critical systems and data with multiple layers of protection measures, which take into account the role of personnel, procedures and technology to increase the probability that a cyber incident is detected, increase the effort and resources required to protect information, data or the availability of IT and appropriate procedures.

Company policies and procedures should help ensure that cyber security is considered within the overall approach to safety and security risk management. The complexity and potential persistence of cyber threats means that a “defence in depth” approach should be considered. Equipment and data protected by layers of protection measures are more resilient to cyber attacks.

SOURCES

1. Guidelines On Cyber Security Onboard Ships, Version 3 / Produced and supported by BIMCO, CLIA, ICS, INTERCARGO, INTERMANAGER, INTERTANKO, IUMI, OCIMF and WORLD SHIPPING COUNCIL / p. 24-33.
2. 1045 Cyber Security onboard course / Developed by SQLearn / Part 4A. Measures for Protection and Detection, 4B. Measures for Protection and Detection: Procedural. / <https://dorian.sqlearn.com/course/view.php?id=23>
3. Cyber Security Awareness Program RK 07 Nov 17 / Wilhelmsen Ship Management / Prepared 07 November 2017 / p. 02.

УДК 681.518

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕПОДГОТОВКИ ДИПЛОМИРОВАННЫХ СУДОВОДИТЕЛЕЙ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

С.А. Михайлов, д.т.н., профессор

К.Г. Шевченко, магистр

Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация: Целью работы является повышение безопасности труда моряков, окружающей среды, груза и судов. Рекомендации направлены на то, чтобы помочь в разработке и оценке киберрисков в соответствии с правилами и практикой на борту судна с упором на рабочие процессы, оборудование, реагирование на инциденты и восстановление управления. Современное судоходство все больше полагается на цифровые решения для выполнения повседневных задач.

Ключевые слова: переподготовка, кибербезопасность, безопасность, угрозы.

FEATURES OF RETRAINING OF CERTIFIED NAVIGATORS IN THE FIELD OF INFORMATION SECURITY

S. Mikhaylov, Doctor of technical Sciences, Professor

K. Shevchenko, master

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The purpose of these guidelines is to improve the safety and security of seafarers, the environment, the cargo, and the ships. The guidelines aim to assist in the development of a proper cyber risk management strategy in accordance with relevant regulations and best practises on board a ship with a

focus on work processes, equipment, training, incident response and recovery management. Modern shipping is relying increasingly on digital solutions for the completion of everyday tasks.

Key-words: retraining, cybersecurity, security, threats.

Введение. В 2017 году Международная морская организация (ИМО) приняла резолюцию MSC.428 (98) об управлении кибер-рисками в морской отрасли в рамках систем управления безопасностью. В Резолюции указывается, что утвержденная система управления безопасностью должна учитывать управление кибер-рисками в соответствии с целями и функциональными требованиями Международного кодекса по управлению безопасностью (МКУБ). Он также призывает администрации обеспечить надлежащее устранение кибер-рисков в системах управления безопасностью не позднее, чем первая ежегодная проверка Документа о соответствии компании после 1 января 2021 года.

В результате освоения программы слушатель **должен знать:**

- основные термины, определения и сокращения;
- назначение и состав технической документации, документации на борту судна;
- требования по выполнению оценки рисков;
- риски, связанные с особенностями и условиями эксплуатации различных типов судов;
- стандарты по оценке рисков;
- технические требования по обеспечению кибербезопасности на судах;
- механизм выполнения испытаний и проверок.

должен уметь:

- применять полученные знания в практической деятельности по управлению кибер-рисками на судах.

Объем курса

Тренинг по морской кибербезопасности охватывает следующие темы:

- Выявление аварийных событий и факторов, способствующих кибератакам.
- Проведение квалифицированного анализа основных управленческих и организационных факторов.
- Изучение важности и сущности кибербезопасности как части комплексного подхода на протяжении всего жизненного цикла судна.
- Обсуждение результатов с точки зрения вышеизложенного и модели расследования.
- Составление карты возможной атаки и определение конкретных системных активов, которые могут иметь уязвимости и создают угрозы для киберинцидентов.
- Определение основных аспектов, которые способствуют снижению киберриска, и предложение основных путей для устранения рисков.

- Оценка и категоризация каждого идентифицированного риска с использованием определенных категорий и параметров риска и определения его относительного приоритета.
- Контроль и анализ эффективности и устойчивости барьеров, уделяя особое внимание постоянному их совершенствованию.
- Обязательное регулярное обновление исправлений от всех поставщиков и тех, у кого есть доступ.
- Повышение осведомленности и понимания угроз и проблем кибербезопасности, с которыми сталкивается морская отрасль. Снижение рисков и контрмеры.
- Обмен информацией о кибератаках с партнерами, которые отслеживают атаки и борются с ними.

Кроме того, обучение по морской кибербезопасности включает в себя следующее:

- Изучить потенциальное воздействие кибератак на борту судна, а также их влияние на береговые системы.
- Изучить различные субъекты угроз и определить их мотивы, чтобы составить карту ландшафта атак и распознать источник атак.

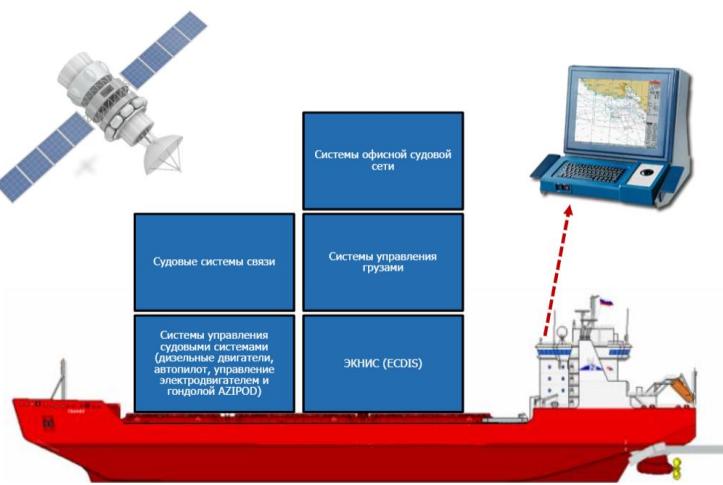
Поскольку технологии продолжают развиваться, информационные технологии (ИТ) и операционные технологии (ОТ) на борту судов объединяются в сеть вместе - и все чаще подключаются к Интернету.

Управление киберрискаами должно быть неотъемлемой частью культуры безопасности и защищенности, способствующей безопасной и эффективной эксплуатации судна, и рассматриваться на различных уровнях компаний, включая высшее руководство на берегу и персонал на борту. Ожидается, что в контексте эксплуатации судна киберинциденты приведут к физическим последствиям и потенциальным инцидентам, связанным с безопасностью

и /или загрязнением. Это означает, что компании необходимо оценить риски, связанные с использованием ИТ и ОТ на борту судов, и установить соответствующие меры защиты от киберинцидентов.

Планы и процедуры компаний для Управление киберрискаами должны быть включены в существующие требования к управлению рисками безопасности, содержащимися в МКУБ и Кодексе ОСПС.

Целью систем управления безопасностью является обеспечение безопасной рабочей среды путем установления соответствующих правил и процедур, основанных на оценке всех выявленных рисков для судна, бортового персонала и окружающей среды. Система управления безопасностью должна включать инструкции и процедуры для обеспечения безопасной эксплуатации судна и защиты окружающей среды в соответствии с соответствующими международными стандартами и требованиями государства флага. Эти инструкции и процедуры должны учитывать риски, возникающие в результате использования ИТ и ОТ на борту, с учетом применимых кодексов, руководств и



рекомендованих стандартов. Компания должна учитывать необходимость конкретной оценки рисков, исходя из того, является ли конкретное судно уникальным в их флоте. Факторы, которые следует учитывать, включают, но не ограничивается степенью использования ИТ и ОТ на борту, сложностью системной интеграции и характером операций.

В соответствии с главой 8 Кодекса ОСПС судно обязано провести оценку безопасности, которая включает идентификацию и оценку основных судовых операций и связанных с ними потенциальных возможностей угрозы. В соответствии с рекомендациями параграфа 8.3.5 части В Кодекса ОСПС оценка должна касаться радио- и телекоммуникационных систем, включая компьютерные системы и сети.

Следовательно план безопасности судна может потребовать включения соответствующих мер для защиты как оборудования, так и коммуникаций. Благодаря быстрому внедрению сложных и оцифрованных бортовых систем ОТ, следует рассмотреть возможность включения этих процедур в систему управления безопасностью, чтобы обеспечить как можно более актуальное состояние процедур охраны судна.

Заключение: В современном судоходстве, каждая компания должна подготавливать дипломированных-судоводителей в области информационной безопасности. Суда все чаще используют системы, основанные на цифровом представлении данных, интеграции и автоматизации, все эти компоненты требуют управления киберрисками на борту судна.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Курилов Ф. М. Моделирование систем защиты информации. Приложение теории графов [Текст] // Технические науки: теория и практика: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Чита, апрель 2016 г.). — Чита: Издательство Молодой ученый, 2016. — С. 6-9. — URL <https://moluch.ru/conf/tech/archive/165/9766/>.
2. Ганиев А. А., Касимова Г. И. Анализ моделей и алгоритмов обнаружения компьютерных атак на основе положений политики безопасности // Молодой ученый. — 2016. — №9. — С. 54-57. — URL <https://moluch.ru/archive/113/29266/>.
3. ABS CyberSafety™, 27 July 2016 SOCP Webinar, John Jorgensen Director, Cyber and Software American Bureau of Shipping
4. Training course on maritime cyber security.
5. <https://www.ics-shipping.org/wp-content/uploads/2021/02/2021-Cyber-Security-Guidelines.pdf>

ПРОБЛЕМИ ЗРОСТАННЯ КІБЕРАТАК НА МОРСЬКУ ІНДУСТРІЮ

Ю. С. Шевцов, к. т. н., доцент,
М. В. Допіра, курсант,
 Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Питання інформаційної безпеки на морі продовжує залишатися дискусійним, оскільки в морській сфері використовуються новітні технології для підвищення ефективності перевезення вантажів. Така ситуація, пов'язана з технологічним прогресом морської галузі і відповідним підвищеннем її інформаційної вразливості, призводить до збільшення ймовірності кібератак. У результаті з'являються різноманітні системи, спрямовані на боротьбу з відповідними загрозами.

Ключові слова: кібербезпека, реагування, захист, роль, процес, кібератака, безпека

PROBLEMS OF GROWING CYBERATTACKS ON THE MARITIME INDUSTRY

Y.S. Shevtsov, Candidate of technical Sciences, Associate Professor,
M. V. Dopira, cadet
 National University “Odessa Maritime Academy”

Annotation: The issue of information security at sea continues to be debatable, since the maritime aspect uses the latest technologies for greater efficiency of cargo transportation. The current situation associated with the increase in the technological progress of the maritime industry leads to an increase in the likelihood of cyber attacks, due to the growth of its information vulnerability. As a result, various systems are emerging aimed at combating the relevant threats.

Key-words: cybersecurity, response, protection, role, process, cyber attack, security.

Морські перевезення відіграють ключову роль у розвитку світової торгівлі, а також в економічній, політичній та культурній сферах. Морські порти є невід'ємною ланкою у цьому процесі, і в умовах пандемії кібербезпека морських перевезень стає важливим фактором стабільності та надійності інвестицій у даній сфері. Враховуючи те, що об'єми торгівлі між океанами досягли 12 млрд тонн, безпека та ефективність судноплавства і морської торгівлі набувають величезного значення.



Рисунок 1

В епоху інформатизації суспільства проблема інформаційної безпеки стає все більш важливою, оскільки морський сектор використовує новітні технології для підвищення ефективності та надійності роботи. Слід зауважити, що з набуттям процесами в морській індустрії більшої технологічної сучасності, створюються умови та можливості для кібератак, які являють собою велику загрозу безпеці морських перевезень вантажів. Згідно з офіційними даними, кількість кібератак у морській сфері у 2020 році перевищило більш, ніж у 10 разів, показники 2017 року (див. мал.2). Ці цифри підтверджують те, що світова спільнота має приділяти більше уваги проблемі кібербезпеки на морі.

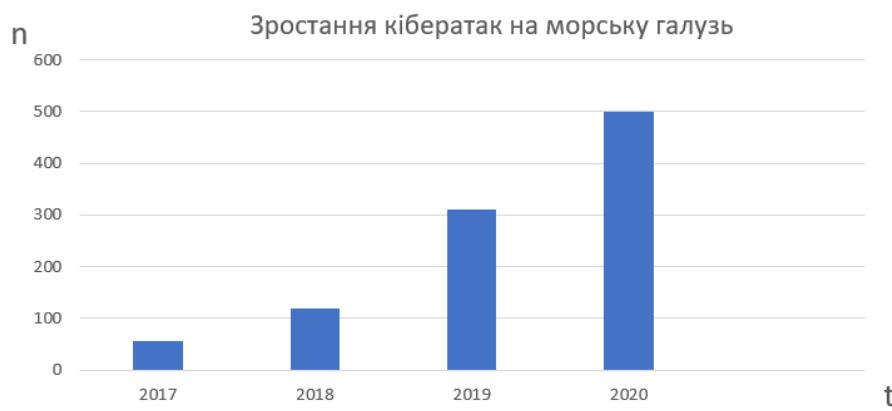


Рисунок 2

n - кількість кібератак; t – час (період).

Прикладом підсилення боротьби з кібератаками став 2018 рік, коли у Сінгапурі був відкритий центр кібербезпеки для реагування на потенційні кіберзагрози для морської інфраструктури.

Кіберпростір все частіше використовується зловмисниками для досягнення своїх цілей. Морські держави та судноплавні компанії змушені приділяти все більшу увагу захисту свого кіберпростору, а також технологіям, які створюють можливість для реалізації кіберзлочинів та методів боротьби з ними. Важливою метою такої боротьби є мінімізація ризиків у сфері морської кібербезпеки, оскільки повністю усунути їх неможливо. Основне завдання полягає в тому, щоб забезпечити комплексну систему заходів щодо зміцнення захисної інфраструктури судна та організувати системний підхід захисту даних берегового сегменту. Для цього необхідно використовувати весь спектр апаратних та програмних засобів виявлення спроб кібератак, і навіть якщо спроба буде реалізована, мінімізувати збитки.

Міжнародна морська організація (IMO) починаючи з 1993 року створила низку документів, що регламентують питання кібербезпеки. А у 2002 році IMO розробила Міжнародний кодекс охорони суден і портів (ISPS), у якому найважливіша роль відводиться питанням кібербезпеки. Також, у 2017 році IMO прийняла керівні принципи, які безпосередньо стосуються управління кіберрисиками на морі, що включають процеси виявлення, захисту, відновлення та реагування на кіберзагрози.

ЛІТЕРАТУРА

1. Структура захисту інформації в міжнародній географіческій організації / Михайлів С.А., Шевцов Ю.С // Інформаційні управлюючі 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 / Михайлів С.А., Шевцов Ю.С, Харченко Р.Ю. // Інформаційні управлюючі системи та технології: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції / відп. ред. В.В. Вичужанін ; Одес:изд-во “Екологія”, 2020 нац. політех. ун-т.
3. <https://videotel.com/how-big-a-problem-is-maritime-cyber-security/>

УДК 681.518

БАГАТОРАНГОВА СТРАТЕГІЯ ЗАХИСТУ СУДНА ВІД КІБЕРАТАКА**Ю.С. Шевцов**, к.т.н., доцент**Я.І. Чуйко**, курсант

Національний Університет «Одеська морська академія»

Анотація: Безпека судна – це вже не лише про безпечність матеріальної частини судна, а також про захист IT систем, які останнім часом стали не тільки програмами для прокладання курс, а цілою системою управління судном та його обладнанням.

Ключові слова: IT, кібербезпека, кібератаки, захист, контроль, безпека .

MULTI-RANK STRATEGY FOR PROTECTING A SHIP FROM CYBERATTACKS**Y.S. Shevtsov**, Candidate of technical Sciences, Associate Professor**Y.I. Chuiko**, cadet

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: Ship security is no longer just about the security of the material part of the ship, but also about the protection of IT systems, which have recently become not only programs for set the course, but the entire management system of the ship and its equipment.

Key-words: Cybersecurity, cyber attacks, protection, control, security.

Забезпечення кібербезпеки судна потребує інноваційних рішень, як у проектуванні систем безпеки на борту судна, так і у процесах управління кібербезпекою з берега. У процесі забезпечення безпеки мореплавання кібербезпека займає найважливішу роль. Для створення ефективної системи безпеки кіберпростору в морському секторі необхідно вирішити низку завдань. Першочерговим завданням є забезпечення доступності систем з погляду технології експлуатації, а також конфіденційності систем інформаційних технологій (ІТ), що підтримують роботу судна ззовні. Багаторанговий підхід контролю кібербезпеки використовує стратегію, за якої кожен ранг (далі «рівень») взаємодіє з іншими й призначений не тільки для виконання своїх функцій, але і для підтримки працездатності всієї системи в цілому. Завданням такої взаємодії стає гнучка сис-

тема реалізації: фізичних, технічних та організаційних рішень у галузі кібербезпеки.



Багаторангова система включає в себе спільне використання всіх способів захисту від кібератак, а саме: апаратні засоби та програмне забезпечення на судні, засоби контролю процесів обміну інформацією, організаційні заходи контролю екіпажу та пасажирів, внутрішній аудит апаратних засобів та програмного забезпечення з метою контролю актуальності використовуваних технологій.

Апаратні засоби, програмне забезпечення та засоби контролю.

Ці два рівні кібербезпеки – позиціонуються як системи контролю з використанням апаратних засобів, за допомогою програмного забезпечення та засобу контролю коректної роботи обладнання. Конфіденційність та цілісність процесів обміну даними є невід'ємними складовими роботи всієї системи. Вирішення питань авторизації та аутентифікації, шифрування та кодування даних та ін. дозволять уbezпечити судновласників від несанкціонованого доступу до важливих суднових систем. Засобами контролю повинні відстежуватися всі дії операторів та системні процеси, із занесенням даних до відповідних журналів подій.



Електронні системи судна поділені на три групи залежно від їх функцій та рівня необхідної безпеки. Системи першої групи, такі як системне програмне забезпечення, не мають прямого зв'язку з кібербезпекою судна, безпекою екі-

пажу або навколошнього середовища. Відмова пристроїв другої групи, таких як датчики сигналізації руху або засоби керування вантажних систем, може зрештою призвести до небезпечних ситуацій, некоректна робота систем третьої групи становлять безпосередню загрозу безпеці судна, життю екіпажу та навколошньому середовищу. Це системи включення рухових установок, системи управління, суднові навігаційно-інформаційні системи. Системи, що вимагають контролю доступу, авторизації та аутентифікації, включаючи життєве важливі системи на судні, можуть наражатись на загрозу з боку користувачів, які порушують конфіденційність. Виходячи з цього, потрібна продумана політика доступу екіпажу, багаторівневої аутентифікації для поділу прав доступу.

Організаційні заходи контролю

Рівень організаційних заходів забезпечується за допомогою керівних принципів системи управління кібербезпекою судна. Оператор судна та компанія з управління судном, беруть на себе більшу частину відповідальності за технічний стан системи кібербезпеки.

Метою забезпечення кібербезпеки судна є безпека робочого середовища, оцінка кіберризиків для судна, екіпажу та навколошнього середовища, а також підвищення кваліфікації персоналу щодо проблем кібербезпеки. Особи відповідальні за управління кібербезпекою компанії повинні мати максимальні рівні доступу та регламентувати роботу всіх відділів щодо питань кібербезпеки.

Внутрішній аудит апаратних засобів та програмного забезпечення

Особи відповідальні за контроль закупівель апаратних засобів та програмного забезпечення формують четвертий ешелон багаторангової системи захисту судна від кібератак. Контрольовані ними постачання суднового обладнання повинні відповідати сучасним вимогам до апаратних засобів. А програмне забезпечення, що закуповується, повинно мати ліцензійні сертифікати й бути адаптоване до вимог рівня кібербезпеки судновласної компанії, рекомендованими зовнішніми аудиторськими перевірками. Базові принципи безпеки програмного забезпечення включають мінімальні ризики щодо кібератак при максимальній простоті підтримки працездатності системи.

Висновки. Багаторанговий підхід до реалізації захисту судна від кібератак є універсальним, оскільки охоплює всі аспекти безпеки та реалізує універсальну систему боротьби зі словмисниками. Таке рішення визначає захист на кожному рівні окремо і завдяки вертикальному контролю стабілізує роботу всієї системи загалом.

ЛІТЕРАТУРА

1 Міжнародні вимоги американського бюро судноплавства до стандартів кібербезпеки морських автоматизованих систем / Михайлів 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.

2. <https://www.mitags.org/guide-ship-cybersecurity/>
3. <https://www.ship-technology.com/features/cyber-attacks-how-hackers-are-targeting-seafarers/>

Секція 9. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА ПРИСТРОЇВ В ЕЛЕКТРО - ТА РАДІОТЕХНІЦІ

УДК 621.33, 621.316.71

МОДЕЛЮВАННЯ КАСКАДНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ З ВЕКТОРНИМ КЕРУВАННЯМ

I. Захаров¹, студент

В. В. Бушер¹, д.т.н., професор

Ду Синь², аспірант

Цзян Хайлун², студент

¹Національний університет «Одеська морська академія»

²Державний університет «Одеська політехніка»

Анотація. В роботі проаналізовано типову модель електроприводу з векторним керуванням ac3 в Matlab/SimPowerSystem та знайдено сигнали керування, які можуть бути модифіковані для використання в каскадних багаторівневих перетворювачах частоти. Обробка цих сигналів дозволяє отримати амплітуду та кут повороту вектору напруги, який необхідно передати в систему керування силовими ключами 4-квадрантних інверторів в фазах багаторівневого перетворювача частоти. Це дозволяє поєднати всі можливості векторного керування і методи корекції аварійних режимів – балансування лінійної напруги, в тому числі з додаванням 3-ї гармоніки, балансування базових векторів. В роботі надано математичне обґрунтування, графіки та моделі, що пояснюють принципи реалізації векторного керування асинхронним електроприводом з каскадними перетворювачами частоти.

Ключові слова: MATLAB Simulink SimPowerSystems, симуляція аварії, високовольтний перетворювач частоти, оптимальний коефіцієнт використання потужності.

SIMULATION OF CASCADE FREQUENCY CONVERTERS WITH FIELD ORIENTED CONTROL

I. Zakharov¹, cadet

V.V. Busher¹, ScD, Professor

Du Xin², gr. student

Jiang Hailong², student

¹National University “Odessa Maritime Academy”

²Odessa Polytechnic State University

Abstract. The paper analyzes a typical model of an electric drive with field oriented control ac3 in Matlab / SimPowerSystem and finds control signals that can be modified for use in cascade multilevel frequency converters. The processing of these signals allows to obtain the amplitude and angle of rotation of the voltage vector, which must be transmitted to the control system of the power switches of 4-quadrant inverters in the phases of the multilevel frequency converter. This allows you to combine all the features of field oriented control and methods of correction of emergency modes - balancing the line voltage, including the method of injection of the 3rd harmonic, balancing the base vectors. The paper presents a mathematical substantiation, graphs and models that explain the principles of implementation of field oriented control to an asynchronous electric drive with cascade frequency converters..

Key-words: MATLAB Simulink SimPowerSystems, high voltage cascaded frequency converter, third harmonic, field oriented control.

Високовольтні перетворювачі частоти стають все більш поширеними в різних областях техніки, де необхідні потужні електроприводи. Поряд з загальними позитивними якостями – плавне і економічне регулювання швидкості електричних машин змінного струму – їх впровадження забезпечує багатократне зниження витрати електротехнічних матеріалів, перш за все міді, зменшення маси електроприводу і кабелів, що у сукупності забезпечує незаперечні переваги при проектуванні сучасних електромеханічних систем, до яких відносяться і транспортні системи, у тому числі високошвидкісні поїзда та судна. Ще одним з найважливіших завдань при проектуванні сучасного судна є забезпечення високої якості електроенергії на борту. І серед засобів подачі на електропривод максимально наближеної до синусоїdalnoї напруги є застосування багаторівневих каскадних перетворювачів частоти [1, 2]. Але в більшості сучасних високовольтних перетворювачах використовують закони скалярного керування. Це пов’язано як з тим, що більшість потужних механізмів не потребують надшвидкого регулювання, так і зі складністю алгоритмів векторного керування, які необхідно додати до вже достатньо складних алгоритмів керування багаторівневими перетворювачами.

Мета роботи полягає у модернізації існуючої моделі асинхронного електроприводу з векторним керуванням зі стандартним трифазним IGBT-мостом так, щоб при збереженні основних властивостей електроприводу з’явилась можливість замінити силову частину моделлю каскадного багаторівневого перетворювача.

Необхідність такої заміни полягає ще і в тому, що, на відміну від стандартних перетворювачів, в багаторівневих каскадних ПЧ існує можливість корекції алгоритмів керування силовими ключами для компенсації аварії одного або декількох каскадів. Це неможливо врахувати в базовій моделі електроприводу ac3 або ac4.

При аналізі моделі ac3 знайдено сигнали *gate_timing*, які схожі на бажану

форму фазної напруги за умови штатної роботи силових ключів. Для модифікації моделі необхідно сформувати сигнал амплітуди і кута повороту вектору напруги статора, які можна буде передати в систему керування каскадами багаторівневого перетворювача як в штатному, так і в аварійному режимах, наприклад, за методом балансування лінійної напруги [3–5].

Розраховані в системі векторного керування сигнали *gate_timing* відповідно до методу просторово-векторної модуляції, крім 1-ї, мають ще нескінчений ряд вищих га-

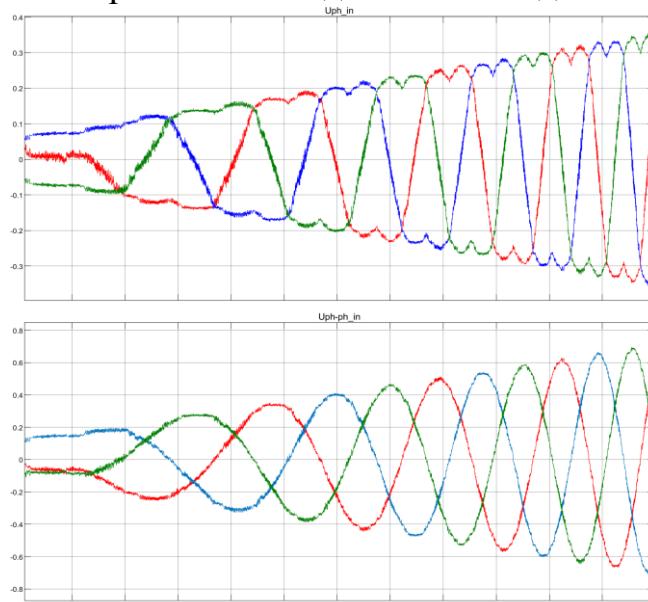


Рисунок 1 – Графіки сигналів *gate_timing* (зверху) та відповідної системи лінійних напруг

рмонік, кратних 3. Це не дозволяє відновити необхідні величини.

Для позбавлення від гармонік, кратних 3, достатньо розрахувати лінійні напруги (рис. 1).

Видно, що «верхівки» сигналів лінійної напруги вже «очищені» від вищих гармонік. Це надає змогу відновити амплітуду та кут повороту вектору напруги.

Використаємо для цього наступні залежності. Так як невідомими є дві величини, то достатньо двох рівнянь для кожного моменту часу:

$$\begin{cases} U_{AB} = U \sin(\varphi) \\ U_{BC} = U \sin\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U = \frac{U_{AB}}{\sin(\varphi)} \\ \frac{U_{BC}}{U_{AB}} = \frac{\sin\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right)}{\sin(\varphi)} = \frac{-\frac{1}{2}\sin(\varphi) - \frac{\sqrt{3}}{2}\cos(\varphi)}{\sin(\varphi)} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} U = \frac{U_{AB}}{\sin(\varphi)} \\ \frac{U_{BC}}{U_{AB}} = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \operatorname{ctg}(\varphi) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \varphi = -a \operatorname{ctg}\left(\frac{2}{\sqrt{3}}\left(\frac{U_{BC}}{U_{AB}} + \frac{1}{2}\right)\right) \\ U = \frac{U_{AB}}{\sin(\varphi)} \end{cases} \quad (11)$$

Але в програмному забезпеченні Matlab/Simulink функція арккотангенсу відсутня в базовій бібліотеці. Щоб не застосовувати тригонометричні функції перетворення, напишемо рівняння в іншому вигляді.

$$\begin{cases} U_{AB} = U \sin(\varphi) \\ U_{BC} = U \sin\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U = \frac{U_{AB}}{\sin(\varphi)} \\ \frac{U_{BC}}{U_{AB}} = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2 \operatorname{tg}(\varphi)} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U = \frac{U_{AB}}{\sin(\varphi)} \\ \operatorname{tg}(\varphi) = -\frac{\sqrt{3}}{2\left(\frac{U_{BC}}{U_{AB}} + \frac{1}{2}\right)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \varphi = a \operatorname{tg}\left(\frac{-\sqrt{3}}{2\left(\frac{U_{BC}}{U_{AB}} + \frac{1}{2}\right)}\right) \\ U = \frac{U_{AB}}{\sin(\varphi)} \end{cases} \quad (12)$$

Отриманий кут повороту змінюється у діапазоні від $-\pi / 2$ до $+\pi / 2$. Відповідно, півперіоду відновлене значення напруги позитивне, а півперіоду – негативне. Саме це дозволяє скоригувати як значення кута, так і напруги. При негативному значенні напруги до кута додається π , що забезпечує зміну кута від $-\pi / 2$ до $+3\pi / 2$, а в якості U беремо абсолютне значення розрахованого за (12) значення (рис. 2). Бачимо, що під час переходного процесу враховано всі миттєві зміни напруги і кута, які розраховані регулятором просторового положення електромагнітного поля.

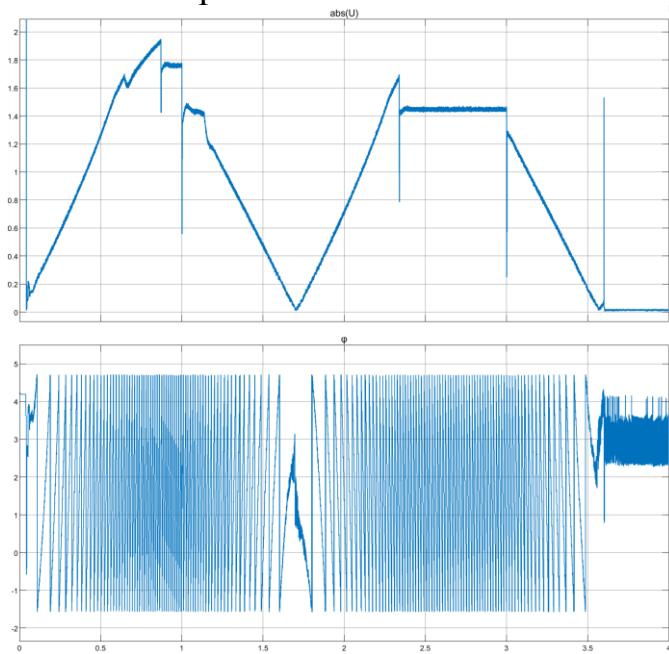


Рисунок 2 – Відновлені значення амплітуди та кута повороту вектору напруги

Тоді сигнали 1-ї гармоніки фазних напруг розраховуються за виразами:

$$U_a = \frac{U}{\sqrt{3}} \sin\left(\varphi - \frac{\pi}{6}\right)$$

$$U_b = \frac{U}{\sqrt{3}} \sin\left(\varphi - \frac{\pi}{6} - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$U_c = \frac{U}{\sqrt{3}} \sin\left(\varphi - \frac{\pi}{6} - \frac{4\pi}{3}\right)$$

Для перевірки результатів з відновлених фазних напруг отримано лінійні. На рис. 3 порівняно вихідні та результуючі сигнали. Очевидно, вони співпадають, навіть у швидких динамічних режимах.

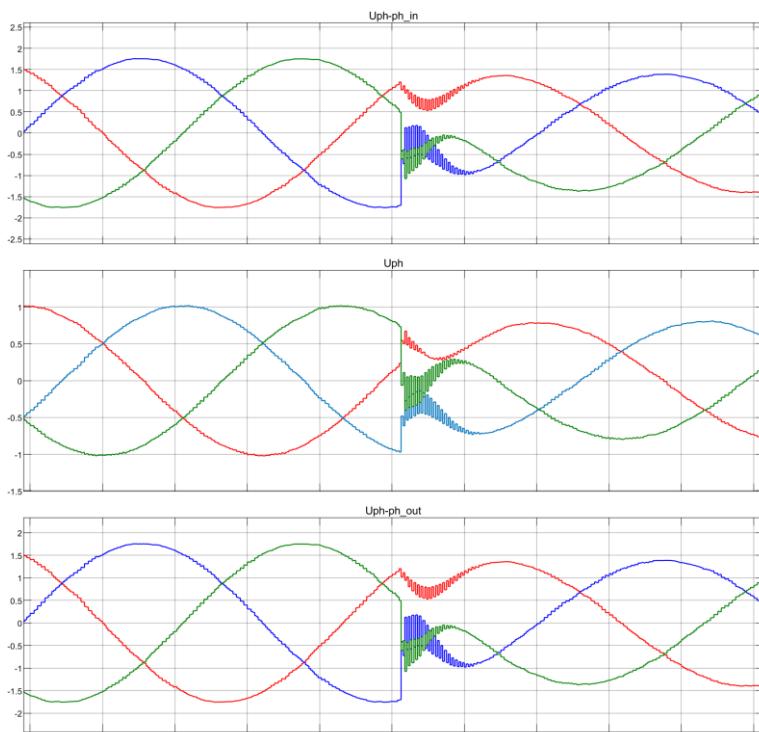


Рисунок 3 – Вихідні графіки лінійних напруг (зверху), відновлені фазні напруги (в центрі) та контрольні лінійні напруги (знизу)

Фрагмент моделі, який виконує такі розрахунки, наведено на рис. 4.

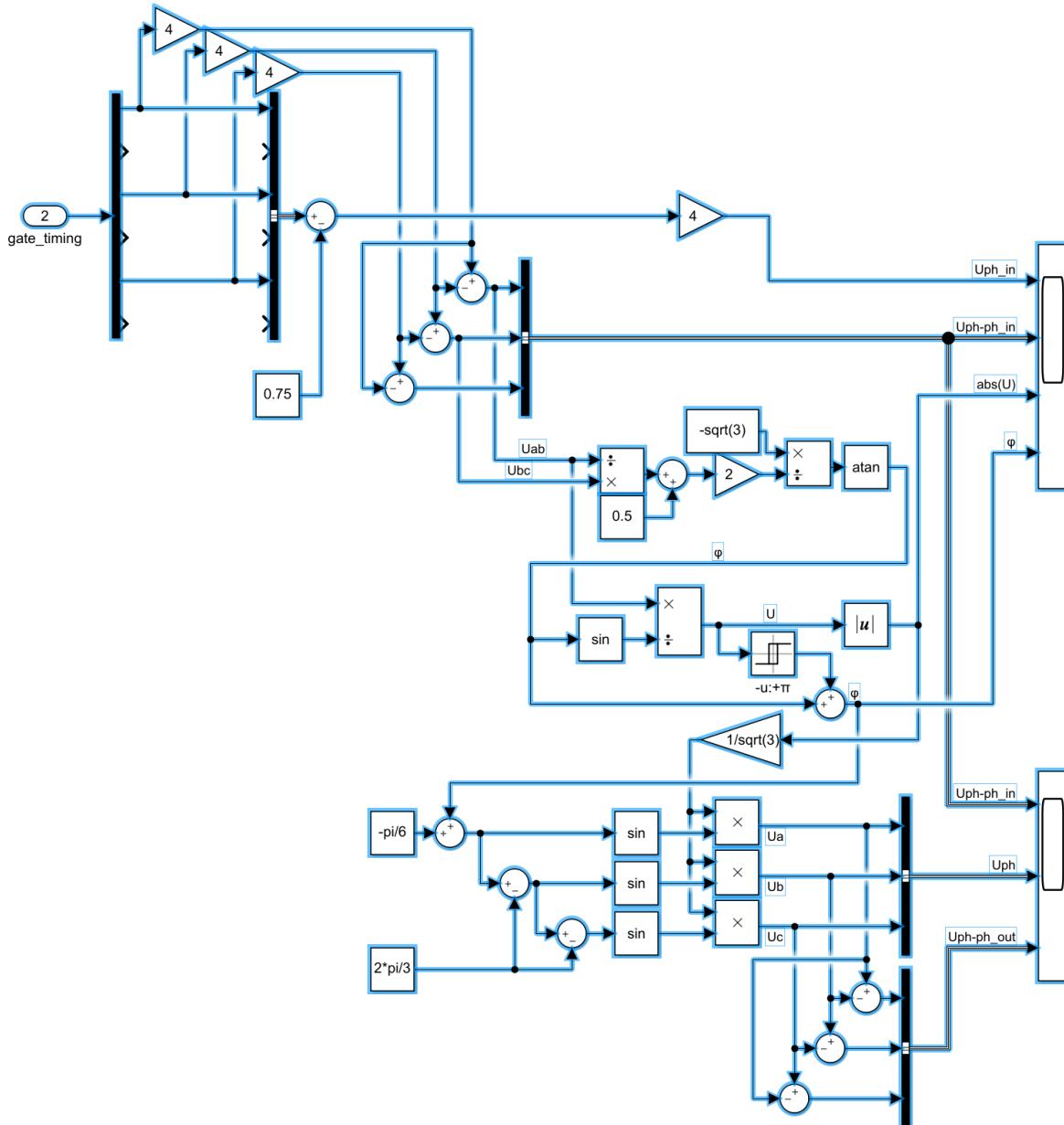


Рисунок 4 – Модель відновлення сигналів керування 1-ю гармонікою фазних напруг

Отримані сигнали дозволяють відносно легко переробити модель асинхронного електроприводу ac3_example для використання каскадного перетворювача частоти, що дозволить зберегти усі переваги цієї моделі і дослідити властивості каскадних перетворювачів частоти з застосуванням векторного керування.

На рис. 5 наведено результати розрахунку переходних процесів в 5-каскадному перетворювачі частоти, в якому завдяки векторному керуванню забезпечується підтримка з високою точністю електромагнітного моменту та швидкості двигуна, а саме 5-каскадний перетворювач забезпечує зменшення вищих гармонік напруги і струму в двигуні.

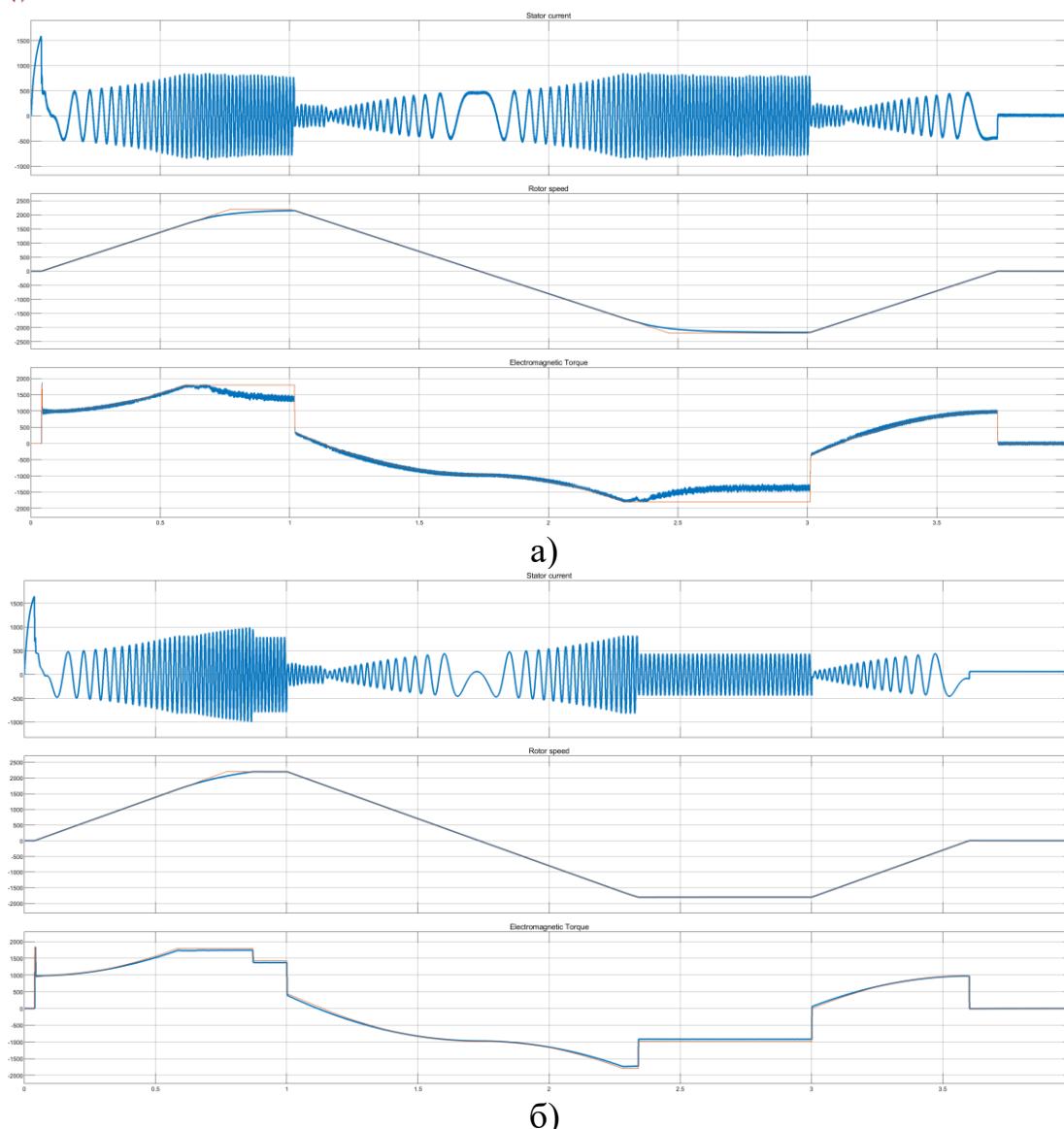


Рисунок 5 – Графіки перехідних процесів в перетворювачах частоти з типовим трифазним мостом (а) та з 5-каскадними інверторами в фазах (б)

Видно суттєву різницю в якості сигналів струму та моменту, що в 5-каскадному перетворювачі досягається шляхом формування багаторівневого сигналу напруги (рис. 6).

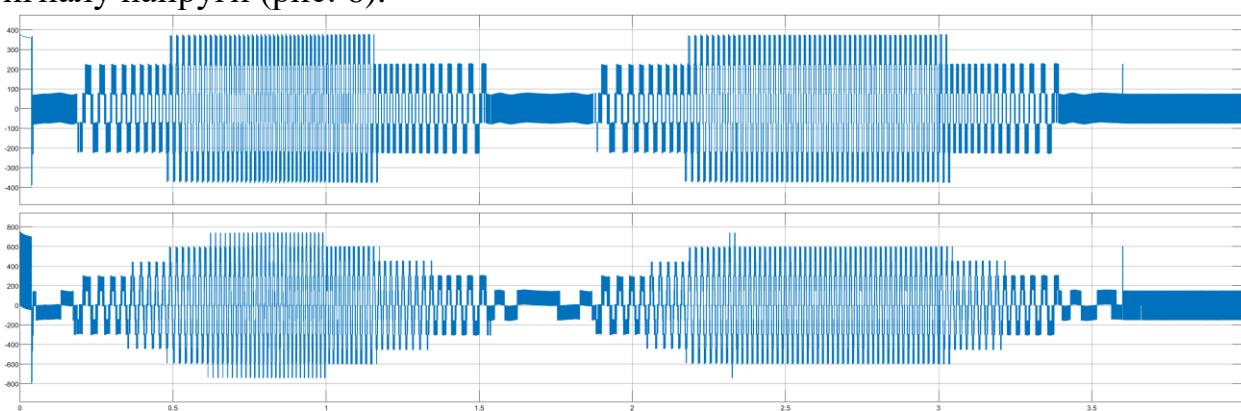


Рисунок 6 – Напруга в фазі (зверху) та лінійна напруга (знизу) в 5-каскадному перетворювачі

Висновки. В роботі проаналізовано типову модель електроприводу з векторним керуванням ас3 в Matlab/SimPowerSystem та знайдено сигнали керування, які можуть бути модифіковані для використання в каскадних багаторівневих перетворювачах частоти. Обробка цих сигналів дозволяє отримати амплітуду та кут повороту вектору напруги, який необхідно передати в систему керування силовими ключами 4-квадрантних інверторів в фазах багаторівневого перетворювача частоти. Це дозволяє поєднати всі можливості векторного керування і методи корекції аварійних режимів – балансування лінійної напруги, в тому числі з додаванням 3-ї гармоніки, балансування базових векторів. В роботі надано математичне обґрунтування, графіки та моделі, що пояснюють принципи реалізації векторного керування асинхронним електроприводом з каскадними перетворювачами частоти.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бушер, В.В. Дослідження високовольтних перетворювачів частоти в суднових електроенергетичних системах / В.В. Бушер, О.В. Глазєва, К.О. Морозов, Космас Здрозис // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.231-237 http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/Материали%20конф_2019.pdf
2. 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.
3. Карпеленя, А.О. Бушер, В.В. Захарченко, В.М. Глазєва, О.В. Оптимізація використання просторово-векторної модуляції при компенсації аварій в високовольтних каскадних перетворювачах частоти [Текст] / А.О. Карпеленя, В.В. Бушер, В.М. Захарченко, О.В. Глазєва // Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.128-132 http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/Материали%20конф_2020.pdf
4. Busher, V., Chornyi, O., Glazeva, O., Tytiuk, V., Kuznetsov, V. G. and Tryputen, N. Optimal Control Method of High-Voltage Frequency Converters with Damaged Cells / 15th International Scientific and Technical Conference “Problems of the railway transport mechanics PRTM2020”. – October 22–23, 2020, Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (DIIT), 2020, Sci. Eng. 985 012021 – pp.1–10 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012021>.
5. V. Busher, A. Shestaka, O. Chornyi, O. Glazeva, L. Melnikova and V. Tytiuk, "Method of Space Vector Pulse Width Modulation in High Voltage Cascaded Frequency Converter with Damaged H-cells," 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2021, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/MEES52427.2021.9598782>

МОДЕРНІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ З ВЕКТОРНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОРІВНЕВИХ КАСКАДНИХ ІНВЕРТОРІВ**С. Червяков¹, студент****В. В. Бушер², д.т.н., професор**¹Державний університет «Одеська політехніка»²Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. В роботі проаналізовано типову модель електроприводу з векторним керуванням ac3 в Matlab/SimPowerSystem та знайдено сигнали керування, які можуть бути модифіковані для використання в каскадних багаторівневих перетворювачах частоти. Обробка цих сигналів дозволяє отримати амплітуду та кут повороту вектору напруги, який необхідно передати в систему керування силовими ключами 4-квадрантних інверторів в фазах багаторівневого перетворювача частоти. Це дозволяє поєднати всі можливості векторного керування і методи корекції аварійних режимів – балансування лінійної напруги, в тому числі з додаванням 3-ї гармоніки, балансування базових векторів. В роботі надано математичне обґрунтування, графіки та моделі, що пояснюють принципи реалізації векторного керування асинхронним електроприводом з каскадними перетворювачами частоти.

Ключові слова: MATLAB Simulink SimPowerSystems, симуляція аварії, високовольтний перетворювач частоти, оптимальний коефіцієнт використання потужності.

MODERNIZATION OF THE MODEL OF THE FREQUENCY CONVERTER WITH FIELD ORIENTED CONTROL FOR RESEARCH OF MULTI-LEVEL CASCADE INVERTERS**S. Chervjakov¹, student****V.V. Busher², ScD, Professor**¹Odessa Polytechnic State University²National University “Odessa Maritime Academy”

Abstract. A modification of a typical model of an electric drive with vector control “ac3” in Matlab / Simulink / SimPowerSystem for the research of cascade multilevel frequency converters has been performed. The sequence of transmission of control signals of transistors from the block “gate logic” to the main subsystem “Field Oriented Control” and a detailed model of the power part of the electric drive with a 5-cascade converter are shown. The obtained model does not break the links of the basic model, which makes it possible to study electric drives with induction machines of arbitrary power and voltage.

Key-words: MATLAB Simulink SimPowerSystems, high voltage frequency converter, third harmonic, field oriented control.

Застосування високовольтних перетворювачів частоти поширюється завдяки зменшенню вартості силових транзисторів і мікропроцесорів, удосконаленню алгоритмів керування як в напрямі підвищення точності регулювання координат, так і забезпечення надійності. Основними галузями стають потужні промислові механізми, електроприводи транспортних систем високошвидкісних поїздів та суден, а також електромобілів з багаторівневими акумуляторними батареями. З точки зору показників енергетичних систем багаторівневі перетворювачі забезпечують високу якість електроенергії завдяки точності відт-

ворення сигналів напруги, максимально наблизеної до синусоїдальної [1, 2]. Але в сучасних високовольтних перетворювачах часто використовують закони скалярного керування, а інформації про методи векторного керування такими електроприводами недостатньо. Проте векторне керування або пряме керування моментом забезпечують незрівнянно кращі динамічні показники в електромеханічній системі.

Мета роботи полягає у модернізації існуючої моделі асинхронного електроприводу в Matlab/Simulink так, щоб при збереженні основних властивостей векторного керування з'явилась можливість використання моделі силової частини каскадного багаторівневого перетворювача.

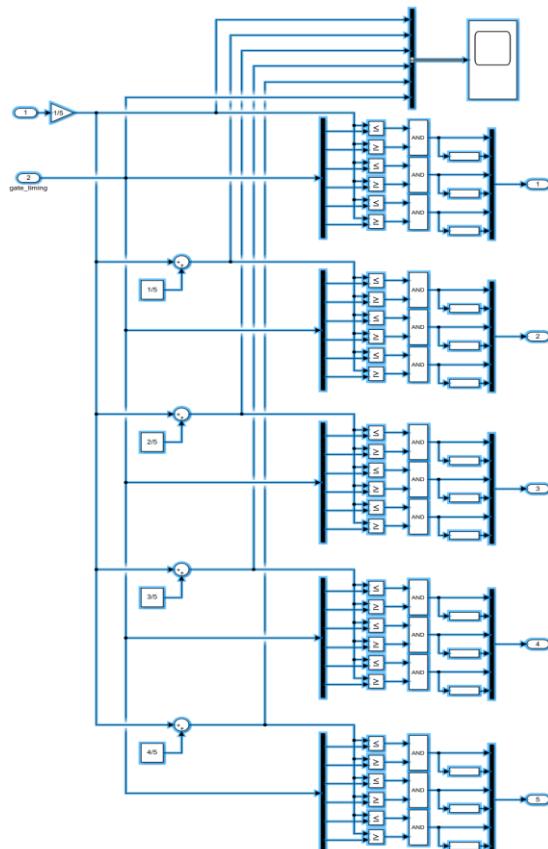


Рисунок 1 – Модель формування сигналів керування 5-каскадного багаторівневого перетворювача частоти

При аналізі моделі ac3_example.slx в блоці детального опису просторово-векторної модуляції після перетворень $dq - \alpha\beta$ сигнали gate_timing використано для формування сигналів керування транзисторами в вертикалях IGBT-моста. Шина gate_timing – це сукупність з 6-и непереврвних сигналів по 2 на кожну фазу. Це надало змогу модифікувати цю підсистему для отримання необхідних керуючих сигналів.

Модель модифікованої підсистеми “gates logic” наведено на рис. 1. Для керування 5-каскадним інвертором сигнали gate_timing подаються на п’ять одинакових комутаторів. Однак амплітуда трикутних опорних сигналів зменшена у 5 разів, і для кожного комутатора gate_timing порівнюється з опорними сигналами зі зсувом 0, 1/5, 2/5, 3/5, 4/5.

Графіки, які пояснюють принцип роботи цієї підсистеми, надано на рис. 2.

Після формування сигналів керування транзисторами їх необхідно передати в підсистему силової частини без порушення зв’язків в моделі ac3. Послідовність такої передачі – “gates logic” => “SVPWM” => “F. O. C.” => main mask “ac3” – наведено на рис. 3. Далі під маскою “ac3” виконується заміна силової частини – замість трифазного моста підключається трифазний 5-каскадний перетворювач, кожний каскад якого складається з 4-квадрантного інвертора.

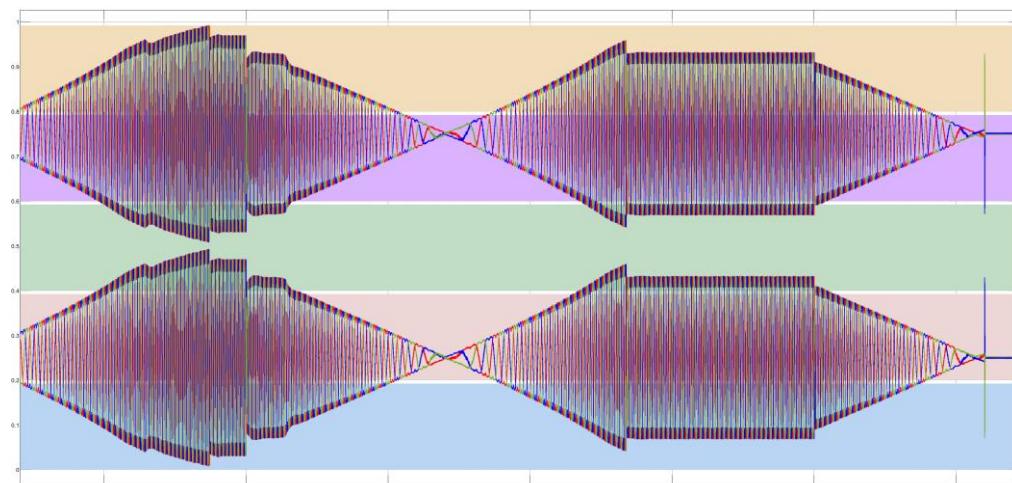


Рисунок 2 – Графіки сигналів gate_timing та 5-и послідовностей трикутних опорних сигналів (горизонтальні кольорові полоси)

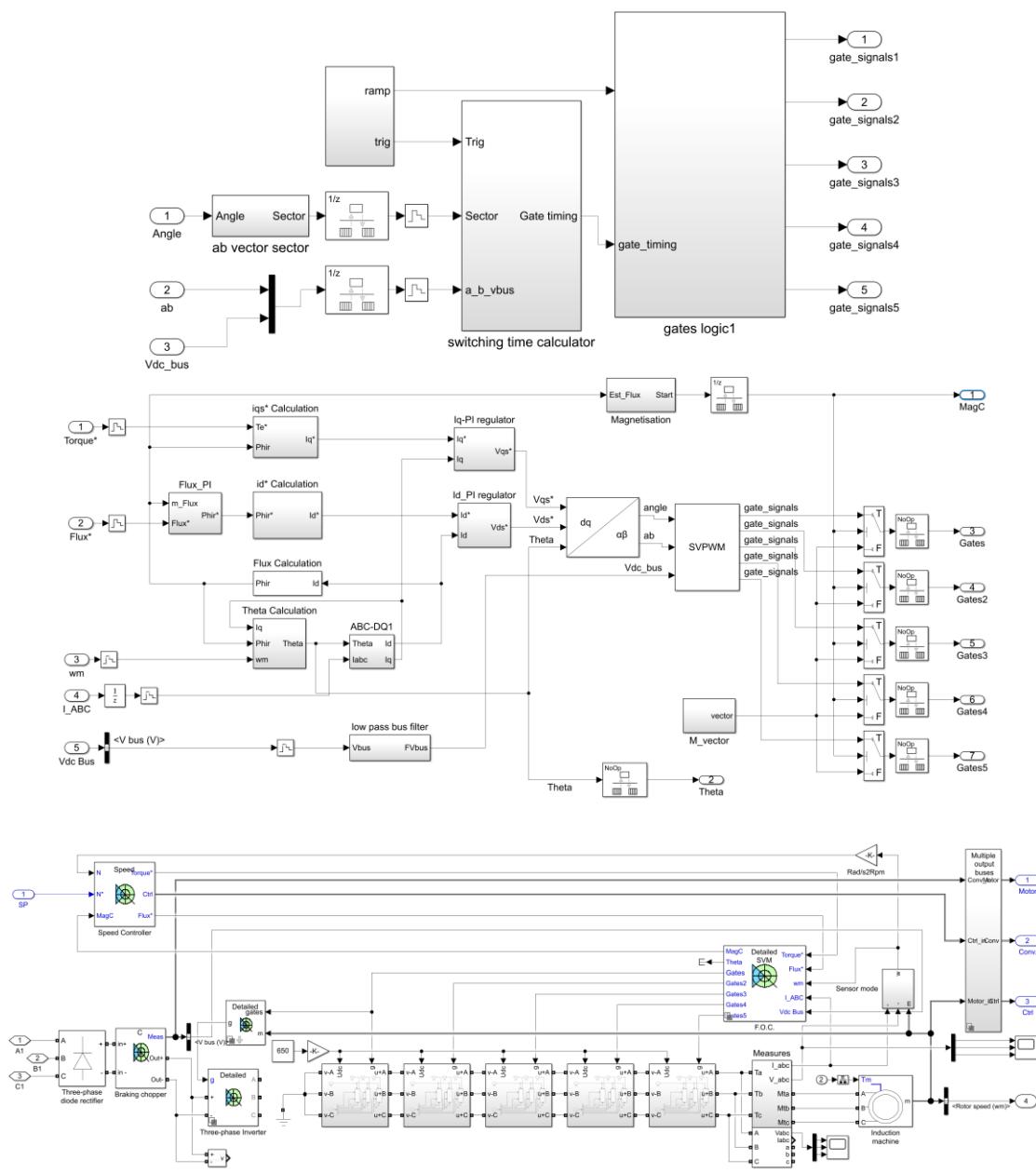


Рисунок 3 – Модифіковані підсистеми електроприводу

В результаті можна дослідити властивості каскадних перетворювачів частоти з застосуванням векторного керування. На рис. 4 та рис. 5 наведено результати розрахунку переходічих процесів в 5-каскадному перетворювачі частоти, в якому завдяки векторному керуванню забезпечується підтримка з високою точністю електромагнітного моменту та швидкості двигуна, а саме 5-каскадний перетворювач забезпечує зменшення вищих гармонік напруги і струму в двигуні.

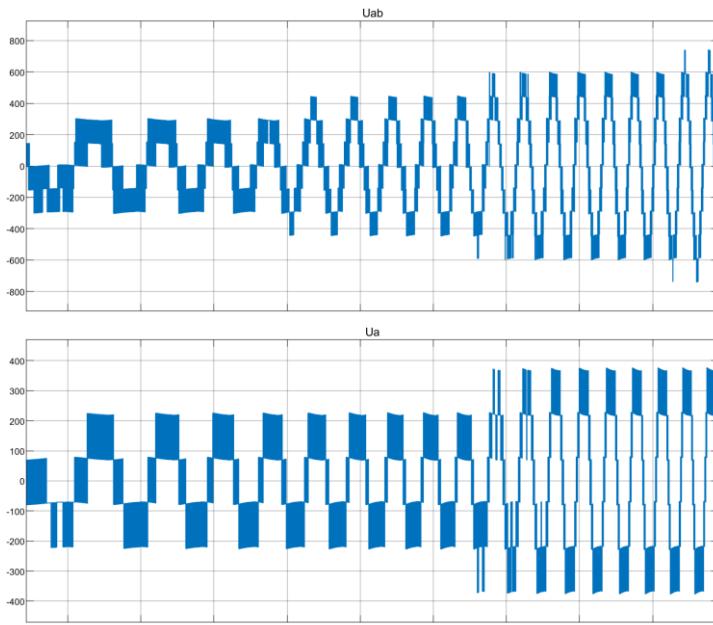


Рисунок 4 – Графіки переходічих процесів лінійної та фазої напруги

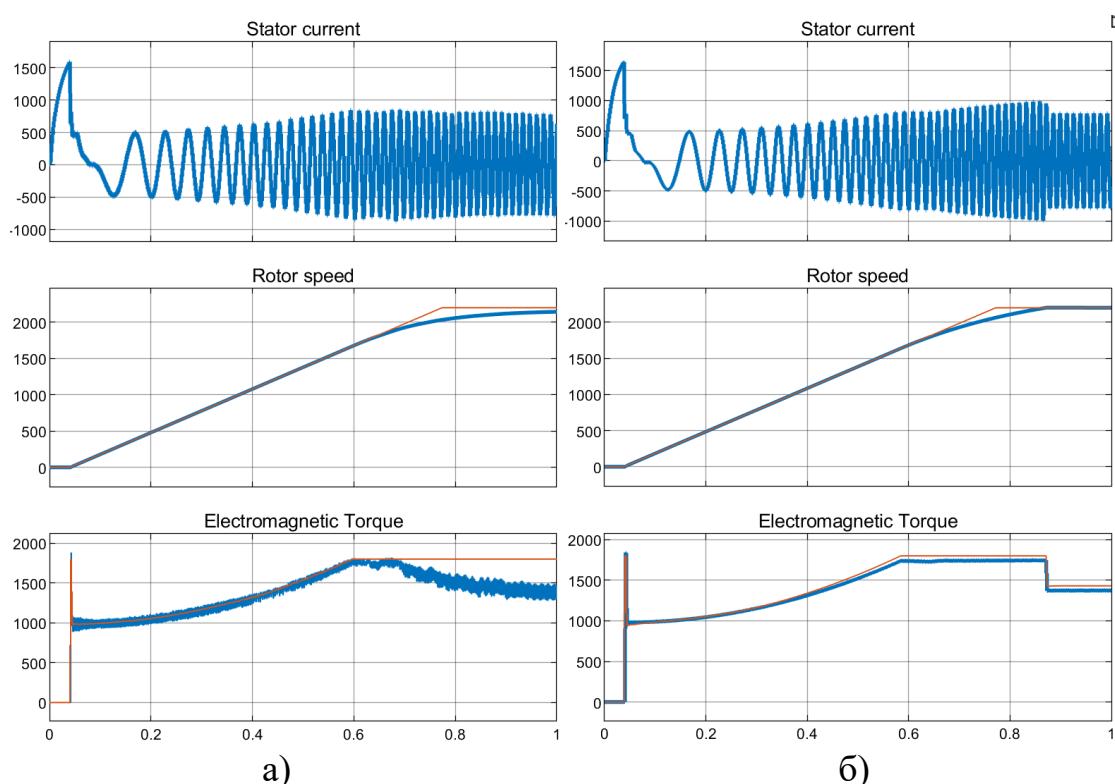


Рисунок 5 – Графіки переходічих процесів в перетворювачах частоти з типовим трифазним мостом (а) та з 5-каскадними інверторами в фазах (б)

Висновки. В роботі виконано модифікацію типової моделі електроприводу з векторним керуванням ас3 в Matlab/Simulink/SimPowerSystem для дослідження каскадних багаторівневих перетворювачів частоти. Показано послідовність передачі сигналів керування транзисторами від блоку “gates logic” до основної підсистеми “Field Oriented Control” та деталізованої моделі силової частини електроприводу з 5-каскадним перетворювачем. Отримана модель не порушує зв'язки базової моделі, що надає можливість дослідження електроприводів з двигунами довільної потужності та напруги.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бушер, В.В. Дослідження високовольтних перетворювачів частоти в суднових електроенергетичних системах / В.В. Бушер, О.В. Глазєва, К.О. Морозов, Космас Здрозис // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.231-237 http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/Материалы%20конф_2019.pdf
2. 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.
3. Карпеленя, А.О. Бушер, В.В. Захарченко, В.М. Глазєва, О.В. Оптимізація використання просторово-векторної модуляції при компенсації аварій в високовольтних каскадних перетворювачах частоти [Текст] / А.О. Карпеленя, В.В. Бушер, В.М. Захарченко, О.В. Глазєва // Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.128-132 http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/Материалы%20конф_2020.pdf
4. Busher, V., Chornyi, O., Glazeva, O., Tytiuk, V., Kuznetsov, V. G. and Tryputen, N. Optimal Control Method of High-Voltage Frequency Converters with Damaged Cells / 15th International Scientific and Technical Conference “Problems of the railway transport mechanics PRTM2020”. – October 22–23, 2020, Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (DIIT), 2020, Sci. Eng. 985 012021 – pp.1–10 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012021>.
5. V. Busher, A. Shestaka, O. Chornyi, O. Glazeva, L. Melnikova and V. Tytiuk, "Method of Space Vector Pulse Width Modulation in High Voltage Cascaded Frequency Converter with Damaged H-cells," 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2021, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/MEES52427.2021.9598782>

Секція 9. АВТОМАТИЗАЦІЯ СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

УДК 629.62-5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕССІВ ПАЛИВОСПАЛЮВАННЯ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ РІЗНИХ СТРУКТУРНИХ СХЕМ РЕГУЛЮВАННЯ СПІВВІДНОШЕННЯ ПАЛИВО-ПОВІТРЯ

I. Є. Войтецький¹, к.т.н., старший викладач

T. О. Войтецька², к.т.н., старший викладач

Т. В. Щуркан¹, курсант

В. М. Мамай¹, курсант

С. В. Корольчук¹, курсант

¹Національний університет «Одеська Морська Академія»

²Державний університет «Одеська Політехніка»

Анотація: Наведено структурні схеми регулювання співвідношення паливо-повітря. Розглянуто особливості застосування кожної схеми регулювання. Побудовано переходні процеси відхилення коефіцієнта надлишка повітря при застосуванні різних структурних схем регулювання.

Ключові слова: регулювання, паливо-повітря, схема регулювання, регулювання співвідношення.

RESEARCH OF FUEL COMBUSTION PROCESSES WHEN APPLYING DIFFERENT STRUCTURAL SCHEMES OF FUEL-AIR RATIO REGULATION

I. Voytetsky¹, PhD technical, associate professor

T. Voytetskaya², PhD technical, associate professor

T. Tsurkan¹, cadet

V. Mama¹, cadet

S. Korolchuk¹, cadet

¹National University «Odessa Maritime Academy»¹

²State University "Odessa Polytechnic"²

Abstract: Structural schemes of fuel-air ratio regulation are given. Peculiarities of application of each regulation scheme are considered. Transient processes of deviation of the coefficient of excess air at application of various structural schemes of regulation are constructed.

Key-words: regulation, fuel-air, regulation scheme, ratio regulation.

Подача повітря в топки котлів повинна здійснюватися у суворій відповідності до подачі палива. Від точності підтримки співвідношення паливо повітря залежить к.к.д. котельної установки. Відхилення коефіцієнта надлишку повітря від оптимального збільшує сумарну втрату з вихідними газами і з хімічним недопалом [1].

У сучасних суднових котельних установках збільшення а на 10% оптимального знижує їх економічність на 1%, а таке ж зменшення знижує економічність на 10%. Навіть короткочасні відхилення, а від оптимального значення негативно впливають на роботу котла. Збільшення а підвищує точку роси, що інтенсифікує корозію хвостових поверхонь нагріву, а зменшення призводить до димлення, збільшення забруднення поверхонь нагріву і температури газів, що йдуть, що в кінцевому підсумку знижує к. к. д. котла.

Котельна установка з електроприводним вентилятором як об'єкт регулювання подачі повітря є стійким одноємнісним об'єктом. Це дозволяє для регулювання подачі повітря використовувати I-регулятори. У стаціонарних установках, а також у суднових, що мають більшу довжину повітроводів, може мати місце запізнення та порівняно більша інерційність. У таких установках регулювання подачі повітря застосовують ПІ-регулятори [2].

Як регульована величина в цих регуляторах використовується інформація щодо тиску повітря перед топковим фронтом котла або перепад тиску повітря на ньому [2]. Регульована величина в регуляторі порівнюється з сигналом подачі палива (рідше - за витратою пари), тобто регулятор, що управляє подачею повітря, стежить за відхиленням іншої величини - подачі палива і відповідно до зміни цієї величини змінює подачу повітря. Тобто регулятори працюють у режимі стеження.

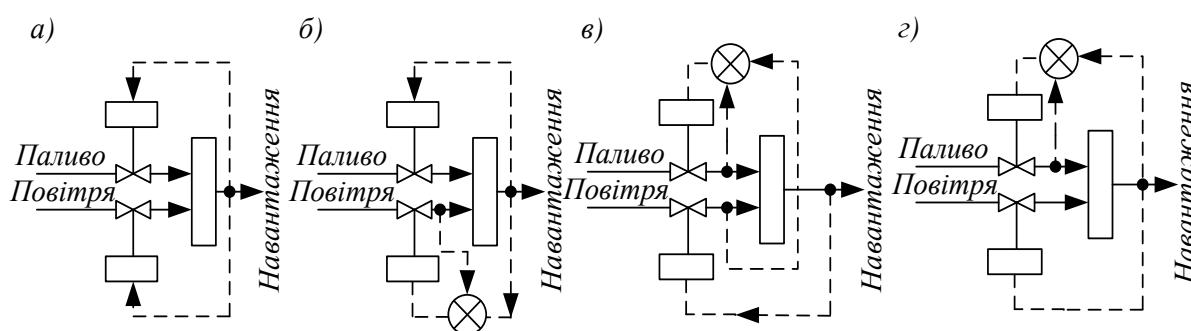


Рисунок 1 – Структурні схеми регулювання співвідношення паливо – повітря.

На рис. 1, *a* наведена схема управління подачею палива і повітря відбувається одночасно, тобто паралельно. Ця схема найпростіша, проте забезпечує високу точність підтримки співвідношень паливо — повітря, оскільки дуже важко узгодити дійсні витрати повітря і палива оптимальному співвідношенні підбором характеристик регулюючих органів [1].

У схемі на рис.1, *б* так само як і в попередній, управління подачею палива і повітря здійснюється одночасно, але витрата повітря вимірюється і коригується зворотним зв'язком, внаслідок чого надходження повітря в топку пропорційно величині керуючого сигналу, що підвищує точність підтримки заданого співвідношення паливо - повітря.

У схемі на рис. 1, *в* імпульс по тиску пара управляє подачею повітря, а витрата палива встановлюється пропорційно витраті повітря. У цій схемі точність підтримки співвідношення паливо - повітря в режимах, що встановилися, обумовлена точністю вимірювань витрат повітря і палива.

У схемі на рис. 1, *г* управління подачею палива і повітря здійснюється паралельно від імпульсу по тиску пари, а коригування співвідношення паливо - повітря зміною подачі палива відповідно до сигналів від вимірювачів витрат повітря і палива.

Від того, за якою схемою здійснюється регулювання подачі повітря, залежить як статична, так і динамічна точність підтримки співвідношення паливо - повітря.

На рис. 2 показані перехідні процеси в контурі подачі повітря, отримані в результаті моделювання для схем, представлених на рис. 1, б-г.

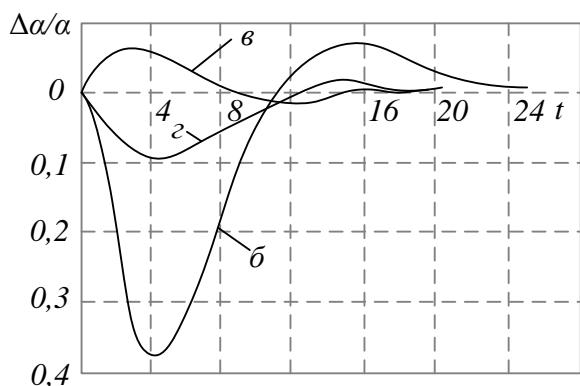


Рисунок 2 – Відхилення коефіцієнта надлишку повітря від заданого у перехідних процесах при різних структурних схемах регулювання (збурення парового навантаження $\lambda=1$).

що обумовлено його коригуванням витратою палива. У відхилення за співвідношенням паливо - повітря значно менше, ніж у схемах б і г. Це пояснюється тим, що паливо подається за витратою повітря, а оськільки інерційність паливної магістралі мала порівняно з інерційністю повітряного тракту, відставання в його подачі значно менше.

Висновки. При використанні тієї чи іншої з розглянутих схем регулювання подачі повітря слід мати на увазі, що динамічна неточність суттєво відбувається на статичному налаштуванні регулятора та призводить до зниження економічної ефективності котельної установки. На морському судні котельна установка постійно відчуває різного роду збурення, які практично виключають усталені режими у строгому понятті. У зв'язку з цим, щоб уникнути димлення котлів, доводиться налаштовувати регулятор на підтримку підвищеного значення коефіцієнта надлишку повітря. Очевидно, що чим більше динамічні неузгодженості між подачею палива та повітря, тим з більшим відхиленням по коефіцієнту надлишку повітря у бік його підвищення від оптимального доводиться налаштовувати регулятор.

ЛІТЕРАТУРА

1. В. И. Печененко, Г. В. Козьминых Основы автоматики и комплексная автоматизация судовых пароэнергетических установок. – М.: Москва «Транспорт», 1979. – 257 с.
2. I. Y. Voytetsky Improving the ship's power plant automatic control system by using a model-oriented decision support system in order to reduce accident rate under the transitional and dynamic modes of operation / Igor Voytetsky, Taisiya Voytetskaya, Leonid Vyshnevskyi, Igor Kozyryev, Oksana Maksymova, Maksym Maksymov, Viktoriia Kryvda // Eastern-European Jornal of Enterprise Technologies. – Vol. 3/2 (111), 2021. –P. 57 – 66.

Найбільші відхилення співвідношення паливо - повітря спостерігаються при схемі б подачі повітря. Це значною різницею інерційних властивостей повітряного тракту і паливної магістралі, внаслідок чого виникає некомпенсоване запізнення подачі повітря. При подачі повітря за цією схемою спостерігається значне збільшення димності при наборі навантаження.

У схемі г відхилення співвідношення паливо - повітря менше, ніж у схемах б і г.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЗМІНИ РІВНЯ ВОДИ В БАРАБАНІ КОТЛА ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ РЕГУЛЮВАННЯ**I. Є. Войтецький**, к.т.н., старший викладач**I. П. Козирєв**, к.т.н., доцент**Д. В. Лутій**, курсант**О. В. Мурзак**, курсант

Національний університет «Одеська Морська Академія»

Анотація: розглянуті способи регулювання з погляду експлуатаційних особливостей підтримки рівня води в парових котлах морських суден. Наведено перехідні процеси в автоматичній системі регулювання рівня води з одно-, двох та трьох імпульсними регуляторами рівня.

Ключові слова: регулювання рівня, двох імпульсне регулювання, трьохімпульсне регулювання.

BOILER DRUM WATER LEVEL DYNAMICS CHANGES WITH DIFFERENT METHODS OF CONTROL RESEARCH**I. Voytetsky**, PhD technical, associate professor**I. Koziryev**, PhD technical, associate professor**D. Lutii**, cadet**O. Murzak**, cadet

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: methods of regulation from the point of view of operational features of water level maintenance in steam boilers of sea vessels are considered. The transients in the automatic water level control system with one, two and three pulse level regulators are given.

Key-words: level regulation, two-pulse regulation, three-pulse regulation.

Порівняльну оцінку різних способів регулювання рівня води в барабані можна зробити, зіставляючи розглянуті способи регулювання з погляду експлуатаційних особливостей підтримки рівня води в парових котлів морських суден. Засоби автоматики дозволяють забезпечити будь-яку характеристику регулювання: статичну, астатичну та гіперстатичну.

Одноімпульсний П-регулятор може забезпечити лише статичну характеристику. Однак для напружених котлів така характеристика може виявитися неприйнятною у зв'язку з тим, що при ній положення рівня як на малому, так і великому навантаженні найбільш небезпечно через можливість закидів води в паропровід [1].

Астатична характеристика може бути отримана і при одноімпульсному ізодромному і двоімпульсному регулюванні з додатковим імпульсом по навантаженню котла. Ізодромні і двоімпульсні системи регулювання мають приблизно однакову складність пристрою і початкову вартість [2].

Гіперстатична характеристика може бути отримана при триімпульсному регулюванні, хоча і двоімпульсний регулятор теоретично здатний забезпечити таку характеристику. Однак різкі та глибокі кидки навантаження живильного насоса, неминучі під час маневрування при двоімпульсному регулюванні за гі-

персттичною характеристикою, практично виключають можливість застосування в цьому випадку двоімпульсних регуляторів.

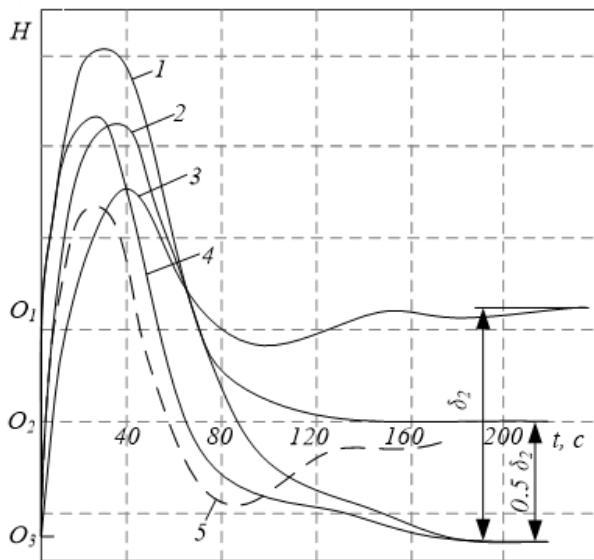
Динамічні закидання рівня визначаються, насамперед, характеристиками котла. Засоби автоматичного регулювання рівня можуть помітно зменшити ці закидання. Додатковий імпульс по витраті пари, надаючи сприятливий вплив на статичну характеристику регулювання, сприяє деякому збільшенню закидання рівня, оскільки цей останній збігається по знаку зі зміною парового навантаження котла.

Трьохімпульсний регулятор зменшує закидання внаслідок впливу імпульсу по витраті поживної води. Дія цього імпульсу аналогічно дії зворотного зв'язку за кількістю поживної води [1].

Наочне уявлення про динамічні закидання при різних способах регулювання дає графік на рис. 1. Слід звернути увагу на різні у вихідних (що передували маневру) та кінцевих (після закінчення переходного процесу) положеннях рівня; точки O_1 , O_2 , O_3 - вихідні положення рівня відповідно при статичній, астатичній та гіперстатичній характеристиках регулювання; коефіцієнт посилення вимірювача рівня для усіх випадків одинаковий.

Ефективним засобом зменшення динамічного закидання при будь-якій системі регулювання рівня є використання додаткового імпульсу швидкості зміни тиску пари, яка характеризує величину і знак енергетичного небалансу парово-дняного обсягу котла.

Точність регулювання рівня досить висока. Слід зауважити, що всі регулятори, за винятком триімпульсного, керують положенням живильного клапана так, що кількість води, що надходить в котел, залежить від стану цього клапана і роботи живильного насоса. Трьохімпульсний регулятор змінює положення регулюючого клапана до тих пір, поки не прийдуть у відповідність витрати живильної води і пари. У зв'язку з цим слід враховувати, що дво- і триімпульсні регулятори після травлення запобіжних клапанів котла і викликаного цим зменшенням вмісту води, що відбулося безконтрольно, для регулятора можуть тривалий час підтримувати занижений рівень у барабані. Іноді у такому разі доводиться навіть коригувати уставку регулятора.



Висновки. Всі регулятори, за винятком триімпульсного, керують положенням живильного клапана так, що кількість води, що надходить в котел, залежить від стану цього клапана і роботи живильного насоса. Трьохімпульсний регулятор змінює положення регулюючого клапана до тих пір, поки не прийдуть у відповідність витрати живильної води і пари.

ЛІТЕРАТУРА

1. В. И. Печененко, Г. В. Козьминых Основы автоматики и комплексная автоматизация судовых пароэнергетических установок. – М.: Москва «Транспорт», 1979. – 257 с.

2. I. Y. Voytetsky Improving the ship's power plant automatic control system by using a model-oriented decision support system in order to reduce accident rate under the transitional and dynamic modes of operation / Igor Voytetsky, Taisiya Voytetskaya, Leonid Vyshnevskyi, Igor Kozyryev, Oksana Maksymova, Maksym Maksymov, Viktoriia Kryvda // Eastern-European Jornal of Enterprise Technologies. – Vol. 3/2 (111), 2021. –P. 57 – 66.

УДК. 629.5.063

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ СУДНОВИМИ ПАРОВИМИ КОТЛАМИ

В.С. Михайленко, доктор технічних наук, професор

В.В. Лещенко, старший викладач

О.П. Тумольський, старший викладач

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Для отримання адекватних математичних моделей підсистем суднових парових котлів (з ціллю подальшого застосування при розробці САУ) – використовується широкий ряд методів їхньої ідентифікації, класифікація яких розглянута в роботі. Проведений аналіз процесів появи корозії у елементах обладнання суднових парових котлів та розраховані оптимальні настроювальні параметри їхніх систем автоматичного управління.

Ключові слова: математична модель, судновий паровий котел, підсистеми, методи ідентифікації.

ANALYSIS OF METHODS OF IDENTIFICATION OF SYSTEMS OF AUTOMATIC CONTROL OF SHIP STEAM BOILERS

V. Mikhailenko, Dr. of Science, Professor

V. Leshchenko, Senior Teacher

O. Tumolskyi, Senior Teacher

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: To obtain adequate mathematical models of subsystems of ship steam boilers (for further use in the development of ACS) - a wide range of methods of their identification is used, the classification of which is considered in the work. The analysis of processes of occurrence of corrosion in elements of the equipment of ship steam boilers is carried out and the optimum adjusting parameters of their automatic control systems are calculated.

Key-words: mathematical model, ship steam boiler, subsystems, identification methods.

Вступ. У зв'язку зі специфічними умовами роботи СПУ, впливом неконтрольованих зовнішніх збурень, зміною режимів навантаження агрегатів СЕУ, конструктивною різноманітністю СПУ, для отримання адекватних математичних моделей підсистем СПУ (з ціллю подальшого застосування при розробці САУ) – використовувався широкий ряд методів їхньої ідентифікації, класифікація яких показана на рис. 1.

Аналіз об'єкта управління. СПУ як об'єкт управління являє собою складну динамічну систему з взаємопов'язаними входними та вихідними величинами (рис. 2). Виражена спрямованість діянок регулювання по основним каналам регулюючих впливів, таких як: витрата живильної води $D_{\text{ПВ}}$ – рівень води в барабані H_B ; витрата води на уприскування $D_{\text{ВПР}}$ – температура перегріву пари $t_{\text{нн}}$; витрата палива B_t – тиск пари $P_{\text{П}}$; витрата повітря M_L ; вміст кисню у димових газах O_2 тощо, – дозволяє здійснити стабілізацію регульованих величин за допомогою незалежних одноконтурних систем регулювання, пов'язаних через загальний об'єкт управління [1,2].

Вхідними керуючими впливами у математичних моделях підсистем СПУ як об'єктів для локальних систем регулювання є зміни: витрати палива ΔB_t , положення напрямних апаратів дуттєвого вентилятора $\Delta \phi_L$ і димососа $\Delta \phi_D$, витрати живильної $\Delta D_{\text{ПВ}}$ і продувальної води $\Delta D_{\text{ПР}}$.

Контрольованими вихідними параметрами є зміни: концентрації кисню в димових газах ΔC_{O_2} , розріження в топці ΔP_p , рівня води в барабані котла Δh_b , тиску пари $\Delta P_{\text{п}}$, витрати пари $\Delta D_{\text{п}}$, солевмісту в воді барабана котла ΔC_a , витрати димових газів ΔM , витрати повітря ΔM_L , витрати живильної води $\Delta D_{\text{ПВ}}$. Основними збуреннями є зміни витрати пару, обумовлені зміною парової навантаження суднових споживачів пару (агрегатів СЕУ).

При розрахунку систем автоматичного регулювання та моделюванні їх роботи масові витрати палива ΔB_t , живильної $\Delta D_{\text{ПВ}}$ і продувальної води $\Delta D_{\text{ПР}}$, повітря і димових газів були виражені через положення відповідних регулюючих органів $\Delta \phi_B$, $\Delta \phi_{\text{ПВ}}$, $\Delta \phi_{\text{ПР}}$, $\Delta \phi_T$, $\Delta \phi_B$ [3].

Вихідні дані для розрахунку коефіцієнтів диференційних рівнянь, отриманих на основі рівнянь матеріального і теплового балансу, прийняті з документації суднового парового водотрубного допоміжного котла середньої потужності компанії Mitsubishi марки MAC 50B паровою продуктивністю 50 т/год та робочим тиском пару 1,57 МПа. Даним типом котлів обладнано багато суден танкерного флоту [4]. Розрахунок теплових і гідравлічних коефіцієнтів диференційних рівнянь, що описують динаміку теплофізичних процесів в підсистемах СПУ, проводився для трьох найбільш поширеніх режимів теплового навантаження СПУ (25 %, 50 %, 75 % від номінального).

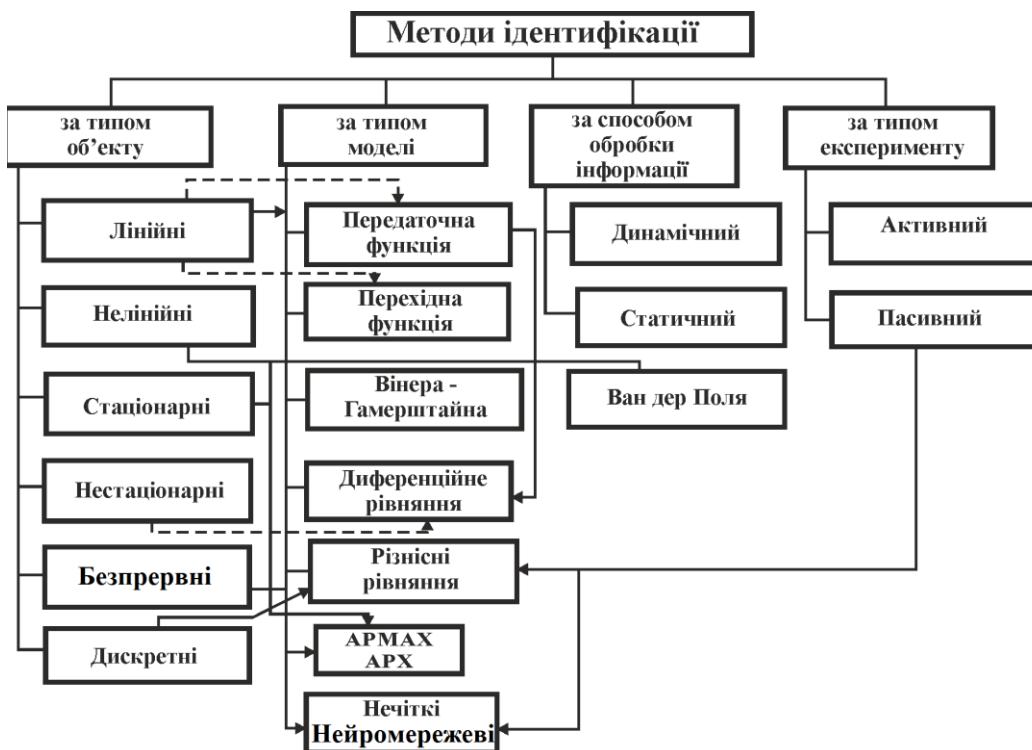


Рисунок 1 – Класифікація методів ідентифікації параметрів СПУ

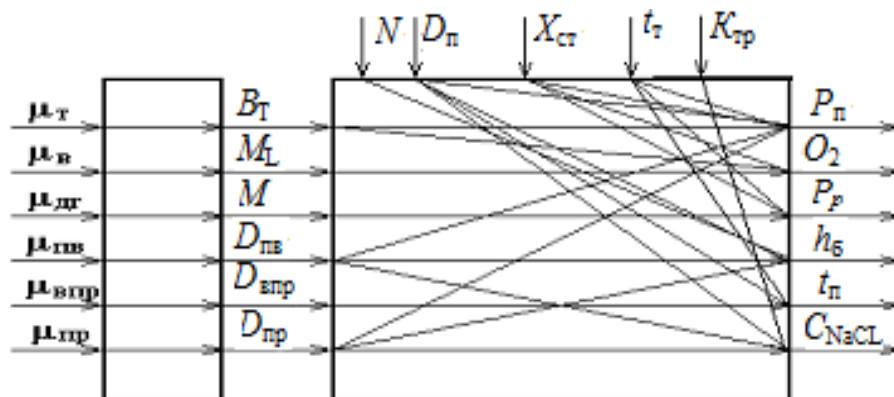


Рис. 2. Структурна схема взаємозв'язку параметрів барабанного водотрубного суднового патогенератору (етап структурної ідентифікації):

$D_{п}$ – витрата пару; t_{τ} – температура палива; P_p – розрідження; $P_{п}$ – тиск пару; h_b – рівень в барабані; $t_{п}$ – температура пари; C_{NaCL} – вміст солі у воді; $D_{пв}$ – витрата живильної води; M_L – витрата повітря; $D_{впр}$ – витрата води на паровий перегрівач; $D_{пр}$ – витрата води на продувку; M – витрата димових газів;

B_T – витрата палива; μ_i – управляючі дії від регуляторів по відповідним каналам регулювання; O_2 – вміст кисню; K_{tp} – корозія в трубах; N – зовнішні випадкові збурення (температура навколошнього середовища, хвильові коливання тощо); X_{ct} – хімічний склад палива

Вибрані навантаження пов'язані з ходовим і маневреним режимами роботи судна, а також – вантажними операціями під час стоянки. Розрахунки показали,

що динамічні властивості розрідження в топці при тепловому навантаженні СПУ 50 % від номінального описуються рівнянням виду [3]:

$$5,8 \frac{d\Delta P_p}{dt} + \Delta P_p(t) = -23,4\Delta\varphi_{\Gamma}(t) + 34,3\Delta M(t). \quad (1)$$

В продуктах згоряння сірчаністіх мазутів завжди присутні пари води і з'єднання сірки, які утворюють при з'єднанні один з одним сірчану кислоту [5]. При обмиванні газами відносно холодних хвостових поверхонь нагріву пари сірчаної кислоти конденсуються на них і викликають корозію металу. Таким чином, з урахуванням впливу швидкості вихідних димових газів на процеси виникнення низькотемпературної корозії ΔN_k^T , пропонується доповнити рівняння (1) параметром, що характеризує процес корозії:

$$T_1^{21} \frac{d\Delta P_p}{dt} + \Delta P_p = k_1^{21}\Delta\varphi_{\Gamma} + k_2^{21}\Delta M + k_4^{21}\Delta N_k^T;$$
$$k_4^{21} = t_s + 2 \cdot 10^3 \sqrt[3]{\frac{\Delta\varphi_e}{Q_h^p}},$$

де t_s – температура насичення водяних парів, відповідна їх парціальному тиску в продуктах згоряння, °C;

$\Delta\varphi_{\Gamma}$ – положення направляючого апарату димососа, % по якій визначається швидкість димових газів;

Q_h^p – нижча теплота згоряння робочої маси палива, кДж/кг;

k_i^n і T_i^n – коефіцієнти, приймаючі постійне значення в заданому режимі функціонування котла (n – відповідає номеру диференціального рівняння, i – порядковий номер коефіцієнта).

Для режиму навантаження 75 %, одержемо:

$$k_4^{21} = 201 + 2000 \cdot \sqrt[3]{\frac{70}{1400}} = 941.$$

Висновок: Таким чином, використання приведених моделей та методів дозволяє провести аналіз процесів появи корозії у елементах обладнання суднових парових котлів та розрахувати оптимальні настроювальні параметри суднових систем автоматичного управління

ЛІТЕРАТУРА

1. Михайленко В.С. Интеллектуализированные оценки надежности паросиловой установки большого судна [Текст] / В.С. Михайленко, А.Н. Харабет // Енергетика: економіка, технології, екологія [Фахове видання України]. – 2017. – № 3. – С. 103 – 107.
2. Енин В.И. Судовые котельные установки / В.И. Енин, Н.И. Денисенко, И.И. Костылев. – М.: Транспорт, 2003. – 216 с.
3. Корнилов Э.В. Вспомогательные, утилизационные, термомасляные котлы морских судов (конструкция и эксплуатация) / Э.В. Корнилов, П.В. Бойко, Э.И. Голофастов. – Одесса, «Экспресс Реклама», 2008. – 240 с.
4. Mitsubishi Auxiliary Boiler MAC-B. URL: <https://ru.scribd.com/document/334763233/Mitsubishi-Auxiliary-Boiler-MAC-B-pdf>.
5. Акользин П.А. Коррозия металла паровых котлов / П.А. Акользин. – М.: ГЭИ, 1957. – 222 с.

ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ДО ПОШУКУ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ У ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**I.I. Соловйов**

Аварійно-рятувальний загін спеціального призначення
ГУ ДСНС України у Херсонській області

Анотація: розроблено концепцію використання безпілотних апаратів для мінімізації ризиків та підвищення продуктивності пошуку, знешкодження та знищення морських мін. В доповіді наведено характеристики основних типів морських мін та описано методи боротьби з ними. Описано роботу дистанційно-керованого катера та автономних підводних апаратів, які можуть використовуватися для пошуку, знешкодження та знищення сучасних морських мін.

Ключові слова: вибухонебезпечний предмет, підводне розмінування, безпілотна протимінна модульна система

USE OF AUTOMATED ROBOTIC SYSTEMS TO SEARCH EXPLOSIVE ITEMS IN THE AQUATIC ENVIRONMENT**I.I. Soloviov**

Emergency rescue detachment of special purpose of the State Emergency Service of Ukraine in Kherson region

Abstract: the concept of using unmanned aerial vehicles to minimize risks and increase the productivity of search, disposal and destruction of sea mines has been developed. The report presents the characteristics of the main types of sea mines and describes methods of combating them. The operation of a remote-controlled boat and autonomous submarines that can be used to search for, neutralize and destroy modern sea mines is described.

Keywords: explosive device, underwater demining, unmanned modular mine system

На думку фахівців [1], мінна зброя є і в осяжній перспективі залишатиметься одним із потужних факторів війни на морі, що дає змогу з мінімальними витратами вирішувати цілу низку як оборонних, так і наступальних завдань [2]. Адже за показником вартість/ефективність цей засіб найкращий [3].

Мінна зброя має важливу й унікальну бойову якість — довготривалий вплив на противника через створення постійної загрози для плавання його кораблів у замінованих акваторіях [4].

Загалом морські міни поділяються на контактні (якірні) і неконтактні (донні та якірні). Перші утримуються на завданіх глибинах якорями. Підрив стається, коли корпус корабля торкається такої міни. А у випадку тралення трал перерізає трос і міна, що має позитивну плавучість, спливає на поверхню, де її знищують підриваючи або розстрілюючи з гармат. Міни другого типу лежать на дні й детонують, коли над ними або на певній відстані повз них проходить корабель. Детонатор міни реагує на магнітне, акустичне або інше фізичне поле корабля. Відповідно для тралення таких мін використовуються спеціальні електромагнітні, акустичні трали або дистанційно керовані роботизовані системи. Поряд із спеціалізованими кораблями-тральщиками для знешкодження донних мін використовуються повітряні платформи, літаки й вертольоти, оснащені

спеціальним обладнанням [5], що генерує сигнали, які імітують фізичні поля корабля і таким чином дистанційно ініціюють підрив міни [6].

Друга світова війна відзначалася широким застосуванням мінної зброї сторонами протистояння: СРСР, Румунією, Німеччиною (і навіть формально нейтральною Болгарією). Кількість мін усіх типів, виставлених супротивниками з 1941-го по 1944-й на Азовському та Чорному морях, становила 37 407 штук [7]. З них на СРСР (Чорноморський флот) припадало 10 745 мін. Зокрема, 8 388 було поставлено в оборонних мінних загородженнях біля своїх баз, решту — на морських комунікаціях противника [8].

Не дивно, що на радянських мінах підривалися переважно свої ж кораблі та судна. Лише в 1941–1942 роках від них загинули 3 есмінці, 18 транспортів, катерів тощо, ще кілька були пошкоджені [9]. 7 листопада 1941-го сталася одна з найбільших морських катастроф — загибель невдовзі після виходу з Ялтинського порту санітарного транспорту «Армения», який перевозив евакуйованих цивільних мешканців і поранених. Тоді, за різними даними, загинуло від 7 до 10 тис. осіб, а врятуватися змогли тільки восьмеро людей. За офіційною радянською версією, судно потопив німецький торпедоносець He-111. Вивчення дослідниками німецьких архівів не підтверджує цю версію, бо через непогоду німецька авіація того дня не літала, не було там і ворожих підводних човнів. Тому реальною залишається одна версія: судно підрвалося на плавучій міні (радянській). А 9 листопада на траперзі мису Сарич підрівався на міні й затонув транспорт «Ленін», що прямував на Кавказ, на ньому загинуло 1200 пасажирів і членів команди.

За приблизними підрахунками, із понад 37 407 мін, виставлених супротивниками, під час війни та після її закінчення було знищено 19 313 штук [10]. Решта, тобто 18 094 мін, залишається під водою і чекає свого часу. Йдеться про якірні міни, що були зірвані штурмами з якорів і, можливо, ще й досі блукають морем у напівзатопленому стані. На думку експертів, навіть якірні міни, які затонули, разом із донними, у яких давно вичерпався заряд електричних батарей, залишатимуться небезпечними через можливість вибуху щонайменше до 2040-го [11]. А пасивна спроможність до вибуху, наприклад від удару якорем, у них зберігатиметься протягом навіть 100 років.

Процес очищення Азовського та Чорного морів від мін тривав не один рік, утім, остаточно назвати його завершеним не можна й до цього часу [12]. Іноді все ще трапляються вибухи й гинуть кораблі. Відомо про три підтвердженні аварійні випадки з кораблями Чорноморського флоту, що сталися вже після війни через плаваючі міни: йдеться про один підводний човен та два торпедні катери. Ще шість випадків вважаються ймовірними. Так, у 1949-му поблизу Севастополя на міні підрівався суховантаж «Анатолій Серов», у 1951-му під Новоросійськом — «Бакинский комсомолець», а у 1959-му на траперзі Сочі — «Краснодон».

Наразі, у провідних країнах, існує підхід — ризикують роботи, а не людина. Якщо базу, рейд чи порт заблокували мінами, то робляться основні проходи за допомогою самохідних тралів — катерів, які спеціально адаптовані для того,

щоб витримувати навантаження від вибухів. Найчастіше, на такий катер встановлюються різноманітні імітатори шумів, вібрацій та магнітних полів, що роблять його схожим для мін на типовий корабель.

Найбільш популярною зараз є концепція застосування безпілотних апаратів для мінімізації ризиків та підвищення продуктивності пошуку [13].

Гарним прикладом використання автоматизованих робототехнічних систем є залучення багатоцільової безпілотної системи керування човнами UAPS 20 А до пошуку вибухонебезпечних предметів.

Основні характеристики системи:

- низька вартість;
- на базі твердо корпусного надувного човна (RIB) – покращена остійність, мала вага, легке транспортування/зберігання;
- високоточна система автопілоту;
- віддалені пункти управління та телеметрії;
- налаштування для різних цілей.

Особливості системи:

- перевірений військовий тип дизайну (конструкції);
- змінна модульна конфігурація;
- надійність: до 8 годин безперервної роботи;
- навігаційна точність (за шкалою Всесвітньої метеорологічної організації): 2-3 метри при хвилюванні моря 2 бали
- 5-8 метрів при хвилюванні моря 3-4 бали;
- можливість застосування на мілководді та у обмежених водних просторах (наприклад, морські порти);
- одночасне керування до 15 автономних (безпілотних) човнів з відстеженням центральною моніторинговою станцією (CMS) всіх 15 човнів;
- потужне програмне забезпечення навігаційної системи.

Переваги твердо корпусного надувного човна :

- низька вартість (може використовуватись для інших цілей);
- мала вага з великою вантажопідйомністю (човен довжиною 7,5 м важить лише 1100 кг та має вантажопідйомність до 2100 кг);
- не вибагливий у зберіганні та транспортуванні (вміщується у стандартний контейнер, судно-носій або транспортний літак, транспортується також на трейлері з можливістю спуску/підйому на воду);
- вмонтовані в корпус вузли підйому та механізм фіксації вантажу (легке знімання, зручне використання/зберігання);
- покращена остійність (навіть при сильному хвилюванні моря).

Висновки. Як можна помітити, наявність загрози мінування акваторії, по-мітно збільшують витрати на утримання флоту будь-якої країни. В ситуації, що склалася в Чорному та Азовського морях, ВМСУ мають деяку перевагу в тому, що підходи до основних портів знаходяться на відносному мілководді. Це означає, що ми можемо забезпечити постійну присутність протимінних сил за допомогою радіокерованих та автономних апаратів, що керуються з берега, або з невеликого катеру в наших територіальних водах. Використання високопродуктивних розвідувальних апаратів унеможливлюють не тільки мінну небезпеку, а

й кардинально зменшують ймовірність непоміченого проходу ворожих підводних човнів.

Варто зауважити, що роботизація ВМСУ — один з найоптимальніших шляхів розвитку, враховуючи співвідношення сил на Чорному морі. Використання автономних апаратів для постійного моніторингу стану морського дна, гідрографічних досліджень, розвідки, мінних постановок, нейтралізації мінної загрози дало б українському флоту можливість оптимізувати витрати, підвищити боєготовність та добитися інформаційного контролю та прихованого постійного спостереження за обстановкою в морі та під водою.

ЛІТЕРАТУРА

1. John F. Loosbrock. Mines Are Dirty Tricks. Popular Science. 1951. Vol. 158. № 2. P. 107-113.
Available at:
https://books.google.com.ua/books?id=pCEDAAAAMBAJ&pg=PA107&dq=popular+science+1951+mines+are+dirty+tricks&hl=en&ei=zrLCTPqEJpXqnQfVzJTqCQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&redir_esc=y#v=onepage&q=popular%20science%201951%20mines%20are%20dirty%20tricks&f=true
2. Міни морські. Радянська військова енциклопедія / за ред. Н. В. Огаркова. М.: Воєніздат. 1978. Т. 5. 686 с.
3. Robert Gardiner. The Trafalgar Campaign: 1803—1805. Chatham Publishing, 1997. pp. 82-84.
Available at: <https://www.usni.org/magazines/naval-history-magazine/2005/october/lasting-lessons-trafalgar>
4. Янковский В. Минная война на море. М.: Зарубежное военное обозрение, 1980. №2. С. 69-74.
5. Ackerman, Robert K. Airborne Detector Lays Bare Murderous Undersea Mines. Signal. 1994. Vol. 48. № 10. PP. 21-24. Available at: https://nps.edu/documents/103449515/0/Jul07-Seamines_biblio.pdf/06da4ead-50d2-4849-b3ab-29ba28ee8926?t=1456870491000
6. Robert Routledge. Discoveries and inventions of the 19th Century Bracken Books, 1989. P. 161.
Available at: <https://www.amazon.com/Discoveries-Inventions-19-Robert-Routledge/dp/0517686341>
7. Robert A. Forczyk. Sevastopol 1942, von Manstein's triumph. Osprey: Oxford 2008. P. 121-123.
Available at: <https://www.amazon.com/Sevastopol-1942-Mansteins-triumph-Campaign/dp/1846032210>
8. Howard S. Levie. Mine Warfare at Sea. Martinus Nuhoff Publishers, 1992. P. 119. Available at: <https://www.amazon.com/Mine-Warfare-Sea-Howard-Levie/dp/079231526X>
9. Pressing Button. Can Mines Conqueror Sea Power. Popular Science. 1940. Vol. 136. № 3. P. 78.
Available at:
https://books.google.com.ua/books?id=wCYDAAAAMBAJ&pg=PA78&dq=popular+science+March+1940&hl=en&ei=7nWMTLS6OdKmnQfZ7pSVDA&sa=X&oi=book_result&ct=bookthumbnail&redir_esc=y#v=onepage&q=popular%20science%20March%201940&f=true
10. Blitzer, Wolf, Garibaldi, Luciano. Century of War. New York: Friedman/Fairfax Publishers, 2001. P. 94-96. Available at: <https://www.amazon.com/Century-War-Luciano-Garibaldi/dp/8854403881>
11. Програма пошуку та знешкодження залишків хімічної зброї, затопленої у виключній (морській) економічній зоні, територіальному морі та внутрішніх водах України : Постанова Кабінету Міністрів України від 25 листопада 1996 р. № 1415 та від 15 березня 2000 р. № 511, продовжено постановою КМУ від 19 квітня 2006 р. № 541. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1415-96-%D0%BF#Text>
12. Фролов С. Створення та розвиток частин спеціального призначення розвідки Чорноморського флоту (1953–1992 pp.): історіографія. Воєнно-історичний вісник: зб. наук. праць Нац. ун-ту оборони України. 2017. Вип. 1 (23). С. 96–99. Available at:
<https://nuou.org.ua/assets/dissertations/autoref/autoref-frolov.pdf>
13. Nickand C., Cooke S. Risky Business: Dealing with Unexploded Ordnance (UXO) in the Marine Environment. Journal of Coasts, Marine Structures and Breakwaters. 2017. Vol. 171. № 3. P. 157-167. DOI: <https://doi.org/10.1680/cmsb.63174.0157>

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ
МОРСЬКИХ ПОРОМНИХ ПЕРЕВЕРЗЕНЬ****А. К. Сандлер, доцент**

Національний університет "Одесська морська академія"

Анотація. Сумісне використання автомобільного, морського та залізничного транспорту вимагає розв'язування завдання створення мультифункціональних вантажних засобів. Необхідною передумовою в цьому завданні є визначення та урахування на стадії проектування дійсних динамічних навантажень, які виникають при особливих режимах експлуатації (залізнично-поромні перевезення, транспортування вибухонебезпечних речовин, дія циклічних навантажень на несучу конструкцію вагона, тощо). Це сприятиме збільшенню міжремонтного періоду транспортних засобів, підвищенню безпеки руху, екологічної безпеки перевезень вантажів, вдосконаленню логістичних, у тому числі військово-логістичних, операцій. З цією метою запропонована конструкція вагону для морських поромних перевезень яка відрізняється тим, що модуль котла у нижній частині сполучений з поздовжнім стрингером, виконаним з П-подібного профілю, та між яким та хребтовою балкою, за довжиною якої між задніми упорами автозчепів розміщаються первинні та вторинні пучкові торсіони, які одним кінцем сполучені з корпусом та хребтовою балкою, а іншим кінцем сполучені з важелем, який взаємодіє з кронштейнами на стрингері.

Ключові слова: вагон, рама, торсіон**AUTOMATED SAFETY PROMOTION MARINE FERRY VERTATIONS****Sandler Albert, docent**

National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. The joint use of road, sea and rail transport requires solving the problem of creating multi-functional trucks. A necessary prerequisite in this task is to determine and consider at the design stage of the actual dynamic loads that occur during special modes of operation (rail and ferry transportation, transportation of explosives, the effect of cyclic loads on the load-bearing structure of the car, etc.). This will help increase the maintenance period of vehicles, increase traffic safety, environmental safety of cargo transportation, improve logistics, including military logistics, operations. For this purpose, the proposed design of the car for sea ferry transport, characterized in that the boiler module in the lower part is connected to a longitudinal stringer made of U-shaped profile, and between which and the spine beam, the length of which is located between the rear stops of primary and secondary beam torsions, which at one end are connected to the body and the spinal beam, and the other end is connected to the lever, which interacts with the brackets on the stringer.

Key words: car, frame, torsion

Згідно Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (від 30 травня 2018 р. № 430-р) для підвищення ефективності перевізного процесу у міжнародному сполученні необхідним є впровадження в експлуатацію високоефективного рухомого складу з покращеними техніко-економічними, експлуатаційними та екологічними характеристиками. В той же час, сучасні світові тенденції техніко-економічного розвитку зростанням ефективності експлуатації всіх компонентів транспортної інфраструктури. Сумісне використання автомобільного, морського та залізничного транспорту вимагає розв'язування завдання створення мультифункціональних вантажних засобів. Необхідною передумовою в цьому завданні є визначення та урахування на стадії

проектування дійсних динамічних навантажень, які виникають при особливих режимах експлуатації (залізнично-поромні перевезення, транспортування вибухонебезпечних речовин, дія циклічних навантажень на несучу конструкцію вагона, тощо). Це сприятиме збільшенню міжремонтного періоду транспортних засобів, підвищенню безпеки руху, екологічної безпеки перевезень вантажів, вдосконаленню логістичних, у тому числі військово-логістичних, операцій.

Однак, нормативна база, що регламентує проектування рухомого складу, не повною мірою, відбиває специфіку навантажень несучих конструкцій при особливих режимах, що зумовлює необхідність корегування для створення високоефективного рухомого складу [1 - 4]. Особливу актуальність ця проблема набуває для вагонів, що застосовуються для морських поромних перевезень. В цьому випадку до динамічних навантажень від взаємодії вагону та вантажу додаються навантаження, що створюються навігаційними чинниками.

Для визначення та шляхів вдосконалення конструкцій вагонів проаналізовані відомі схемотехнічні рішення, що мають певний потенціал модернізації.

У [5] наведена конструкція залізничного вагона-цистерни, що містить встановлений на ходові частини за допомогою піврам котел, підкріплений шпангоутами, який має два днища й обичайку, що містить циліндричну центральну царгу, з'єднану з консольними царгами у формі усіченого конуса, розташовані під кутом до горизонтальної осі центральної царги, у свою чергу з'єднаними з днищами котла.

Недоліками даної конструкції вагонів-цистерн, які обумовлені застосуванням сполучення котла з ходовою частиною за допомогою піврам, є:

- недостатня втомна міцність елементів рами при дії циклічних навантажень, що сприяє появі тріщин в них;
- більша вартість, у порівнянні з вагонами традиційної конструкції;
- необхідність наявності додаткових шпангоутів для зміцнення конструкції.

Разом з цим конструкція доволі проста та технологічна.

У більший мірі вільна від недоліків вагон-цистерна, конструкція якого складається з модуля екіпажної частини, двох двовісних віzkів, автозчепного модуля, модуля гальмівного обладнання, модуля котла, що спирається через середні та кінцеві опори на раму, модуля рами, який складається з бокових обв'язок, шворневих, кінцевих та хребтової балки з П-подібного профілю з кронштейнами, за довжиною якої між задніми упорами автозчепів розміщаються пружини, перекриті зверху горизонтальним листом, який сполучається з корпусом котла [6].

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням хребтової балки з П-подібного профілю з кронштейнами, пружин та горизонтального листа, бічні вертикальні поверхні знаходяться у контакті тертя з бічними поверхнями хребтової рами:

- можливість суттєвого порушення геометрії та умов тертя в зоні, де відбувається взаємодія бічних вертикальних поверхонь горизонтального листа та бічних поверхонь хребтової рами під впливом експлуатаційних та кліматичних чинників та забруднення;

- пружні елементи (пружини, як наведено на рис. 3 [6]) не мають властивість гасіння коливань, а тому вимагає потужних амортизаторів;
- відсутня можливість корегувати характеристики пружних елементів в залежності від завантаження вагону.

Але суттєвою перевагою конструкції є застосування додаткових пружних елементів для компенсації впливу циклічних навантажень.

На підґрунті аналізу зроблено висновок щодо доцільності створення комбінованої конструкції вагону у якої забезпечена зменшенні динамічні навантаження та забезпечена достатня міцність елементів рами при дії циклічних навантажень, відсутнє суттєве порушення геометрії під впливом експлуатаційних та кліматичних чинників та забруднення та присутня можливість врахування характеристик захисних елементів в залежності від завантаження вагону.

Для зменшення динамічних навантажень та також збільшення терміну експлуатації несучої конструкції вагона пропонується удосконалення виду та місця розташування пружних елементів на хребтовій балці, як найбільш навантаженого елемента рами.

Суть пропозиції пояснюється кресленням (рис. 1), де зображені модуль екіпажної частини 1, що містить два двовісних візки, автозчепний модуль 2, модуль гальмівного обладнання 3, модуль котла 4, модуля рами 5, та поздовжній стрингер 6 сполучений з модулем котла.

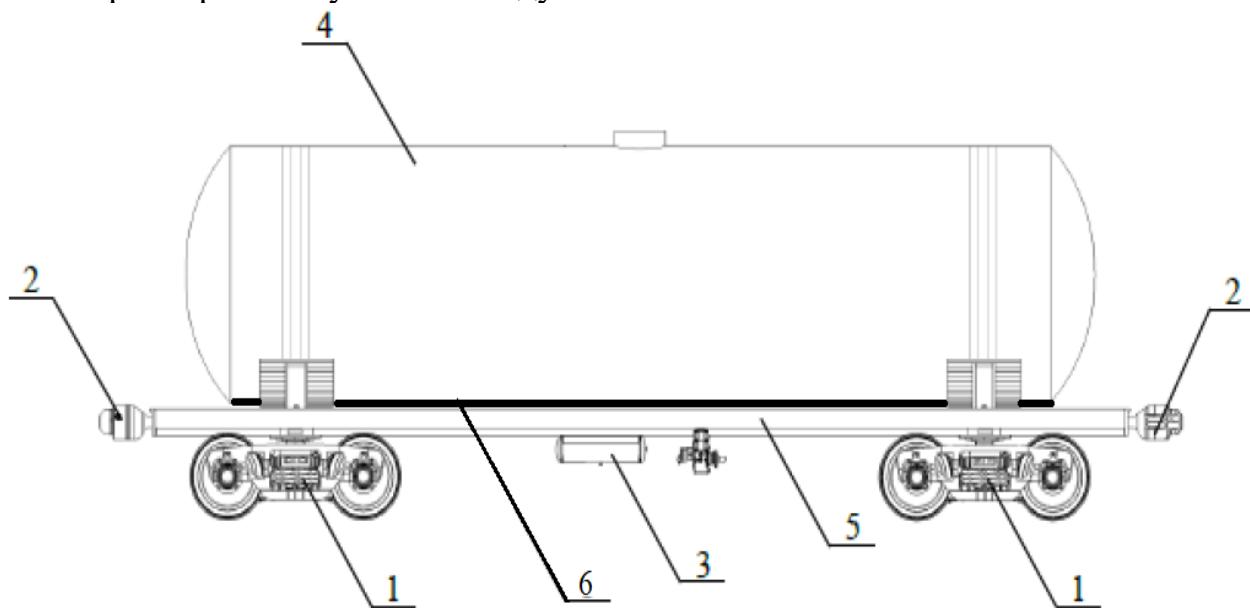


Рисунок 1 – Вагон для вибухонебезпечних речовин: 1 – модуль екіпажної частини; 2 – автозчепний модуль; 3 – модуль гальмівного обладнання; 4 – модуль котла; 5 – модуль хребтової рами; 6 – стрингер.

Модуль рами (рис. 2) включає балку хребтову 5, балки шворневі 10 (рис. 2), балки кінцеві 11 та обв'язки бокові 12. Кінцеві частини котла вільно встановлені на дерев'яних брусках 13, що прикріплені болтами до металевих жолобів опор 14, встановлених на шворневих балках 10.

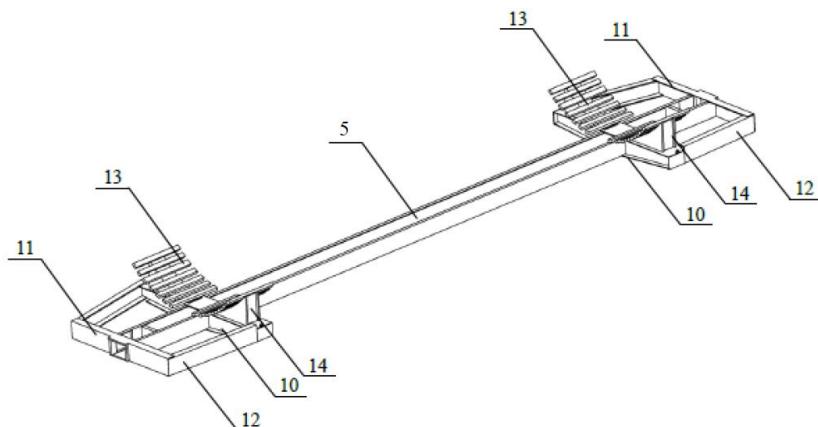


Рисунок 2 – Модуль рами вагона: 5 – хребтова балка рами; 10 – балка шворнева; 11 – балка кінцева; 12 – обв'язки бокові; 13 – дерев'яні бруски; 14 – жолоби опор.

Згідно схеми розташування блоків торсіонів на рамі вагона (рис. 3) на хребтовій рамі 5 розташовані один за одним первинні та вторинні пучкові торсіони разом з корпусом 8.

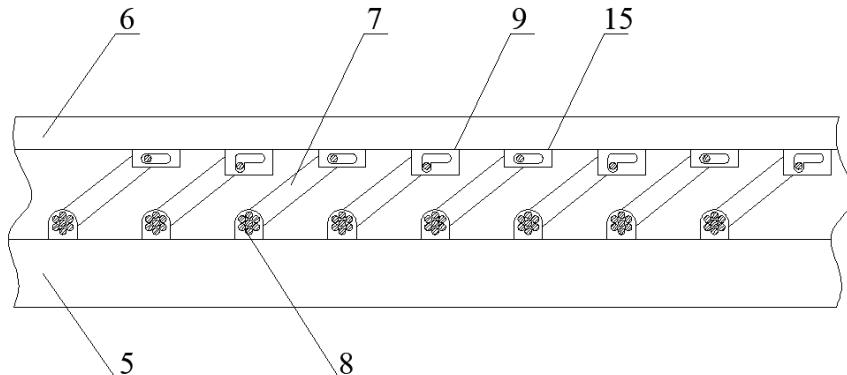


Рисунок 3 – Схема розташування блоків торсіонів на рамі вагона: 5 – хребтова рама; 6 – стрингер; 7 – важіль; 8 – пучковий торсіон разом з корпусом; 9 – кронштейн вторинного торсіона разом з замком та датчиком навантаження; 15 – кронштейн первинного торсіона.

Відмінність первинного та вторинного торсіонів полягає у величині зазору між стрингером 6 та хребтовою балкою, при якому у торсіоні починаються відбуватися деформації зсуву. Вільний кінець торсіонів сполучений з важелем 7. Вільний кінець важеля має вісь яка взаємодіє з кронштейнами 9 та 15 [7]. Кронштейни первинних та вторинних торсіонів відрізняються формою отвору вільного ходу. На кронштейнах вторинних торсіонів змонтовані датчики навантаження, які у автоматичному режимі керують замками кронштейнів. Замки кронштейнів можуть блокувати увод до дії вторинних торсіонів.

Запропонована конструкція вагону для морських поромних перевезень відрізняється тим, що модуль котла у нижній частині сполучений з поздовжнім стрингером, виконаним з П-подібного профілю, та між яким та хребтовою балкою, за довжиною якої між задніми упорами автозчепів розміщаються первинні та вторинні пучкові торсіони, які одним кінцем сполучені з корпусом та хребтовою балкою, а іншим кінцем сполучені з важелем, який взаємодіє з кронштейнами на стрингері.

Для формування вантажного залізничного поїзду вагон-цистерна з'єднується з заднім вагоном і переднім вагоном (або локомотивом) через модуль автозчепного пристрою (рис. 1) та з гальмовою магістраллю поїзду через модуль гальмівного обладнання 3. Вертикальні навантаження від транспортуємого вантажу, що розміщений у вагоні, передаються на модуль рами та далі на осі колісних пар двох двовісних візків модуля екіпажної частини. В процесі руху вантажного поїзда рейковою нерівністю відбуваються коливання підскакування, які будуть компенсуватися силами опору, що виникають у пучкових торсіонах.

У першому динамічному режимі (рух вагону без вантажу) в процесі руху вантажного поїзда рейковою нерівністю відбуваються коливання підскакування, які будуть компенсуватися силами опору, що виникають у первинних пучкових торсіонах. Вторинні торсіони не будуть задіяні. Оси важелів вторинних торсіонів будуть вільно рухатися у фігурних отворах кронштейнів.

У другому динамічному режимі (рух вагону з вантажем) під впливом вантажу зменшиться зазор між стрингером та хребтовою рамою, що призведе до уводу до дії вторинних торсіонів разом з первинними.

Таким чином, будуть створені умови підвищення втомної міцності рами вагона шляхом зменшення динамічної завантаженості, що забезпечується посередництвом опору сил виникають у всіх пучкових торсіонах при коливаннях підскакування вагона.

Використання торсіонів в несучій конструкції вагонів буде сприяти зменшенню вертикальних прискорень, які діють на нього, покращенню втомної міцності. В свою чергу, застосування комбінації додаткового стрингера та первинних і вторинних торсіонів забезпечить:

- достатню міцність елементів рами при дії циклічних навантажень;
- відсутність суттєвого порушення геометрії рамних конструкцій під впливом експлуатаційних та кліматичних чинників та забруднення;
- можливість врахування характеристик захисних елементів в залежності від завантаження вагону;
- можливість монтажу на існуючих вагонах без суттєвих змін конструкції.

В цілому впровадження запропонованого схемотехнічного рішення може позитивно вплинути на збереженість морських та залізничних транспортних засобів та безпеку транспортних операцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ловська, А. О. Розвиток наукових основ розрахунків конструкцій вагонів шляхом урахування наднормованих режимів експлуатації: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07. – Харків, 2021. – 406 с.
2. Фомін О. В. Розвиток наукових основ створення та ефективного використання вантажних вагонів: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07. – Сєверодонецьк, 2016. – 40 с.
3. Фомін О. В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів. – Київ: ДЕТУТ, 2014. – 299 с.
4. Вікович, І. А., Дубневич, О. М., Черевко, Ю. М. Віброзахист вантажів під час їх транспортування // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2008. – № 613. – С. 85-89.

5. Патент України № 115987. МПК (2017.01) B61D 5/00. Залізничний вагон-цистерна / С. О. Шпак, А. Д. Чепурний, О. В. Литвиненко, В. С. Марінюк, Р. І. Шейченко, О. В. Морозюк, Д. В. Степанов, Р. В. Граборов, М. О. Чубань; Володілець патенту ТОВ "РЕЙЛТРАНСХОЛДІНГ". – u201608459. – заявл. 01.08.2016; опубл. 10.05.2017, бюл. № 9. – 4 с.

6. Патент України № 148122. МПК (2021.01) B61D 5/00. Вагон-цистерна з пружними елементами в несучій конструкції / О. В. Фомін, А. О. Ловська; Володілець патенту Український державний університет залізничного транспорту. – u 2021 00208. – заявл. 20.01.2020; опубл. 07.07.2021, бюл. № 27/2021. – 4 с.

7. Патент України на винахід № 122983. МПК G01G 11/10 (2006.01), G01G 21/10 (2006.01), B65G 39/02 (2006.01), B60G 11/18 (2006.01), B60G 17/02 (2006.01), B62D 55/108 (2006.01). Система адаптивної підвіски стрічкового транспортера / А. К. Сандлер, Ю. М. Цюпко; Заявники та володарі патенту Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М. – a201810698. – заявл. 29.10.2018; опубл. 27.01.2021, бюл. № 4/2021. – 3 с.

УДК 629.5.064.5.(045)

АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ДЕЯКИМИ ПРОЦЕСАМИ СУДНОВИХ ГЕНЕРАТОРНИХ АГРЕГАТІВ

В.А. Шевченко, д.т.н., доцент

Ю.І. Теплов, доцент

А.М. Романов, ст. викладач

Г.Б. Хілков, ст. викладач

I.В. Петков, курсант

Національний університет «Одесська морська академія»

Аннотація. Запропоновано спосіб алгоритмічного опису процесу функціонування суднового дизель-генератору. Автоматизація процесу пуску забезпечує постійну готовність дизелю до пуску шляхом підтримки певного теплового режиму та періодичного мастилопрокачування, процес якого повністю формалізований за допомогою результатних функцій. Розроблено схему зв'язку локальної підсистеми з об'єктом управління. Описані алгоритмічно усі можливі стани об'єкту при пуску, а також умови переходу між ними. Синтезовано повний алгоритм функціонування програми пуску дизель-генератору у вигляді логічної схеми алгоритму. Наведені алгоритми є універсальними з точки зору адаптації до управління дизель-генераторами різної конфігурації, оскільки мають доступний опис та легко редактується.

Ключові слова: пуск дизель-генератору; алгоритм управління; суднова електростанція; результатна функція; логічна схема алгоритму.

MARINE GENERATOR SETS' PROCESSES AUTOMATION

V. Shevchenko, Dr. of Technical Sciences, associate professor

Y. Teplov, associate professor

A. Romanov, senior lecturer

G. Khilkov, senior lecturer

I. Petkov, cadet

National university “Odessa maritime academy”

Abstract. Ships electrical power plants power growing is continuous process during all merchant fleet history. Due to complexity of modern marine electrical power plant one of the most important problems is the power plants control systems development in order to improve the reliability and efficiency. One of the most important parts of marine electrical power plant is generator prime mover which in most cases is pre-

sented by internal combustion engine. Recent years the sufficient changes in design, concept and some processes in internal combustion engines had born a number of new control tasks for engine developers. This paper task is development of diesel-generators starting and stopping processes control methods. Proposed control method provides diesel engine continuous readiness for starting by means of keeping necessary thermal mode and periodical prelubrication. Controllable object and control system function diagram is presented in paper. Such function diagram presents an interface with such important peripheral components as: heating valves, cooling water valves, starting air valves; fuel rack position sensors, engine speed sensors, temperature sensors, prelubrication pressure sensors; governor servomotor, prelubrication pump, engine slow turning device. All possible states and its transfer conditions of diesel-generator were algorithmically described. As algorithmization mean were used resultant function method and algorithm logic diagram method as most compact and clear algorithm description form. Engine starting process full algorithm was synthesized in algorithm logic diagram form. One of the engine states algorithm is presented in the table form. It is supposed to use such algorithms as the basis of local control subsystem in two level power plant distributed control system. Presented algorithms are multipurpose in the point of different diesels and generators configuration and are clearly described with easy editing and control system integration possibility.

Keywords: diesel-generator starting; control algorithm; ship's electrical power plant; result function; algorithm logic diagram.

Постановка проблеми. Ускладнення конфігурації та постановка нових завдань [1-4] перед сучасними судновими електроенергетичними системами (СЕЕС) вимагають пошуку нових підходів до побудови їх систем управління та автоматизації ключових процесів. У особливій мірі це стосується суден із електричним пропульсивним комплексом [5,6,7], системами динамічного позиціонування [8] та великотоннажних суден торгівельного флоту [9,10] із СЕЕС великої потужності.

У роботах [11-15] відзначається, що поряд із надійністю, визначальним фактором подальшого розвитку суднової електроенергетики є енергозбереження та економічність паливовикористання. Це пояснює той факт, що проблема оптимізації СЕЕС повинна постійно знаходитись у центрі уваги, як розробників, так і експлуатаційників.

Разом із необхідністю забезпечення надійності та економічності актуальним є завдання досягнення високої швидкодії вимірювання параметрів та керування агрегатами СЕЕС. Вирішення даного завдання запропоновано у роботах [16-18].

Невід'ємною частиною СЕЕС є приводні двигуни, у якості яких у більшості випадків використовуються двигуни внутрішнього згоряння, удосконалення яких було особливо відчутним у останні кілька десятиріч. Стосується це, насамперед, систем подання палива, мастила та випуску газів із впровадженням технології «Common rail» у двигунах таких провідних виробників, як MAN B&W та Wartsila [19,20]. Такі суттєві зміни у конструкції, процесах та концепції управління приводними двигунами ставлять перед розробниками нові завдання з управління ключовими процесами дизель-генераторів, як елементів СЕЕС.

Основний матеріал дослідження. Пусковий режим роботи дизеля характеризується різкими змінами теплових і динамічних навантажень. Сприяють пуску дизеля висока якість розпилу палива й прогрів дизеля перед пуском. Переохолодження пускового повітря у результаті його розширення у циліндрі впливає на робочі процеси дизеля, викликаючи високі швидкості наростиання

тиску ($\Delta P / \Delta \phi = 1200 \div 1500$ кПа/град, де ϕ – кут положення кривошипу від ВМТ), що приводить до підвищених динамічних навантажень у двигуні при пуску. Статистика відмов і аварій дизелів свідчить, що найбільше їхнє число припадає на перехідні режими пуску.

Криві розгону дизелю повітрям можуть бути отримані розрахунковим шляхом, якщо звернутися до рівняння руху [21-22]:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_p(\phi, t) - M_o,$$

де J – приведений момент інерції ДГ, M_p – рушійний момент, кНм; M_o – момент опору, кНм; ϕ – кут положення кривошипа від ВМТ, град.

Рушійний момент можна представити у вигляді рівняння

$$M_p = A \sin \phi + B \sin 2\phi,$$

де $A = P_{\pi} V_0$; $B = \lambda 2P_{\pi} V_0$; $V_0 = F \cdot r$; $\lambda = r/L$; P_{π} – початковий тиск повітря у циліндрі у перший момент зрушення поршня, кПа; F – площа поршня, м²; r – радіус кривошипу, м; L – довжина шатуна, м;

Оскільки повітря надходить одночасно у декілька циліндрів, то число пускових порожнин, що працюють одночасно, визначається вираженням $m = (\phi_2 - \phi_1) i / 2\pi$ де ϕ_2, ϕ_1 – кут від ВМТ відповідно кінця закриття й початку відкриття пускового клапану; i – число циліндрів двигуна. Тому процес розгону дизеля можна описати виразом:

$$M_p = A \sum_i \sin \phi_i + B \sum_i \sin 2\phi_i.$$

Зниження негативних впливів динаміки пуску на дизель досягають шляхом підтримки певного теплового режиму і періодичного мастилопрокачування, забезпечуючи у такий спосіб постійну готовність дизеля до пуску. Відповідно до інструкцій, пуск дизеля допускається при температурі мастила не нижче 8–15 °C, а прийняття навантаження не нижче 30–40 °C. Конкретні значення залежать від типу дизеля і від сорту мастила, використовуваного у системі машиння і граничного навантаження підшипників дизеля. Підігрів мастила і води у внутрішньому контурі системи охолодження здійснюється при одночасному прокачуванні їх через дизель. При цьому управління електромагнітними клапанами підігріву пов'язують звичайно з кінцевими (початковими) станами процесів пуску/зупинки дизеля.

Прокачування мастила залежно від виду управління (ручне MNL ; автоматичне AUT) може бути безперервним $MNL = I$ або циклічним $AUT = I$, $AUT \oplus MNL$. При ручному - команді на пуск ST_{LB} , зупинку SP_{LB} насоса мастилопрокачування надходять у перетворювач від відповідних кнопок, причому бажане, щоб оператор виконував умову $ST_{LB} \oplus SP_{LB}$. Проте, у перетворювачі повинно бути передбачене блокування можливих помилок оператора або несправностей схем зовнішніх з'єднань із пріоритетом на зупинку.

Прийнявши у якості передумов до результатної функції \bigcup_{HR} шуканого перетворювача предикати ON_{LB} й OF_{LB} , що обумовлюють формування команд на включення й відключення насоса прокачування мастила, запишемо

$$F(X_{HR}) \cong \bigcup_{LB} (PRHR, V_{LB}, t) \rightarrow ON(LB) \oplus OF(LB),$$

де $PRHR$ – програма управління гарячим резервом; X_{HR} – вектор вхідної інформації, причому $X_{HR} = (ST(LB), SP(LB), AUT, MNL, P_{LB}, LB_{ON}, t)$; V_{LB} – множина найсильніших передумов, які необхідно визначити; P_{LB} – тиск мастила; LB_{ON} – сигнал від блок-контакту контактора, що включає електродвигун прокачування.

Приступимо до визначення вектору V_{LB} . Якщо при ручному управлінні тривалість T_{ST} роботи насоса й паузи T_{SP} визначаються розподілом команд $ST(LB)$, $SP(LB)$ у часі, що повністю залежить від оператора, то при автоматичному управлінні T_{ST} й T_{SP} повинні бути детерміновані й контроль їх змінювання є основною функцією перетворювача \bigcup_{LB} . Тому уведемо у вигляді предикатів $TST(LB)$, $TSP(LB)$ найслабкіші постумови перетворювача \bigcup_{TLB} , що відслідковує часові інтервали й формує $TST(LB) \oplus TSP(LB) = I$ після закінчення відповідних їм часових інтервалів.

Установимо, також, правило, згідно якому після закінчення часу T_{LBP} на ділянці T_{ST} , що відслідковується з моменту $ON(LB) = I$, необхідно проконтролювати тиск P_{LB} мастилопрокачування й зробити висновок про вдале $P(LB) = I$ або невдале $P(LB) \neq I$ прокачування мастила. Якщо за час T_{LBP} мастилопрокачування не вдалося, то необхідно встановити діагноз несправності глибиною “електрична схема або силова електромеханічна частина” шляхом обстеження предиката $LBON$, що характеризує стан контактора електродвигуна мастилопрокачування. Тобто, якщо $LBON = I$, а $P(LB) \neq I$, то контактор включений, схема справна, але несправна силова електромеханічна частина, а якщо ні, то несправна схема включення. У першому випадку перетворювач повинен сформувати предикат $LBFM = I$, у другому $LBFE = I$, за умови $LBFM \oplus LBFE = I$.

Таким чином, у масив змінних X_{HR} повинні входити, також, значення часових інтервалів $T_{ST}, T_{SP}, T_{LBP}, \Delta T_{CNT}$ у одиницях часу або у відносних еквівалентах $B_{ST}, B_{SP}, B_P, B_{BNT}$, де $B_{ST} = T_{ST} / \Delta T_{CNT}$;

$B_{SP} = T_{SP} / \Delta T_{CNT}$; $B_P = T_{LBP} / \Delta T_{CNT}$; $B_{CNT} = \Delta T_{CNT} / \Delta T_{CNT}$ – одиниця рахування. Тут, як і у інших програмах приймемо $\Delta T_{CNT} = K_{TM} T_{TЦ}$, де $T_{TЦ}$ – час основного програмного такту; K_{TM} – коефіцієнт, за допомогою якого можна варіювати часовими інтервалами. Результатну функцію перетворювача \bigcup_{TLB} , що відслідковує часові інтервали, запишемо у вигляді

$$F_{TLB}(T_{ST}, T_{SP}, T_{LBP}, \Delta T_{CNT}, K_{TM}, T_{TЦ}, t) \cong \bigcup_{TLB} (PRTM, B_{ST}, B_{SP}, B_P, B_{CNT}, T_{TЦ}, t) \rightarrow \{TST(LB), TSP(LB), TP(LB)\},$$

а правило відстеження й породження предикатів у вигляді циклічної інструкції:

*while PRTM&B_i do:if B_i(t+1)-B_{CNT}=0 then T_i(LB)
 else fi od, i ∈ (ST,SP,P).*

Оскільки команди ST(LB), SP(LB) імпульсного характеру, то виникає необхідність їх запам'ятовування, скидання пам'яті, а також блокування, що забезпечує умова породження MST ⊕ MSP, де MST, MSP – пам'ять "старту" і пам'ять "стопу", відповідно. Тому результатні функції їх перетворювачів ∪_{MST}, ∪_{MSP} повинні мати вигляд:

$$F_{MST}(X_{LB}, F_{TLB}) \cong MNL \& (\overline{MSP}(t+1) \& (MST(t) \vee ST(t+1) \vee AUT \& \\ \& (MST(t) \& \overline{TST}(LB) \vee \overline{MST}(t) \& TSP(LB)) \xrightarrow{PR_{MST}} MST(LB)$$

$$F_{MSP}(X_{LB}, F_{TLB}) \cong MNL \& (SP(t+1) \vee MSP(t) \& \overline{ST}(t+1)) \vee \\ \vee AUT \& (MSP(t) \& TSP(LB) \vee \overline{MSP}(t) \& TST(LB)) \xrightarrow{PR_{MSP}} MSP(LB).$$

Для виключення збоїв у управлінні, що можливо при переході з ручного на автоматичний вид, необхідно передбачити попередню установку TSP(LB)=I, TST(LB)≠I, шляхом обнулення комірки, що зберігає поточне значення числа B_{SP}, і записи повного числа B_{ST}. Перетворювач контролю вдалого мастилопрокачування й діагностики системи, з урахуванням сформульованих вище умов, запишемо у вигляді наступної результатної функції:

$$\bigcup_{MEM}(LB)(PR_{MEM}, AUT, MST, TPLB, PLB, LBON) \rightarrow \\ \rightarrow MEM(LB), LBFE \oplus LBON,$$

а правило породження предикатів у вигляді інструкції

if AUT&MST&TPLB&PLB&LBON then LBON, MEM(LB)
else if AUT&MST&TPLB&PLB&LBON then LBON, MEM(LB) else fi, де
 MEM(LB) – предикат, що підтверджує аварію мастилопрокачування.

Таким чином, визначені правила породження всіх найсильніших передумов, що входять у множину

$$V_{LB} = (MST(LB), MSP(LB), TST(LB), TSP(LB), TP(LB), PLB, MEM(LB)),$$

що надає можливість, застосовуючи ЛСА, синтезувати повний алгоритм управління й контролю мастилопрокачування

$$PRLB = S_{\Pi} \stackrel{K}{AUT} \uparrow \stackrel{1}{MEM} \uparrow \omega \uparrow \stackrel{K}{\downarrow} \stackrel{1}{MST} \uparrow \stackrel{2}{PLB} \uparrow \stackrel{3}{(\Delta B_{ST}(t) - B_{CNT} = 0)} \uparrow \stackrel{K}{WR}: \\ MSP, B_{SP}, OFLB. \omega \uparrow \downarrow \stackrel{K}{(\Delta B_p(t) - B_{CNT} = 0)} \uparrow \stackrel{K}{\uparrow} \stackrel{4}{LBON} \uparrow \stackrel{K}{WR:LBON, MEM} \omega \uparrow \\ \downarrow \stackrel{4}{WR:LBFE} \omega \uparrow \downarrow \stackrel{K}{\uparrow} \stackrel{2}{MSP} \uparrow \stackrel{MIP}{(\Delta B_{SP}(t) - B_{CNT} = 0)} \uparrow \stackrel{K}{\uparrow} \stackrel{K}{WR:MST, B_{ST}}, \\ B_p, ONLB. \downarrow \stackrel{K}{S_K},$$

де MIP – повідомлення операторові про помилку у програмі, оскільки вираз MST & MSP при автоматичному виді управління не може бути дійсним.

Слід зазначити, що розглянутий спосіб може бути використаний при алгоритмізації циклів управління будь-якими іншими технологічними процесами на судні, наприклад, для періодичного виклику програми розподілу активних навантажень між паралельно працюючими ГА.

Перейдемо до розв'язання завдань алгоритмізації управління процесами пуску й зупинки ДГ. У якості вихідної схеми, що характеризує набір функціонально необхідних периферійних елементів системи для управління процесами пуску й зупинки, приймемо схему, показану на рис. 1,

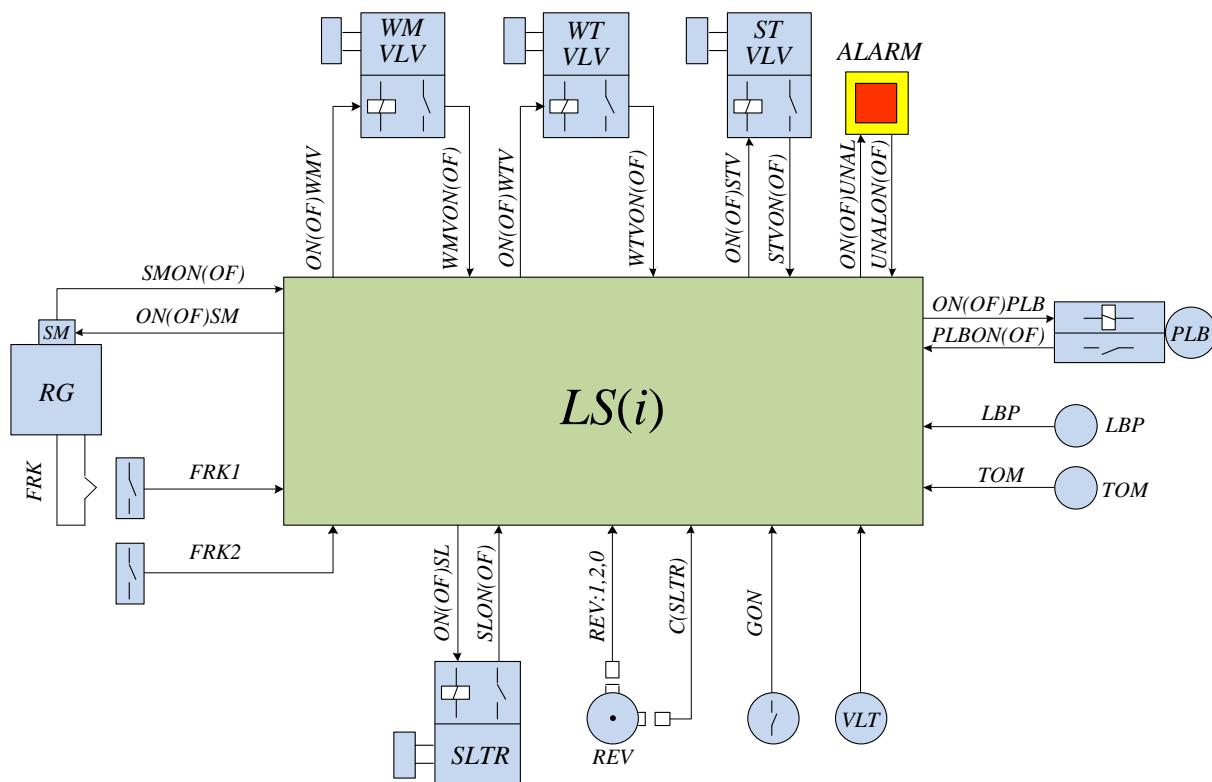


Рисунок 1 – Зв'язок локальної підсистеми і об'єктів управління

де $WMV LV$, $WT VLV$, $ST VLV$, $SLTR$ – електромагнітні клапани управління підігрівом охолоджуючої води, пускового повітря й повільного провертання дизелю, відповідно, PLB – електродвигун насоса мастилопрокачування; LBP , TOM , VLT , GON , REV , $C(SLTR)$ – датчики тиску мастилопрокачування, мінімальної температури мастила, напруги, стану генераторного вимикача, обертів і числа повільних провертань валу; FRK , RG , SM – паливна рейка, регулятор, серводвигун регулятора; $ALARM$, $UNAL$ – аларм і блокування аларма.

Будемо вважати, що локальна підсистема $LS(i)$ повинна не тільки посилати команди $ON/OFF \sim$ на включення/відключення виконавчого органу (\sim), але й контролювати його стан $\sim ON/OFF$ – включене/виключене, шляхом обробки сигналів, що надходять від допоміжних контактів контактора.

Таким чином, предикат $ONSTV$ будемо вважати дійсним, якщо є команда "Включити пусковий клапан", а предикат $STVON = I$, якщо контактор, що подає живлення на електромагнітний клапан, спрацював.

Супервізор локальної підсистеми звертається до програми *PRST* пуску при переході $LS(i,1) \rightarrow LS(i,2)$, якщо є команда *MST* на пуск ДГ. З метою підвищення функціональної надійності ПЗ доцільно передбачити у програмі *PRST* повторну (після супервізора) перевірку стану об'єкта управління. Вихідний стан повинний описуватися наступним словом

$$SIGNLS(i,2.0)=\overline{GON} \& \overline{REV2} \& \overline{REVI} \& \overline{TOM} \& \overline{FRK1},$$

тобто предикати, що характеризують цей стан генераторного автомата, другої і першої уставок обертів, мінімальної температури мастила й першого положення рейки паливних насосів, повинні бути невірними. У цьому випадку виконання програми *PRST* повинне починатися з установки *FRK* на пускову оцінку шляхом включення *ONSM1* серводвигуна регулятора. Час роботи серводвигуна повинен бути обмежений відрізком *B(SM1)*, протягом якого програма повинна контролювати роботу сервомотора й положення рейки. Цей стан позначимо $LS(i,2.1)$, а його ознаку виразимо словом

$$SIGNLS(i,2.1)=\overline{SMON} \& \overline{FRK1} \& \overline{TMSM1},$$

де *TMSM1* – предикат, дійсний після закінчення часу *B(SM1)*.

У такому випадку інструкцію переходу системи від стану $LS(i,2.0)$ до стану $LS(i,2.1)$ запишемо у вигляді наступного правила:

if SINGLS(i,2.0) then do: ONSM1,WR:B(SM1),LS(i,2.1) od fi

Отже, у наступному $t+1$ технологічному циклі програма *PRST* повинна почати роботу з нової $LS(i,2.1)$ області, що виразимо у вигляді інструкції:

while SBLS(i,2.1) do:if SIGNLS(i,2.1) then S_K else

if SMON&FRK1 do:OFSM,OFWMV,ONWTV,ONPLB,ONSLTR,

WR:C(SLTR4),B(PLB),LS(i,2.3) else do:WR:EM od fi,

тобто, якщо ознака $LS(i,2.1)$ зберігається у новому такті, то ніяких дій не вживається, якщо ж ознаки $LS(i,2.1)$ немає, і при цьому паливна рейка досягла першої уставки *FRK1*, то виконуються дії: відключення серводвигуна, відключення клапана підігріву, включення клапана охолоджуючої води, мастилопрокачки й повільного провертання; записується: число *C(SLTR4)*, що визначає кількість обертів у повільному провертанні, час контролю вдалої мастилопрокачки й новий стан $LS(i,2.3)$. При невдалій установці рейки у положення *FRK* реєструється аварія.

Тепер формалізуємо за допомогою табл. 5.1 функціонування алгоритму *PRST* на нульовій *SBLS(i,2.0)* області з обліком усіх можливих відхилень від слова ознаки *SIGNLS(i,2.0)*. Перше відхилення $LS(i,2.0.1)$ пов'язане з тим, що ДГ за температурою мастила *TOM = I* готовий до приймання навантаження, тому програма включить серводвигун у роботу так, щоб рейка встановлювалася у положення *FRK2*.

Контроль над цим здійснюється у гілці $LS(i,2.2)$. У момент, коли *FRK2* стане дійсним, програма повинна перейти до виконання операцій пуску анало-

гічно варіанту $LS(i,2.0.2)$, тобто підпрограми $SBLS(i,2.2)$, $SBLS(i,2.1)$, $SBLS(i,2.0.2)$ за своїм результатом повинні бути ідентичними. У всіх випадках вони закінчуються реєстрацією чергової $LS(i,2.3)$ гілки алгоритму.

Таблиця 1 - Функціонування алгоритму $PRST$ на нульовій області з обліком усіх можливих відхилень

Послідовність перевірок слова-ознаки	Стани предикатів								Результат виконання алгоритму
	GON	REV2	REV1	UNALON	VLT	FRK1	FRK2	TOM	
$LS(i,2.0.0)$	0	0	0	—	—	0	—	0	$ONS M1; WR: SM1; S_K$
$LS(i,2.0.1)$	0	0	0	—	—	0	0	1	$ONS M2; WR: B(SM2), LS(i,2.2); S_K$
$LS(i,2.0.2)$	0	0	0	—	—	1	0	0	$OFWMV; ONWTV; ONPLB; ONSLTR;$ $WR: C(SLTR4); B(PLB); LS(i,2.3); S_K$
$LS(i,2.0.3)$	0	0	1	—	—	—	1	—	$ONTMCNT; OFPLB; OFSTV; WR:$ $B(UNAL), B(REV2); LS(i,3.3); S_K$
$LS(i,2.0.4)$	0	0	1	—	—	—	0	—	$WR: B(TOM), LS(i,3.1); S_K$
$LS(i,2.0.5)$	0	1	—	1	1	—	—	—	$WR: LS(i,4.1); S_K$
$LS(i,2.0.6)$	0	1	—	1	0	—	—	—	$WR: MEM; S_K$
$LS(i,2.0.7)$	0	1	—	0	—	—	—	—	$WR: B(UNAL), LS(i,3.4); S_K$
$LS(i,2.0.8)$	1	—	—	—	—	—	—	—	$JPRCLS$

Якщо у результаті перевірки слова-ознаки $SBLS(i,2.0.3)$ виявиться, що ДГ уже запущений $REV1=I$, і рейка перебуває у положенні $FRK2$, але $REV2 \neq I$, то програма повинна зареєструвати третій стан $LS(i,3)$ системи, записати час розгону $B(REV2)$ дизеля й контролювати розгін на гілці $LS(i,3.3)$. Якщо ж $FRK2 \neq I$, то реєструється перша гілка $LS(i,3.1)$ третього стану, на якій програма повинна включити $ONS M2$ серводвигун регулятора. Якщо при перевірці слова-ознаки стану виявиться, що ДГ має номінальні оберти $REV2 = I$ й напругу $VLT = I$ при знятому блокуванні аварії $UNAL = I$, то програма повинна зареєструвати четвертий стан $LS(i,4)$ – “Двигун готовий до приймання навантаження”. Якщо блокування аварії не зняте, то реєструється остання гілка третього стану $LS(i,3.4)$, на якій повинен проводитися контроль витікання часової затримки $TMUNAL$ включення захистів від аварії за тиском мастила.

Для остаточного розв'язання завдання по встановленню властивостей алгоритму обробки другого $LS(i,2)$ стану введемо додатково до названих вище гілок ще три – $LS(i,2.4)$, $LS(i,2.5)$ і $LS(i,2.6)$ гілки. При цьому накажемо їхньому функціонуванню наступні результатні функції, задані у вигляді послідовностей таблиці 2.

З таблиці 2 випливає, що виконання алгоритму на гілці $LS(i,2.4)$ може закінчитися одним з трьох варіантів.

Перший, якщо процес мастилопрокачування вдався, полягає у реєстрації числа (C) спроб пуску, формуванні команди на включення пускового клапану, запису числа B , що визначає припустимий час відкритого стану пускового кла-

пану й реєстрації нової гілки.

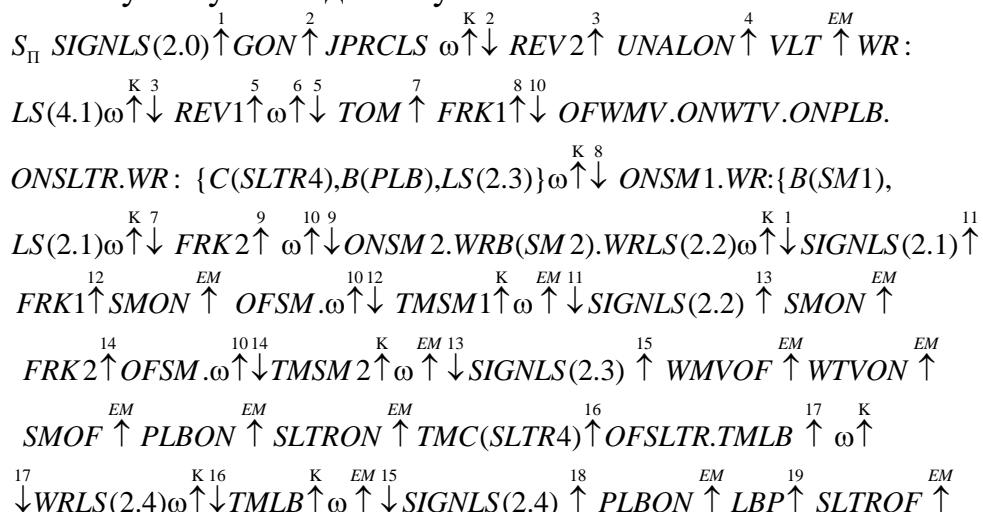
Другий полягає у реєстрації аварії, якщо з якоїсь причини не ввімкнулися насос мастилопрокачування або клапан повільного провертання, або насос включений, але тиск після закінчення заданого часу недостатній.

Таблиця 2 - Функціонування алгоритму обробки трьох гілок $LS(i,2.4)$, $LS(i,2.5)$ і $LS(i,2.6)$ другого $LS(i,2)$ стану

Послідовність установлення слова-ознаки	Стани предикатів									Результат виконання алгоритму	
	PLBON	LBP	SLTROF	TMLB	STVON	REV1	FRK2	TMSTVON	TMST	STVOF	
$LS(i,2.4.1)$	1	1	1	–	–	–	–	–	–	–	WR: $C(ST)$, $B(STVON)$, $LS(i,2.5)$, $ONSTV$; S_K
$LS(i,2.4.2)$	–	–	0	–	–	–	–	–	–	–	
$LS(i,2.4.3)$	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	WR: MEM ; S_K
$LS(i,2.4.4)$	1	0	–	1	–	–	–	–	–	–	
$LS(i,2.4.5)$	1	0	–	0	–	–	–	–	–	–	S_K
$LS(i,2.5.1)$	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	WR: MEM ; S_K
$LS(i,2.5.2)$	–	–	–	–	0	–	–	–	–	–	
$LS(i,2.5.3)$	1	–	–	–	1	1	1	–	–	–	WR: $B(UNAL)$, $B(REV2)$, $LS(i,3.3)$, $ONTMCNT$; $OFLB$; $OFSTV$; S_K
$LS(i,2.5.4)$	1	–	–	–	1	1	0	–	–	–	$ONTMCNT$; WR: $B(UNAL)$, $B(TOM)$, $LS(i,3.1)$; S_K
$LS(i,2.5.5)$	1	–	–	–	1	0	–	1	0	–	$OFSTV$; WR: $B(STVOF)$, $LS(i,2.6)$; S_K
$LS(i,2.5.6)$	1	–	–	–	1	0	–	0	–	–	S_K
$LS(i,2.5.7)$	1	–	–	–	1	0	–	1	1	–	
$LS(i,2.6.1)$	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	WR: MEM
$LS(i,2.6.2)$	–	–	–	–	–	–	–	–	0	–	
$LS(i,2.6.3)$	1	–	–	–	–	–	–	–	1	0	S_K
$LS(i,2.6.4)$	1	–	–	–	–	–	–	–	1	1	$ONSTV$; WR: $B(STVON)$, $LS(i,2.5)$; S_K

Третій, якщо насос включений, тиску немає, але час ще не минув, залишається без зміни.

Інші гілки алгоритму призначенні для управління клапаном пускового повітря й контролю спроб пуску. З урахуванням викладеного алгоритм програми пуску $PRST$ синтезуємо у вигляді наступної ЛСА:



$$\begin{aligned}
 & WRC(ST) \downarrow^{25} ONSTV.WR:\{B(STV), LS(2.5)\} \omega \uparrow \downarrow^{K 19} TMLB \uparrow \omega \uparrow \downarrow^{EM 18} \\
 & SIGNLS(2.5) \uparrow^{20} PLBON \uparrow^{EM} STVON \uparrow^{EM} REV1 \uparrow \downarrow^{21 6} ONTMCNT.OFLB.OFSTV. \\
 & WRB(UNAL).FRK2 \uparrow^{22} WR:\{B(REV2), LS(3.3)\} \omega \uparrow \downarrow^{K 22} WR:\{B(TOM), LS(3.1)\} \omega \uparrow \\
 & \downarrow^{21} TMSTVON \uparrow^K OFSTV.TMST \uparrow \omega \uparrow \downarrow^{EM 23} WRB(STVOF).WRLS2.6 \omega \uparrow^{EM} \\
 & \downarrow^{20} SIGNLS(2.6) \uparrow^{24} PLBON \uparrow^{EM} STVOF \uparrow^{EM} TMSTVOF \uparrow \omega \uparrow \downarrow^{25 24} SIGNLS(3.1) \uparrow^{26} \\
 & STVOF \uparrow LBOF \uparrow REV1 \uparrow TOM \uparrow ONSM1.WRB(REV2).WRLS(3.2) \\
 & \downarrow^{29} UNALON \uparrow \omega \uparrow \downarrow^{28 K 28} TMUNAL \uparrow^K ONUNAL \omega \uparrow \downarrow^{K 27} TMTOL \uparrow \omega \uparrow \downarrow^{29 EM 26} \\
 & SIGNLS(3.2) \uparrow^{30} SMON \uparrow^{EM} REV1 \uparrow^{EM} FRK1 \uparrow^{31} OFSM.TMREV2 \uparrow \omega \uparrow \downarrow^{32 EM 32} \\
 & WRLS(3.3) \omega \uparrow \downarrow^{29 31} TMREV2 \uparrow \omega \uparrow \downarrow^{29 EM 30} SIGNLS(3.3) \uparrow^{33} LBOF \uparrow^{EM} SMON \uparrow^{EM} \\
 & STVOF \uparrow^{EM} REV1 \uparrow^{EM} REV2 \uparrow^{34} UNALON \uparrow \omega \uparrow \downarrow^{35 36 34} TMREV2 \uparrow \omega \uparrow \downarrow^{29 EM 33} \\
 & SIGNLS(3.4) \uparrow^{37} REV2 \uparrow \downarrow^{EM 35} TMUNAL \uparrow^K ONUNAL \downarrow VLT \uparrow^{EM} WR:LS(4.1) \omega \uparrow^K \\
 & \downarrow^{4} WRB(UNAL) \downarrow^{38} WRLS(3.4) \omega \uparrow \downarrow^{K 37} SIGNLS(4.1) \uparrow^{CLS} REV2 \uparrow^{EM} VLT \uparrow^{EM} \\
 & UNALON \uparrow^{EM} \omega \uparrow \downarrow^{K EM} WR:MEM \downarrow S_K
 \end{aligned}$$

де у порядку скорочення опущено запис індексу i у позначеннях $LS(i, \dots)$.

Висновки. У роботі запропоновано підхід до автоматизації управління процесами пуску та зупинення дизель-генераторів у розподіленій мікропроцесорній системі, який полягає у описі усіх можливих станів дизель-генераторної системи, умов переходів між ними та синтезі алгоритму функціонування такої системи. Описані алгоритмічно усі можливі стани об'єкту при пуску та умови переходів між ними. Синтезовано повний алгоритм функціонування програми пуску дизель-генератору у вигляді логічної схеми алгоритму.

Наведені алгоритми є універсальними з точки зору адаптації до управління дизель-генераторами різних конфігурацій, оскільки мають доступний опис та легко редактується.

ЛІТЕРАТУРА

1. Захарченко В. Н. Решение задач управления судовой электроэнергетической установкой при изменении нагрузки / В. Н. Захарченко, В. А. Шевченко // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб., 2015, Вып. 36, с. 74-82.
2. 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/TCSET49122.2020.9235588.
3. Шевченко В.А. Оптимизация управления электростанцией из условия минимума расхода топлива и с учетом метеоусловий // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. 2018. № 4. С. 94–103.

4. 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.
5. V. Budashko and V. Shevchenko, "Synthesis of the Management Strategy of the Ship Power Plant for the Combined Propulsion Complex", 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), pp. 106-108, 16-18 Oct. 2018.
6. Pipchenko O.D., Tsymbal M., Shevchenko V. Recommendations for Training of Crews Working on Diesel-Electric Vessels Equipped with Azimuth Thrusters. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 12, № 3, DOI:10.12716/1001.12.03.17, pp. 567–571, 2018.
7. Pipchenko, A. D. Vessel heading robust automatic controller for varying conditions [Text] / A. D. Pipchenko, V. A. Shevchenko // Marine Intellectual Technologies. – 2018. – V. 4, I. 4(42). - P. 208-214.
8. I. Hvozdeva, V. Myrhorod, V. Budashko and V. Shevchenko, "Problems of Improving the Diagnostic Systems of Marine Diesel Generator Sets", 2020 IEEE 15 th International Conference in Advanced Trends in Radioelectronics Telecommunications and Computer Engeneering (TCSET), pp. 350-354, 2020.
9. Шевченко В. А. Способ верификации функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией / В. А. Шевченко // Научный вестник Херсонской государственной морской академии: науч.-техн. сб., 2015. Вып. 1, с. 296-301.
10. Пипченко А. Д. Уточнение математической модели ходкости контейнеровоза класса ULCS по результатам испытаний / Пипченко А. Д., Копанский С. В., Шевченко В. А. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017 - С. 169-176.
11. Шевченко В. А. Оптимизация процесса автоматической синхронизации судовых дизель-генераторов при детерминированной постановке задачи / В. А. Шевченко // Автоматизація технологічних та бізнес-процесів: наук. журн. – 2018. – № 4. – С. 43–52.
12. Шевченко В. А. Синтез алгоритмов управления вало- и дизель-генераторными установками // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: наук. журнал. — Вип. 1(12). — Херсон: Видавництво ХДМА, 2018. — С. 92 — 97.
13. Шевченко В. А. Метод и особенности синтеза алгоритмов верхнего уровня системы управления судовой электростанцией / В. А. Шевченко // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2018. – № 6(247). – С. 165–174.
14. Шевченко В.А. Способ решения задач управления процессом пуска и остановки дизельгенератора в системах управления судовыми электростанциями // Наукові праці: Науково-методичний журнал. – Вип. 254. – Т. 266. Комп’ютерні технології. – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2018.
15. Шевченко В.А. Решение задачи оптимального управления подгонкой частоты дизель-генераторов в судовых электроэнергетических установках // Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). – 2018. – №2(10). – С. 88-96.
16. Пономаренко В.В. Спосіб підвищення швидкодії вимірювання параметрів суднових електроенергетичних систем / В. В. Пономаренко, В. А. Шевченко, Ю. І. Теплов // X Міжн. наук.-техн. конф. «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика» (SEEEA-2020). 24-25 листопада 2020 р. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 68-75.
17. Шевченко В. А. Алгоритм быстрой оценки параметров судовых электроэнергетических систем // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2018. – №3(244). – С. 136 – 141.
18. Пипченко А.Н. Принципы построения и основы наладки контроллеров и систем автоматики: Учебное пособие / Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Шевченко В.А. – Одесса: ТЭС, 2010. – 592 с. ISBN 978-966-2389-15-9
19. Пипченко А.Н. Эксплуатация, обслуживание и ремонт двигателей MAN B&W-ME: Учебное пособие / Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Шевченко В.А. – Одесса: ТЭС, 2014. – 325 с.
20. Эксплуатация и ремонт одно- и двухтопливных двигателей производства Wartsila в энергетических установках морских транспортных средств: Монография / [Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Шевченко В.А., Табулинский И.Н.]. – Одесса: ТЭС, 2018. – 361 с.
21. Судовые автоматизированные тепло- и электроэнергетические установки. Учебное пособие. / Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Савельев А.Е., Шевченко В.А; Ин-т последипломного образования «Одесск. мор. тренажерн. центр» - Одесса: ТЭС, 2011 – 394 с.
22. Пипченко А.Н. Судовые автоматизированные механические установки: учебное пособие / А.Н. Пипченко, В.В. Пономаренко, В.А. Шевченко. – Одесса: ТЭС, 2015. – 366 с.

ШЛЯХИ РОЗВИТКУ АВТОНОМНОГО СУДНОПЛАВСТВА**Є.М. Оженко**, к.т.н., доцент кафедри АСЕУ**О.Ю. Лісніченко**, здобувач другого рівня освіти**Д.Л. Поштару**, здобувач другого рівня освіти**О.В. Іванов**, здобувач другого рівня освіти**Б.Д. Бегіашвілі**, здобувач другого рівня освіти**Д.В. Філіпчук**, здобувач другого рівня освіти**А.С. Яворський**, здобувач другого рівня освіти

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Розглянуто шляхи розвитку автономного судноплавства, класифікація автономних суден, ключові області, які треба розробити для реалізації автономних рішень та вимогу до освіти операторів автономних суден

Ключові слова: Автономне судноплавство, освіта моряка, проблеми судноплавства.

WAYS OF AUTONOMOUS SHIPPING DEVELOPMENT.**Y.M.Ozhenko**, PhD, associate professor of Ship's Power Plant Automation Department**O.Y. Lisnichenko**, applicant of the second level of education**D.L. Poshtaru**, applicant of the second level of education**O.V. Ivanov**, applicant of the second level of education**B.D. Behiashvili**, applicant of the second level of education**D.V. Filipchuk**, applicant of the second level of education**A.S. Yavorskyi**, applicant of the second level of education

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The ways of development of autonomous shipping, classification of autonomous vessels, key areas to be developed for the implementation of autonomous solutions and the requirement for education of autonomous vessel operators are considered.

Key-words: Autonomous shipping, education of seafarers, problems of navigation.

Розвиток морського транспорту тісно пов'язаний з глобальними змінами технологій в промисловості. Так, перехід від вітрильного флоту до парового не лише дозволив збільшити швидкість судів, а тим самим і об'єм вантажоперевезень, але також дозволив значно скоротити екіпажі таких судів. Продуктивність окремого члена екіпажу судна збільшувалася, що вело до підвищення прибутку які приносили більш технологічні судна. Саме тому пароплавний флот змістив вітрильний флот.

Останні пів століття світова тенденція введення автоматизації систем не минула і флот. Розвиток різних систем сигналізації, контролю і управління дозволили не лише зменшити необхідну кількість персоналу для експлуатації судна, але також дозволило підвищити ефективність і безпеку мореплавання - в першу чергу зменшивши самий уразливий чинник аварійності - людський чинник. В той же час, такі зміни підвищили вимоги до підготовки і навчання моряків. Згідно зі статистикою EMSA розподіл причин аварійних ситуацій у морі в 2019 році були:



Рисунок 1 – Розподіл джерел аварійних ситуацій

Тенденції останнього десятиліття говорять про збільшену увагу до екологічних проблем. Фактично вже укладено ряд міжурядових угод спрямований на зменшення викидів CO₂. У 2018 Міжнародна Морська Організація (IMO) нала клала мету, щоб скоротити емісії парникового газу від глобального торгівельного флоту до що найменше 50% у 2050 році ніж він був порівнянний з рівнем у 2008 році, з метою досягнення повної декарбонізації у кінці століття. Уздовж шляху до мети 2050 року, є також деякі багатообіцяючі законодавчі віхи. До 2030 року, емісії - передусім CO₂- з нових та існуючих суден мають бути меншими з рівнем у середньому 40% від рівня 2008 року. Досягнення цих цілей вимагає зміни в дизайні та дії наступного покоління суден.

На додаток до глобальних програм, є також регіональні ініціативи як наприклад в ЄС, з метою перемістити більше вантажного обороту від наземних доріг до потягів та морських суден.

Епідемія ж covid-19 показала уразливість звичних практик в усіх галузях економіки і людської діяльності. Тренд на цифровізацію охопив фактично усі галузі, а якщо згадати сумні наслідки епідемії для морських перевезень, в першу чергу проблеми із замінами екіпажу у разі закриття портів на карантин, а також збільшені риски для екіпажів і портових працівників, можна дійти висновку, що і ця галузь відчуває зміни вже зараз.

Відповіді на згадані тренди дають нові дослідження і випробування морських автономних і дистанційно керованих надводних судів (МАНС). Класифікація виділяє різні міри автономності:

- Судно з автоматизованими процесами і підтримкою оперування.
- Віддалено кероване судно з екіпажом на борту.
- Віддалено кероване судно без екіпажу на борту.
- Повністю автономне судно.

На сьогодні практично усі великі і середні судна відповідають 1 рангу автономності. З великим рангом автономності діють малі автономні платформи в основному в офшорних установках. Але сьогодні вони показали себе украй ефективними в заздалегідь вивчених і спланованих переходах на короткі дистанції. Але в порівнянні з ними, автономні судна вимагають більшого розвитку технологій, оскільки:

1. Автономні судна відчувають недолік високо-швидкісного каналу обміну інформації, поки судно знаходиться далеко від берегу та портів.

2. Швидкість реагування на управлюючи сигнали автономного судна середнього або великого розміру відрізняється істотно від швидкості реагування малих автономних платформ.

3. Надійність автономного судна, особливо якщо воно знаходиться на відстані від портів впродовж істотних періодів часу, треба буде бути значно вищим, ніж очікується від автономних платформ.

До головних плюсів автономних суден насамперед відноситься:

1. Можливість значно економії витрат в експлуатації суден;

2. Зниження вартості команди (заробітні плати, безпека, їжа & напій, акомодація ...);

3. Зниження страхових витрат із-за удосконалення безпеки, зниження помилок оператора;

4. Знижує витрати енергії (пошлість планування, нижчі потреби енергії...).

Для прийняття автономних дій, ситуативне усвідомлення реалізується серед інших речей, в будівництві цифрового розуміння оточення судна та стану власної операційної системи.

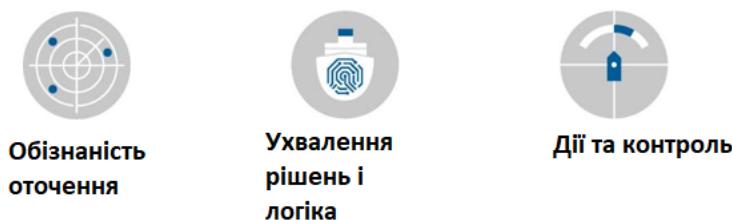


Рисунок 2 – Три ключові області, які треба розробити для реалізації автономних рішень

Обізнаність оточення навколо судна важливе для суден усіх розмірів і досягається даними об'єднання з декількох різних джерел цифровізації довкілля і забезпечує точну картину для того, щоб виявити і розпізнати ризики. Ці джерела включають радар, лазер, камери і екологічні датчики (Gnss, датчики вітру, Mrus, Echosounder, і т.п.), щоб створити повну і надійну картину довкілля навколо судна. Гарантуючи повний огляд ситуації, також вимагає інтеграції між усіма цими датчиками. Цей вид інтеграції вимагає дії в трьох областях.

- Апаратний стек
- Дані/програмне забезпечення.
- Управління/безпека.

У серці автономних систем - алгоритми ухвалення рішення, які можуть застосувати машинне навчання та інтерпретувати сценарії, ґрунтовані на даних, забезпечених елементами вирішення обізнаності оточення яке вирішує безпечний і ефективний курс дій. У його найпростішому вигляді, це ухвалення рішення і здатність до логіки - здатність розуміти ситуацію в якій знаходиться судно і приймати із цього доцільні рішення. У певних ситуаціях, такі системи можуть допомогти з вантажем обов'язків команди та оптимізують її дії.

Алгоритми ухвалення рішення до «розумних» систем, які мають підвищені автономні здібності. Наприклад, мета майбутньої «розумної» навігаційної сис-

теми - узяти судно з порту, у безпечній формі, уникаючи колізій або інших ризиків і підтримуючи Colregs дійти до пункту зазначення. Такі системи скористалися б цифровим моделюванням судна і його довкілля.

Наразі існує кілька потенційних блокувальників, які необхідно враховувати під час розгортання автономних рішень, включаючи технічні, організаційні та нормативні. Ці ключові перешкоди можна підсумувати таким чином.

- Регуляторні акти;
- Технічні проблеми та відсутність системної інтегрованості;
- Проблеми кібербезпеки;
- Освіта моряка.

Беручи до уваги вищезазначену інформацію, необхідно враховувати, які зміни очікуються в освітньому плані. Український моряк має бути особливо добре підготовленим, щоб скористатися перевагами цих змін у судноплавстві, оскільки морська освітня система вже включає комп’ютерну грамотність, розуміння програмного забезпечення та альтернативні програми, які поєднують цифрові навички з класичними морськими компетенціями.

Навички та компетенції майбутніх моряків досі невизначені.

За словами опитаних моряків, освіта виявляється дуже старомодною, і навички, якими вони оволоділи, навчалися на борту кораблів, будучи курсантами. Ці тенденції вказують на той факт, що морські навчальні заклади не можуть бути основними закладами, які дають студентам навички на передньому краю технологічного розвитку. Швидше, навички та досвід, необхідні для використання технологій та програм, уже встановлених на кораблях, можна було б більшою мірою ввести в шкільну програму, щоб такі знання можна було передати на ранньому етапі, а не після закінчення навчання, коли учні працюють на борту корабля.

Висновки

Між моряками та рештою морської індустрії існує перерва між розумінням впливу нових технологій та автоматизації в морському транспортному секторі. Моряки не вірять у терміни, зазначені для впровадження автономних операцій, скептично ставляться до фактичних операцій систем на морі і залишаються впевненими, що їхня робота знадобиться і в майбутньому. З іншого боку, технічні експерти, зокрема, наголосили, що впровадження буде швидким, що системи добре пройшли випробування і що впровадження автономних операцій на морі має величезний потенціал.

По-перше, перший автономний контейнеровоз прибуде до експлуатації протягом наступних кількох років, а потім буде ще більше таких суден. Вони, однак, будуть подорожувати новими морськими маршрутами малої дальності та становитимуть частину загальної транспортної системи, але не замінять звичайні торгові судна. Автономні контейнеровози в даний час обмежені регіональними випробувальними майданчиками та національними територіальними водами, що регулюються національними правилами.

По-друге, впровадження автономних суден і перебудова ланцюгів поставок є зміною парадигми морського транспорту. Ця тенденція має потенціал для

реструктуризації частини морської торгівлі, оскільки судноплавство перетворюється з транспортної служби на частину внутрішньої логістики виробника.

Перехід до віддаленого мореплавства з використанням висококваліфікованих працівників у берегових центрах управління дає можливість для моряків повернути офшорування моряків.

Зрозуміло, що протягом наступних років звичайні торгові судна продовжуватимуть обслуговувати далеко магістральну торгівлю. На такі кораблі більше вплине поетапна «цифрова» їхня операція, яка буде нерівномірно впроваджуватися у глобальному флоті. Флот завтрашнього дня трансформується, коли автономні кораблі виходять у моря, але, таким чином, значний розрив у технологіях між кораблями це вже норма.

Автономні судна не замінять звичайні вантажні судна та не зроблять звичайних моряків застарілими. Автономні кораблі стануть частиною місцевих транспортних систем, створюючи нові морські маршрути як альтернативу іншим видам транспорту.

Збільшення поточної «цифровізації» звичайного флоту продовжить і перетворить завдання моряків на більш цифрові, особливо в моніторингу операцій та управлінні системою, а також щодо завдань, які передбачають менше людського втручання та участі.

Протягом наступних п'яти років ми можемо розраховувати на збільшення планів щодо автономних кораблів і формування частини загальної транспортної системи.

Моряк майбутнього отримає користь від поєднання розуміння морських проблем із цифровими навичками у трьох загальних сферах:

- Вільне володіння даними та здатність інтерпретувати та аналізувати великі дані
- Цифрове функціонування фізичних осіб
- Програмна інженерія фундаментальних програм і систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Guidelines for Automated/Autonomous operation on ships (ver 1.0). – Class NK, January 2020. – 50 c.
2. ABS GUIDE FOR AUTONOMOUS AND REMOTE CONTROL FUNCTIONS – ABS, July 2021. – 78 c.
3. Design Code for Unmanned Marine Systems. – Lloyd's Register, February 2017. – 39 c.
4. Guidelines for Digital Smart Ships (Edition 2.0). – Class NK, May 2021. – 20 c.
5. OUTCOME OF THE REGULATORY SCOPING EXERCISE FOR THE USE OF MARITIME AUTONOMOUS SURFACE SHIPS (MASS), MSC.1/Circ.1638. – IMO, June 2021. – 105 c.
6. Transport 2040: Autonomous ships: A new paradigm for Norwegian shipping - Technology and transformation. World Maritime University, Malmö. – 2019.
7. MASS UK Industry Conduct Principles and Code of Practice 2020 (V4). Available from: <https://www.maritimeuk.org/priorities/innovation/maritime-uk-autonomous-systems-regulatory-working-group/mass-uk-industry-conduct-principles-and-code-practice/>
8. Autonomous shipping. Available from: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx>

УДК 681.7.068

СХЕМОТЕХНІЧНЕ РІШЕННЯ ВИСОТЕМПЕРАТУРНОГО ДАТЧИКУ ТИСКУ

А.К. Сандлер, доцент
Є.В. Макарчук, здобувач вищої освіти магістерського рівня
Національний університет "Одеська морська академія"

Анотація. Організація об'єктивного контролю параметрів вуглеводневих палив об'єктами суднової енергетичної установки кораблів і суден на різних ходових режимах винятково на базі використання традиційних засобів вимірювань має обмежений практичний вихід. Це обумовлено відсутністю можливості моніторингу ефективності паливо- і ресурсозбереження в масштабі реального часу, а також прогнозування з наступним плануванням. Аналіз одних з найпоширеніших конструкцій ВОДТ дозволив сформувати коло вимог до датчика тиску для паливних систем. Датчик представляється як компромісна конструкція, у якій використані елементи, виконані з однорідних матеріалів, відсутня необхідність термокорекції при порушенні геометрії й властивостей чутливих елементів і одночасно зберігається високий рівень чутливості амплітудних і робочого діапазону поляризаційних ВОДТ.

Ключові слова: паливо, температура, волоконно-оптичний датчик тиску

SCHEMOTECHNICAL SOLUTION OF HIGH-TEMPERATURE PRESSURE SENSOR

Albert Sandler, Associate Professor
Evgeniy Makarchuk, is a graduate of master's level
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The organization of objective control of the parameters of hydrocarbon fuels by the objects of the ship-new power plant of ships and vessels on different running modes exclusively on the basis of the use of traditional measuring instruments has a limited practical solution. This is due to the lack of ability to monitor the efficiency of fuel and resource savings in real time, as well as forecasting with subsequent planning. Analysis of some of the most common designs of FOSP allowed to form a range of requirements for the pressure sensor for fuel systems. The sensor was presented as a compromise design, which uses elements made of homogeneous materials, there is no need for thermal correction in violation of the geometry and properties of sensitive elements and at the same time maintains a high level of sensitivity of amplitude and operating range of polarized FOSP.

Key words: fuel, temperature, fiber-optic pressure sensor

У наш час існуючі засоби й методи інструментального контролю не повною мірою гарантують ефективний розв'язок завдання об'єктивного контролю використання палива на кораблях і суднах.

Організація об'єктивного контролю параметрів вуглеводневих палив об'єктами суднової енергетичної установки кораблів і суден на різних ходових режимах винятково на базі використання традиційних засобів вимірювань має обмежений практичний вихід. Це обумовлено відсутністю можливості моніторингу ефективності паливо- і ресурсозбереження в масштабі реального часу, а також прогнозування з наступним плануванням. Крім того, при традиційному інструментальному підході є істотні обмеження по визначення тиску у високотемпературних паливних системах [1].

В умовах, що склалися найбільше технічно й економічно раціональним способом розв'язку поставленого завдання є створення вимірювальної техніки на основі волоконно-оптических технологій.

Застосування волоконно-оптических компонентів для створення засобів вимірювань тиску у високотемпературних системах паливопідготовки, з огляdom на досвід галузі атомної енергетики та ракетно-космічної техніки, дозволить досягти суттєвого підвищення показників надійності й довговічності, стабільноти і точності вимірювань датчиків одночасно з розширенням робочого діапазону. При цьому найбільші труднощі викликає комплексне вирішення цих проблем, але саме цього вимагає практика використання засобів вимірювань цього типу. У зв'язку із цим необхідно шукати нові шляхи до створення високостабільних датчиків тиску, до вдосконалювання їх структур і принципів функціонування [2].

Розв'язок ґрунтуються на особливих властивостях кварцового скла – основного матеріалу для виготовлення усіх компонентів волоконно-оптических датчиків тиску (ВОДТ). У температурному діапазоні 250 ... 750 К кварцові скла, до складу яких додані домішки рідкоземельних металів, мають найменший гістерезис із усіх матеріалів, що застосовуються для створення чутливих елементів датчиків коефіцієнт температурного розширення не перебільшує $5 \cdot 10^{-7}$ 1/ K; зміна модуль пружності у наведеному температурному діапазоні не перебільшує 4%. ВОДТ створений з такого матеріалу має можливість контактувати безпосередньо з високотемпературним середовищем без додаткових елементів терmostabilізації і електрических ліній живлення.

У цей час розроблена достатньо велика кількість різних конструктивних реалізацій ВОДТ. Для відбору оптимальної конструкції ВОДТ палива відомі датчики були випробувані на експериментальному стенду (рис. 1) [3].

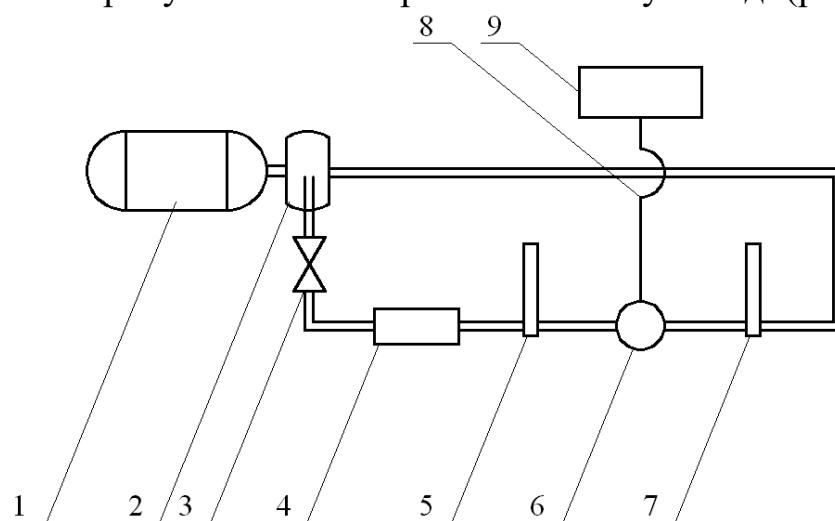


Рисунок 1 – Схема експериментального стенда: 1 – електродвигун; 2 – насос; 3 – клапан; 4 – паливопідігрівач; 5 – термометр; 6 – ВОДТ; 7 – контрольний манометр; 8 – волоконна лінія; 9 – оптичний рефлектометр.

За результатами аналізу відомих типів ВОДТ визначено, що найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до задач контролю високотемпературних систем паливопідготовки є винаходу, що пропонується модель датчика, що являє собою фрагмент трубопроводу, у внутрішній проточці якого розташовується чутливий елемент. У якості чутливого елемента використаний тороїдальний світловод. Зовнішня поверхня тороїдального світловоду через гермовводи сполучається з випромінюючим і приймаючим світловодами. Внутрішня поверхня чутливого елемента покрита відзеркаллюючим захисним шаром з сапфірового скла, що відбиває випромінювання. Сумарна товщина чутливого світловода відзеркаллюючого шару підібрана таким чином, щоб не порушувати геометрію прохідного перерізу трубопроводу (рис. 2) [4].

В наслідок тривалих випробувань моделі на верхній межі температурного діапазону були визначені такі недоліки, що суттєво обмежили застосування датчику для вимірювань протягом великого терміну часу, а саме:

- неоднорідні деформації відзеркаллюючого шару приводили до спотворення результатів вимірювань;
- спостерігалися пошкодження шару абразивними частками, присутніми у паливі, або його відшарування від чутливого світловоду;
- спосіб у який світловоди сполучалися з чутливим елементом та позиціонувалися один відносно другого вимагали прецизійних робіт по обробці поверхонь чутливого елементу;
- застосування двох світловодів для підводу та відводу випромінювання значним чином ускладнювали конструкцію;
- застосування сапфірового скла вимагає коштовних технологій виробництва.

Як альтернатива запропоновано нове схемотехнічне рішення ВОДТ для паливних систем. Датчик представляється як компромісна спрощена конструкція, у якій використані елементи, виконані з більш доступних і дешевих матеріалів, відсутня необхідність термокорекції при порушенні геометрії й властивостей чутливих елементів і одночасно зберігається високий рівень чутливості і робочого діапазону ВОДТ – найближчого аналогу.

Для перевірки вірогідності теоретичних припущень була створена модель ВОДТ. Модель являє собою циліндричну трубу з кварцового скла - чутливий світловод. Зовнішня поверхня транспортним світловодом, який використовується для підводу опорного і відводу модульованого випромінювання. Зовнішня поверхня чутливого світловода покрита відзеркаллюючим шаром з і сплаву інвар. Як і найближчого аналогу діаметр чутливого світловоду, підібрана так, щоб не впливати на характеристики потоку палива у трубопроводі (рис. 2) [4 - 6].

При зміні величини тиску відбувається порушення умов повного внутрішнього відбиття світла, яке виникає як відгук на зміни показника переломлення чутливого світловода. Порушення умов повного відбиття світла в чутливому елементі знаходить своє відображення в зміні величини

інтенсивності світлового випромінювання. Таким чином, чутливий елемент у ВОДТ застосовується у якості оптичного затвора, пропускна здатність якого пропорційна величині тиску.

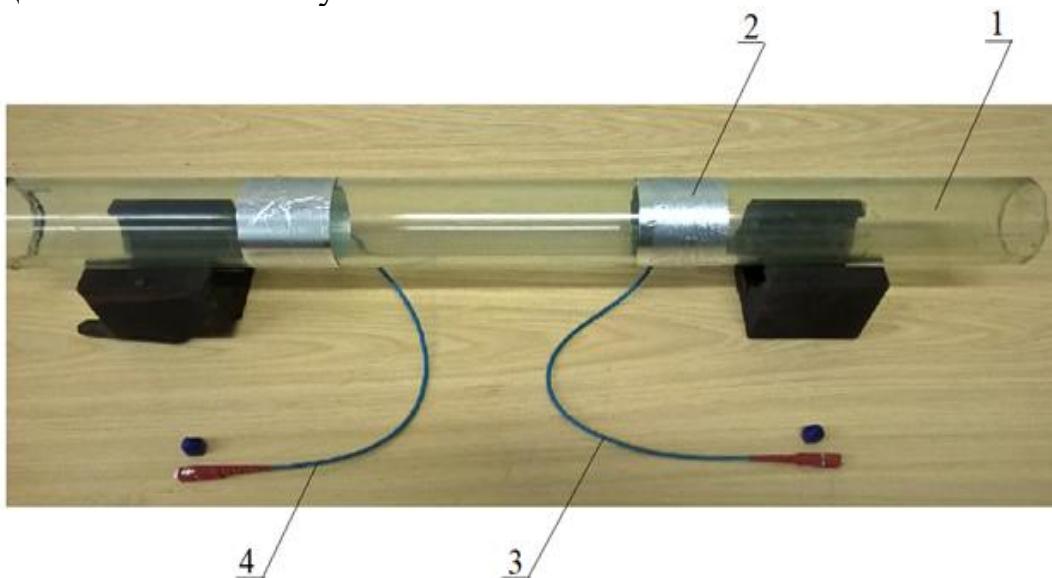


Рисунок 2 – Чутливий елемент ВОДТ: 1 – циліндрична вставка – чутливий світловод, 2 – відзеркалюючий шар, 3 – транспортний світловод; 4 – контрольний світловод.

На підґрунті створеної математичної моделі та результатів випробувань отримана графічна залежність функції перетворення запропонованого ВОДТ, яка має достатньо велику ділянку максимально наближену лінійної (рис. 3).

Додаткові дослідження моделі на ВОДТ стенді в умовах застосування важкого палива при температурі 350 ... 420 К, що:

- додаткова погрішність, викликана дестабілізуючими експлуатаційними факторами, у робочому діапазоні не перевищує 0,02 ... 0,10 % на 10 K;

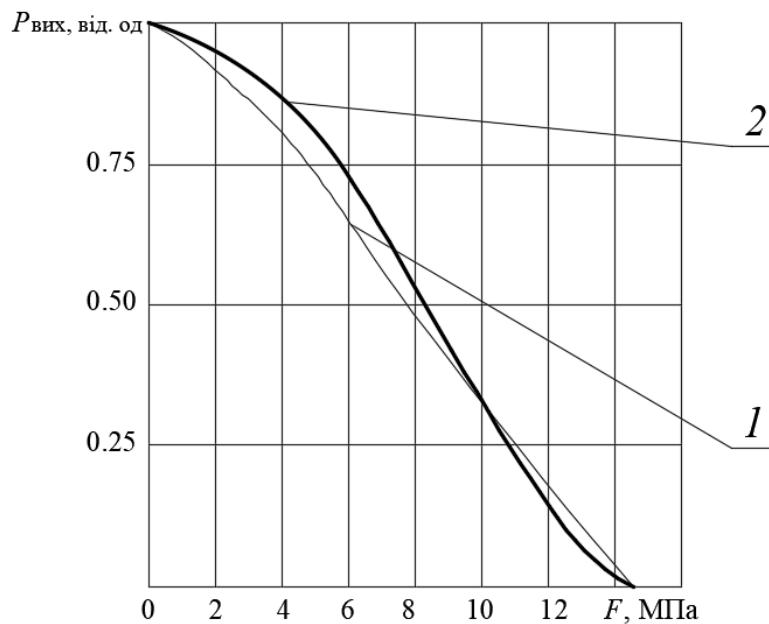


Рисунок 3 – Функція перетворення оптичного перетворювача тиску:
1 - теоретична; 2 – експериментальна

– за рахунок розташування чутливого світловоду безпосередньо в потоці робочого середовища відсутні відкладання твердих фракцій вуглеводневих матеріалів, що спотворюють передатну характеристику вимірювального каналу;

– наявність одного транспортного світловоду позитивно відбивається на надійності усієї конструкції, а застосування зовнішнього відзеркалюючого шару з термостабільного металевого сплаву значним чином зменшує вартість.

У цілому результати випробувань та теоретичного аналізу підтвердили принципову відповідність розробленого ВОДТ вимогам до засобів контролю тиску у високотемпературних паливних системах суднових енергетичних установок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизированные системы объективного контроля расходования топлива и ресурса. Електронний ресурс. Режим доступу: http://neotech-marine.ru/?page_id=1343
2. Лиманова, Н. И. Датчики механических величин, инвариантные к дестабилизирующему факторам: дис. докт. техн. наук: 05.13.05. – Самара, 2006. – 285 с.
3. Сандлер, А. К., Сандлер, А. А. Волоконно-оптический датчик давления для высокотемпературных систем топливоподготовки // Судовые энергетические установки. – 2009. – Вып. 23. – Одесса: ОНМА. – С. 17-22.
4. Патент України № 21859, МПК (2006) G01M 11/00. Волоконно-оптичний датчик тиску / А. К. Сандлер, О.А. Сандлер; заявники та володарі патенту Сандлер, А. К., Сандлер, О. А. – заявл. 19.09.2006; опубл. 10.04.2007, бул. № 4. – 3 с.
5. Сандлер, А. К. Метод підвищення ефективності діагностування технічного стану суднових газотурбінних установок на основі волоконно-оптичних технологій: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Київський університет інфраструктури та технологій. – К., 2021. – 20 с.
6. Сандлер, А. К., Батинський А. І. Волоконно-оптичний пристрій контролю рівня для високотемпературних систем паливопідготовки // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2020. – Т. 12. – № 2. – Одеса: ОНАХТ. – С. 9-13. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i2.1802>

Секція 10. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 62-531.7; 621.87

ЗАХИСТ МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ВАНТАЖНОГО КРАНУ**О. В. Дрозд**, доцент

Національний університет "Одеська морська академія"

Анотація: Відомо, що при певних умовах в металоконструкціях суднових вантажопідйомних машин виникають процеси, обумовлені резонансом, або автоколиваннями, ініційованими появою позитивних зворотних зв'язків між опором на вантажному органі і швидкістю його коливального руху. Значне зростання величини коливань може істотно обмежувати роботу машин в специфікаційних режимах з одночасним зниженням їх продуктивності. Питання боротьби з деструктивними коливаннями в елементах суднових вантажних кранів особливо актуальні, при вантажних операціях на рейді та при застосуванні потужніших вантажопідйомних машин.

Поставлена задача вирішується тим, пристрій демпфування коливань в механізмі підйому вантажного крану, що складається з основи та вантажного гаку, та який відрізняється тим, що основа жорстко сполучена з кінцями торсіонних валів, робочі ділянки яких обертаються в підшипникових вузлах основи, через важелі шарнірно зв'язані зі штоком вантажного гаку, а на вільних кінцях містять шліцьові втулки з виступами, які взаємодіють з аналогічними виступами на торцях валів лопатевих гідроамортизаторів, сполучених з основою, та мають гайки для фіксації у різних положеннях

Ключові слова: демпфер, вантажний кран, гідроамортизатор.

PROTECTION OF THE LIFTING CRANE LIFTING MECHANISM**O. V. Drozd**, assistant professor

National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract: It is known that under certain conditions in the metal structures of ship hoisting machines there are processes caused by resonance or self-oscillations, initiated by the appearance of positive feedback between the resistance on the cargo body and the speed of its oscillating motion. A significant increase in the magnitude of oscillations can significantly limit the operation of machines in the specification modes with a simultaneous decrease in their productivity. Issues of combating destructive oscillations in the elements of ship cargo cranes are especially relevant in cargo operations on the road and in the use of powerful lifting machines. The problem is solved by the device for damping oscillations in the mechanism under the load crane, consisting of a base and a load hook, and characterized in that the base is rigidly connected to the ends of the torsion shafts, the working parts of which rotate in the bearing units of the base, through the levers are hinged to the rod of the tow hook, and at the free ends contain splined bushings with protrusions that interact with similar protrusions on the ends of the shafts of the vane shock absorbers connected to the base, and have nuts for fixing in different positions.

Key words: damper, cargo crane, hydraulic shock absorber.

Відомо, що при певних умовах в металоконструкціях суднових вантажопідйомних машин виникають процеси, обумовлені резонансом, або автоколиваннями, ініційованими появою позитивних зворотних зв'язків між опором на вантажному органі і швидкістю його коливального руху. Значне зростання величини коливань може істотно обмежувати роботу машин в специфікаційних режимах з одночасним зниженням їх продуктивності. Питання боротьби з деструктивними коливаннями в елементах суднових вантажних кранів особливо

актуальні, при вантажних операціях на рейді та при застосуванні потужних вантажопідйомних машин (рис. 1).



Рисунок 1- Суднові вантажні крани великої потужності

У зв'язку з тим, що спектр власних частот коливань елементів конструкції суднових вантажних кранів має широкий діапазон, то повністю уникнути резонансних явищ, а тим більше автоколивань, практично не вдається. Одне з рішень придушення резонансних явищ полягає в активному використанні спеціального силового органу для демпфірування. Ефективність використання демпферних пристрій суднових вантажних кранах обумовлена раціональним вирішенням питань синтезу демпфуючого впливу і оцінки якості гасіння коливань. Відомі два напрямки у вирішенні зазначених питань. Основу першого становить уявлення динамічної системи, забезпеченого активним пристроям, як об'єкта автоматичного управління рухом виконавчого органу гасителя. Інший напрямок базується на тому, що введенням в динамічну систему активного гасителя можна цілеспрямовано змінювати властивості системи: динамічну жорсткість, власні частоти, демпфірування [1, 2].

Для пошуку найбільш доцільного шляху боротьби з деструктивними коливаннями проаналізовані найбільш поширені конструкції пристрій демпфування.

Відомий пристрій демпфування коливань, що містить основу, додаткові тяги та відкритий гвинтовий пружинний демпфер, зв'язаний з робочими органами крану [3, 4].

Недоліки пристроя, які обумовлені застосуванням демпфера з гвинтових пружин:

- пружини створюють поздовжні паразитні коливання робочих органів, які негативно впливають на елементи підвіски та блочно-тросову систему крану;
- надвелика вага пружинних демпферів;

- необхідність наявності додаткових елементів в конструкції підвіски крану для зв'язку робочих органів з демпфером;
- значні витрати часу на ремонтні роботи при заміні пружин.

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до винаходу, що пропонується, є пристрій демпфування коливань, що містить основу, гіdraulічні циліндри, регульований дросель, зворотний клапан та пружній елемент [5].

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням гіdraulічного циліндра – демпфера:

- незахищеність штоку та ущільнювальних елементів циліндра – демпфера від ударів та абразивного впливу вантажу;
- велика ймовірність забруднення вантажу робочою рідиною циліндра – демпфера при зношуванні штоку та ущільнювальних елементів;
- необхідність наявності додаткової системи управління та підтримки тиску гіdraulічному циліндрі – демпфері;
- велика вага гіdraulічних демпферів;
- значні витрати часу на ремонтні роботи при заміні гідроциліндра.

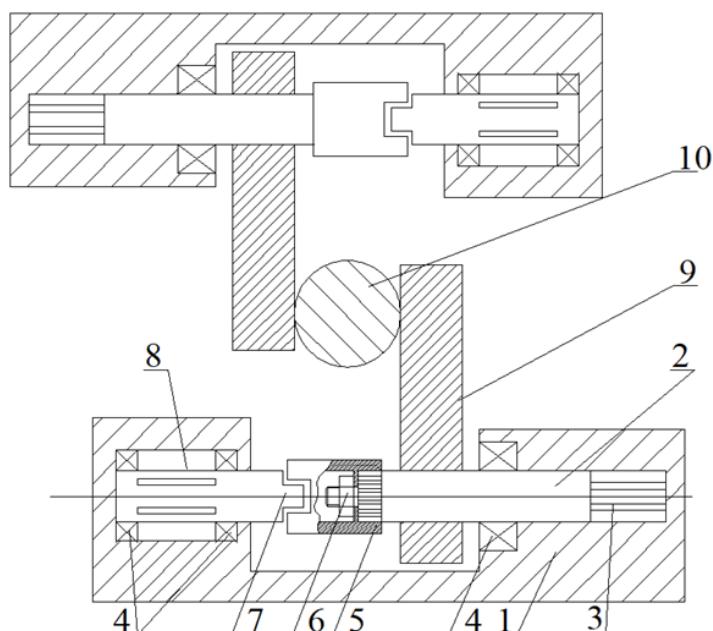


Рисунок 2 - Пристрій демпфування коливань в механізмі підйому вантажного крану: 1 – основа; 2 – торсіонний вал; 3 – шліцьове з'єднання валу та основи; 4 – підшипники кочення; 5 – шліцьова втулка; 6 – гайка; 7 – вал з виступами лопатевого гідромортизатору; 8 – лопатевий гідромортизатор; 9 – важіль; 10 – шток вантажного гаку

який відрізняється тим, що основа жорстко сполучена з кінцями торсіонних валів, робочі ділянки яких обертаються в підшипниковых вузлах основи, через важелі шарнірно зв'язані зі штоком вантажного гаку, а на вільних кінцях містять шліцьові втулки з виступами, які взаємодіють з аналогічними виступа-

Таким чином, актуальну задачею є створення пристрію демпфування коливань, який можливо застосовувати у вантажних кранах, у якому присутнє плавне гасіння коливання, як у момент відриву гаку з вантажем від поверхні, так і під час транспортування вантажу, підвищена зносостійкість самого демпфера, знижені експлуатаційні ремонтні витрати та одночасно збережені простота схемотехнічних рішень демпферів відомих типів.

Поставлена задача вирішується тим, пристрій демпфування коливань в механізмі підйому вантажного крану, що складається з основи та вантажного гаку, та

ми на торцях валів лопатевих гідроамортизаторів, сполучених з основою, та мають гайки для фіксації у різних положеннях [6, 7].

Суть запропонованого схемотехнічного рішення пояснюється кресленням (рис. 2), де зображено пристрій демпфування коливань в механізмі підйому вантажного крану, що складається з основи 1, торсіонного валу 2, зафікованого у основі за допомогою шліцьового з'єднання 3, підшипників кочення 4, шліцьової втулки 5, що фіксується гайкою 6, лопатевого гідроамортизатору 8, який має вал з виступами на торці 7, важелю 9 та вантажного гаку зі штоком 10.

Шліцьова втулка монтується на кінці торсіонного валу з урахуванням відстані між виступами на втулці та на торці валу лопатевого гідроамортизатору, тобто з урахуванням величини кута крутіння торсіонного валу під вагою вантажу. Після обрання відповідного режиму вантажної операції, в залежності від ваги вантажу, втулка монтується на торсіонному валі та фіксується гайкою.

Під час відризу вантажу від поверхні відбувається пересування штоку вантажного гаку та передача динамічного навантаження з гаку до важелів та торсіонних валів. Під впливом навантаження відбувається деформація кручення валів. Завдяки пружнім деформаціям валу відбувається первинне гасіння коливань гаку [6 -8]. На етапі переміщення вантажу виступи на шліцьових втулках входять в контакт з виступами на торцях валів лопатевих гідроамортизаторів. Таким чином, останні залучаються до загальної схеми демпфірування коливань в механізмі підйому вантажного крану.

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію гіdraulічних та механічних елементів.

У першому динамічному режимі (відриз вантажу від поверхні) демпфірування динамічних навантажень та деструктивних коливань на механізм підйому вантажного крану відбувається за рахунок пружних деформацій торсіонних валів.

У другому динамічному режимі (транспортування вантажу краном) гасіння демпфірування деструктивних коливань на механізм підйому вантажного крану, викликаних експлуатаційними чинниками, відбувається за рахунок пружних деформацій як торсіонного валу так і дії лопатевих гідроамортизаторів. За рахунок зміни установки шліцьових втулок відносно виступів на торцях валів гідроамортизаторів задається момент їх вступу у дію в залежності від навантаження на гаку.

Висновки. Технічний ефект досягається завдяки тому, що комбінація торсіонних валів та лопатевих гідроамортизаторів забезпечує:

- демпфірування деструктивних коливань на всіх етапах робочого циклу крану;
- можливість налаштування на різні вантажні режими;
- зменшення кількості додаткових механічних елементів у вузлі вантажного гаку;
- збільшення терміну міжремонтного періоду вантажного обладнання;
- зниження експлуатаційних та ремонтних витрат.

ЛІТЕРАТУРА

1. Веденникова, Е. Л. Исследование диссипативных свойств упругих систем грузоподъёмных кранов // Transport business in Russia. – 2017. – № 1. – С. 157-158.
2. Гришин, Д. К., Матвеев, В. М. Оценка эффективности активного демпфирования колебаний металлоконструкций экскаваторов и стреловых кранов // Наука и образование - № 11 – 2013. – С. 69 – 75.
3. Вайнсон, А. А., Андреев, А. Ф. Крановые грузозахватные устройства. – М.: Машиностроение, 1982. – 304 с.
4. А. с. 433088 СССР, МПК7: [B66C1/34. Подвеска грейфера](#) / Г.Я. Курземниекс, Э.К. Лачгалвис (СССР). – № 1720926/27-11; заявлено 06.12.71; опубл. 25.06.74, Бюл. № 23. – 2 с.
5. Рыжиков, В. А., Туркеничева, Л. А. Демпфирование колебаний груза в механизме подъема крана // Известия вузов. Северокавказский регион. Технические науки. - №3 – 2010. – С. 48 – 50.
6. Чобиток, В. М. Ходовая часть танков. Подвеска. – М.: Техника и Вооружение. – 2005. – №11.
7. Сандлер, А. К., Дрозд, О. В. Роликовыйузол стрічкового транспортера // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2018. – Т. 10. – №. 4. – Одеса: ОНАХТ. – С. 73-76.
8. Дрозд, Е. В., Сандлер, А. К. Техногенна безпека при обробці зернових культур // Аграрний вісник Причорномор'я. – 2009. – № 48. – Одеса: ОДАУ. – С. 72-76.

УДК 629.5:338

**ПЕРЕДУМОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ МЕНЕДЖМЕНТУ ЯКОСТИ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДЕН**

С.А. Кар'янський, к.т.н., доцент, докторант
Національний університет “Одеська морська академія”

Анотація: В умовах світової нестабільності, що викликана пандемією Covid-19, тенденції збалансованого розвитку та споживання, розвитку низьковуглецевої економіки, річковий та морський види транспорту спроможні забезпечити безперебійну торгівлю та підтримку торговельних потоків. Проте в умовах та характерною низькою рентабельністю технічної експлуатації судна необхідним є застосування менеджменту якості. Правильне оцінювання ризиків та своєчасне прийняття відповідних рішень, дозволить отримати позитивний економічний ефект шляхом зменшення витрат на утримання та технічне обслуговування, матеріально-технічне забезпечення, модифікацію та дороблення, забезпечення необхідного стану надійності, придатності та безпеки.

Ключові слова: якість, менеджмент, експлуатація судна, низьковуглецева економіка.

**PRECONDITIONS FOR IMPROVING THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM FOR
THE OPERATION OF SHIPS**

S. Karianskyi, PhD, Associate Professor, Candidate for a Doctor's degree
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: In the context of global instability caused by the Covid-19 pandemic, the trends of balanced development and consumption, the development of a low-carbon economy, sea and river modes of transport are able to ensure uninterrupted trade and support trade flows. However, in conditions and the characteristic low profitability of technical operation of the vessel, the use of quality management is necessary. Proper risk assessment and timely decision-making will allow to obtain a positive economic effect by reducing the cost of maintenance and upkeep, logistics, modification and improvement, ensuring the necessary state of reliability, suitability and safety.

Key-words: quality, management, ship operation, low carbon economy.

Останніми роками функціонування річкового та морського транспорту в умовах пандемії залишається чи не основним видом, що забезпечує здійснення безперебійної торгівлі між країнами і континентами та підтримки світових торговельних потоків. Зважаючи на глобальну тенденцію збалансованого розвитку та низьковуглецевої економіки зазнають змін стереотипи споживання, витрачання коштів, оцінювання ризиків та стійкості до мінливих умов розвитку. У таких умовах відбувається зниження ефективності експлуатації суден, що вимагає провадження постійного моніторингу ситуації та реалізації управлінських заходів щодо підвищення результативності технічних, економічних, логістичних, трудових та інших показників якості. Тобто потребує удосконалення системи менеджменту якості технічної експлуатації суден, що сприятиме зменшенню витрат на утримання та технічне обслуговування, матеріально-технічне забезпечення, модифікацію та дороблення, забезпечення необхідного стану надійності, придатності та безпеки.

Для створення єдиних міжнародних принципів контролю, оцінки та управління якістю товарів та послуг міжнародною організацією стандартизації (ISO) на підставі стандартів серії 9000 і 10000 розроблені принципи загального управління якістю (TQM) [1]. Вони складаються з трьох частин [2]: ключова система (математично-статистичні методи і засоби, що застосовуються для аналізу та дослідження); система технічного забезпечення (прийоми і програми, що дають змогу навчити персонал володінню ними і правильному їх використанню); система безперервного розвитку самих принципів і змісту TQM. Зазначені принципи можна покласти в основу управління експлуатації суден (рис.).

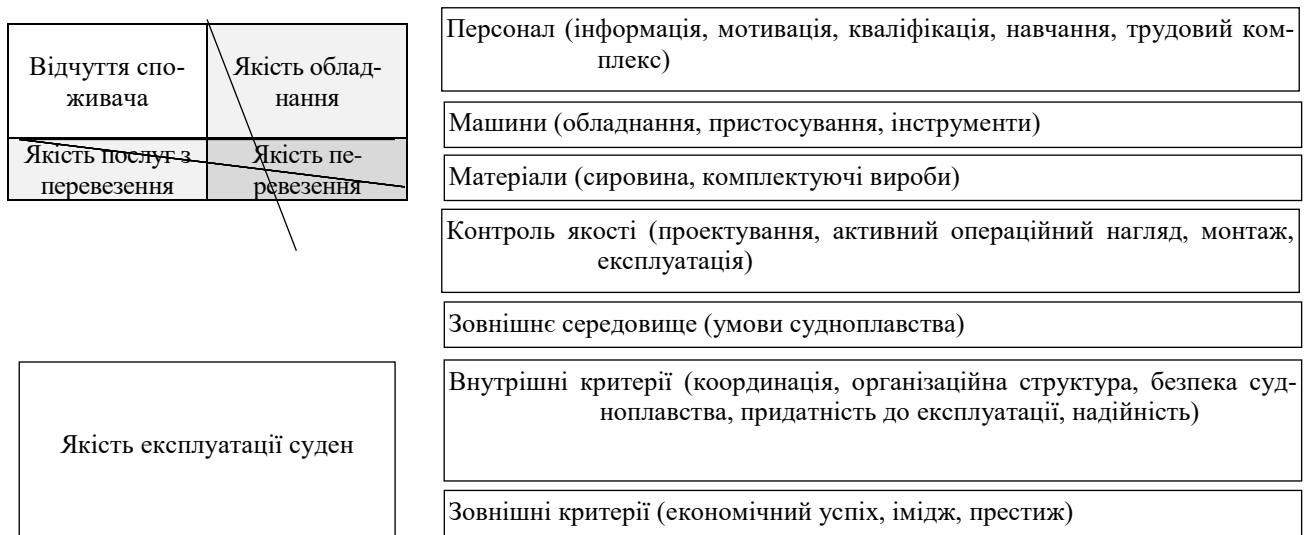


Рисунок 1 – Основні складові системи менеджменту якості експлуатації суден

Тому в такому випадку якість доцільно представити як реалізацію всіх властивостей об'єкта, що відповідають певному рівню вимог і невід'ємних характеристик, та якість яких забезпечується людськими ресурсами із застосуванням необхідних інструментів управління. Заходами, що направлені на якість,

слугують контроль якості (тестування), гарантування якості (заходи, що застосовуються в процесі надання транспортних послуг та направлені на досягнення бажаної якості), а також менеджмент якості (дії керівництва, що спрямовані на основні елементи, які стосуються якості).

Система менеджменту якості направлена на поліпшення ефективності організацій та досягнення певних цілей, що забезпечується прозорим повторювальним процесом моніторингу, корпоративною пам'яттю та сферою відповідальності, а також перевіркою процесів з метою їх вчасного поліпшення. Вона є складовою частиною інтегрованої системи менеджменту, що охоплює екологічний менеджмент, управління якістю, безпекою та охороною праці і технічною безпекою. В основі управління якістю роботи суден знаходяться відчуття споживача щодо здійснення перевезень. Особлива увага надається саме якості обладнання, яка визначається якістю експлуатаційних процесів.

Наразі в Україні флот знаходиться в незадовільному стані, який майже неспроможний задоволити потреби споживачів та здебільшого не відповідає високим стандартам якості судноплавства. Протягом останніх трьох років кількісний склад флоту має незначну позитивну тенденцію (табл) [3]. Зокрема збільшилась кількість морських суден на 25 одиниць (приріст 3,69%), річкових – на 91 одиницю (приріст 7,45%), змішаного району плавання – на 82 одиниці (приріст 51,90%). Додатково зазначимо, що зросла і кількість прогулянкових суден із потужністю двигуна: ≥ 75 к.с. на 1224 одиниці (приріст 13,65%) і < 75 к.с. – більше ніж на 6000 одиниць (приріст 5,67%). Середній вік всіх суден становить ≈ 37 років, при цьому лише 200 суден мають вік до 20 років, тобто тільки 9%.

Таблиця 1 – Динаміка кількості суден України за 2018-2020 роки

№ з/п	Судна	Період			Темп приросту	
		2018	2019	2020	2019 / 2018	2020 / 2019
1	морські	678	694	703	2,36	1,30
2	річкові	1222	1284	1313	5,07	2,26
3	zmішаного району плавання	158	184	240	16,46	30,43
4	прогулянкові із потужністю двигуна 75 к.с. і більше	8964	9594	10188	7,03	6,19
5	прогулянкові із потужністю двигуна до 75 к.с.	>105800	>109600	>111800	3,59	2,01
Всього (п. 1 + п. 2 + п. 3)		2058	2162	2256	5,05	4,35

Тобто сучасний стан вітчизняного морського і річкового флоту характеризується незначним нарощенням новими суднами із сучасними техніко-технологічними характеристиками. Проте в посилення значущості вітчизняного флоту є необхідністю умовах розвитку світової інтегрованої транспортної системи та постійно зростаючої ролі морегосподарського комплексу в економічному і політичному житті України, оскільки саме від технічного стану суден залежить не рівень безпеки мореплавства та кількість екологічних проблем, а й прибутковість судноплавної компанії.

Відзначимо, що рівень рентабельності в судноплавстві досить низький та коливається до 9%. Це обумовлюється низкою факторів, які мають глобальний та непередбачуваний характер. Наприклад, жорстка конкуренція – коли у боротьбі за вантажну базу може приймати будь-яка компанія світу із власними ціновими пропозиціями. Зростання віку судна призводить до додаткових витрат на технічне обслуговування та ремонт, які є значно вищими для більш старих суден, аніж порівняно з новими. Окрім цього існує низка об'єктивних причин, зокрема зарахування різноманітних зборів до собівартості перевезень, неповне навантаження судна, що завжди буде впливати на рівень ризикованості провадження комерційної діяльності у сфері судноплавства. Проте у той же час компанія спроможна впливати на рентабельність через зменшення експлуатаційних витрат. Тому система управління якістю технічною експлуатацією суден може виступити дієвим інструментом для підтримки та збільшення рівня рентабельності судноплавних компаній.

Зважаючи на те, що переважну частину у структурі експлуатаційних витрат судноплавних компаній складають витрати на паливо та енергію, важливим є використання ресурсозберігаючих технологій роботи флоту, які сприятимуть отриманню суттєвого економічного ефекту при розробці та впровадженні оптимальних режимів ходу типових складів. Також необхідно враховувати, що економічністю енергетичної установки судна визначається значною мірою і ефективність технічної експлуатації судна. У процесі експлуатації судна відбуваються суттєві зміни у роботі суднового обладнання, систем, механізмів та деталей. Ці зміни неминуче призводять до підвищення експлуатаційних витрат на утримання флоту, скоротити які можна за рахунок своєчасних ремонтів.

На сьогодні у судноремонті, як і раніше, переважає традиційна заміна старих, пошкоджених деталей на нові. При цьому, в 90% випадків, вихід з ладу суднових деталей і механізмів відбувається через пошкодження їхньої поверхні. Висока залишкова вартість обумовлює економічну доцільність їхнього відновлення. Одним із ефективних шляхів підвищення ресурсу таких деталей є використання технологій нанесення на робочі поверхні зносостійких, жаростійких та інших покриттів з нових матеріалів. Окрім цього доцільним є оптимізація логістичних схем судноплавної компанії та скорочення простої суден. Це дозволить не тільки зменшити втрати, а й отримати додатковий дохід, який зокрема сприятиме підвищенню рентабельності експлуатації судна.

Враховуючи те, що низька ефективність експлуатації судна характерна для всієї сфери судноплавства, необхідним є впровадження також і державних заходів, які б сприяли оновленню технічного складу флоту. Зокрема застосування податкових пільг для судновласників (судноплавних компаній) при сплаті податку на додану вартість під час придбання судна, що надало б можливості скоротити терміни окупності судна та зменшити експлуатаційні витрати компанії. Застосування податкових пільг до податку на додану вартість для підприємств суднобудівельної промисловості під час закупівлі матеріалів і ресурсів, комплектуючих виробів і обладнання.

Висновки. Таким чином, в умовах невизначеності та нестабільності річко-

вий та морський види транспорту є одним із перспективних, що спроможний забезпечити безперебійну торгівлю та підтримку торговельних потоків. Проте означені проблемні питання щодо низької рентабельності експлуатації судна, зростання віку суден, підвищення собівартості перевезень, неповного навантаження судна, значних експлуатаційних витрат на паливо та енергію, ресурсоємності деталей, оптимізації логістичних шляхів судноплавної компанії є передумовами до удосконалення системи менеджменту якості. Тому, доцільним є впровадження заходів як з боку судноплавних компаній щодо поліпшення технічної експлуатації суден, так і з боку держави щодо сприяння технічного оновлення флоту шляхом надання податкових пільг.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ ISO 9001-2015. Системи управління якістю. Вимоги. [Чинний від 2016-07-01]. Київ: Держстандарт України, 2015. 22 с. URL: <https://khoda.gov.ua/image/catalog/files/%209001.pdf> (дата звернення: 18.11.2021).
2. Кучер О. Г., Власенко П. О. Оцінювання якості технічного обслуговування повітряних суден авіакомпанії. Наукові технології. Київ, 2009. № 4. С. 14–20.
3. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 18.11.2021).
4. Управление качеством: учебник / С. Д. Ильинкова, Н. Д. Ильинкова, С. Ю. Ягудин и др. – М. : ЮНИТИ, 1998. – 268 с
5. Положення про систему управління безпекою судноплавства на морському та річковому транспорті (затверджено наказом Міністерства транспорту України від 20 листопада 2003 р. N 904, [із змінами і доповненнями, внесеними наказом Міністерства транспорту України від 6 серпня 2018 року N 354](#)).

УДК 614(075.8)

ПО СЛІДАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, АБО ПРО НЕБЕЗПЕКУ ВИКОРИСТАННЯ ЛАМП РОЖАРІОВАННЯ В ТРЮМАХ МОРСЬКИХ СУДЕН

О.М. Рак¹, к.тн., доцент
О.В. Глазєва², к.т.н., доцент
О.М. Шабля², с.н.с., доцент
С.А. Дудко², старший викладач
А.Ю. Бак², курсант

¹Донецький національний технічний університет

²Національний університет “Одеська морська академія”

Анотація. В наш час міжнародні морські перевезення лісових матеріалів здійснюються, в основному, спеціалізованими суднами – лісовозами. Природно, що їх екіпажі дуже добре знайомі з особливостями таких перевезень і до цього підготовлені. При цьому завантаження і перевезення подібних вантажів повинно здійснюватися при дотриманні всіх необхідних норм і правил вантажно-розвантажувальних робіт, пожежної безпеки, електробезпеки і перевезення. Але іноді виникає гостра необхідність перевезення таких вантажів універсальними суховантажними суднами. Природно, що в даному випадку виникає висока ймовірність будь-яких надзвичайних ситуацій. В статті на підставі фотоматеріалів, представлених в спеціалізованому фаховому виданні для моряків, розгля-

дається надзвичайна ситуація виникнення пожежі лісових матеріалів в трюмі судна від лампи розжарювання. Проведені дослідження і розрахунки дозволяють знайти причину виникненні пожежі, оцінити час її розвитку і наслідки. Стаття буде корисною не лише членам екіпажів суден, задіяних у вантажних операціях, а й фахівцям, які займаються морськими перевезеннями.

Ключові слова: пожежа, лісові матеріали, трюм, судно, лампа розжарювання.

IN THE WAKE OF EMERGENCIES, OR OF THE DANGER OF USE OF INCANDESCENT LAMPS IN SEA SHIPS

O. Rak¹, Ph.D., Associate Professor

O.Glazeva², PhD, ass. Professor

A. Shablya², Senior Researcher, ass. Professor

S. Dudko², Senior lecturer

A. Bak², student

Donetsk National Technical University

National University "Odesa Maritime Academy"

Abstract. Currently, international maritime transport of timber is carried out mainly by specialized ships - timber carriers. Naturally, their crews are very familiar with the peculiarities of such transportation and are prepared for this. At the same time, the loading and transportation of such goods must be carried out in compliance with all the necessary norms and rules for loading and unloading, fire safety, safety rules, electrical safety and transportation. But sometimes, there is an urgent need to transport such goods by universal dry cargo vessels. Naturally, in this case there is a high probability of any emergencies. In this article, based on photographic materials presented in a specialized professional publication for seafarers, an emergency situation of a fire of forest materials in the hold of a ship from an incandescent lamp is considered. The studies and calculations carried out make it possible to identify the cause of the fire, to estimate the time of its development and the consequences. The article will be useful not only to crew members of ships involved in cargo operations, but also to specialists involved in maritime transportation.

Key words: fire, timber, hold, ship, incandescent lamp.

Пожежа – неконтрольоване горіння, яке приносить матеріальні збитки, шкоду для життя і здоров'я громадян, інтересам суспільства і держави. Особливо небезпечними є пожежі, які виникають на транспортних суднах, які перевозять пожеже-небезпечні вантажі, що може привести до значних матеріальних втрат і загибелі людей. В п.п. 59, 60 [1] достатньо повно представлені причини виникнення на морських суднах пожеж і джерела самозаймання матеріалів. Розглянемо надзвичайну ситуацію (НС) виникнення пожежі на судні, яка описана в [2], де розглядається ситуація завантаженні в порту генерального вантажу у вигляді лісового брусу в трюми судна, і контейнерів з небезпечним вантажем на кришки люків трюмів. Далі описується НС – розвиток пожежі з визначенням часу спрацювання системи сигналізації виявлення диму в трюмі судна через 1,5 год., подальших діях екіпажу, влади і пожежної служби порту при НС.

Так, згідно звіту встановлено:

- причиною займання була висока температура від лампи розжарювання (ЛР) в вантажному трюмі (рис.1). Дерев'яні бруси знаходилися на відстані меншій 0,5м від ЛР, що привело до займання. Наслідки займання представлена на рис.3.

- на судні не було письмово оформленої процедури або контрольного листа, в якому прописувалось, що освітлення в трюмі необхідно вимикати перед завантаженням легкозаймистих вантажів, або після закінчення його завантаження і закриття кришок люків.

Таким чином, документально оформленій факт виникнення НС у вигляді пожежі і визнаний факт пошкодження вантажу.

Розгляд цієї НС й інших є у відкритому доступі і надається безкоштовно морякам при працевлаштуванні в крюйгових агенціях для ознайомлення. Це все виконується з метою уникання в подальшому подібних НС.

Мета – розробка методики визначення пожежної небезпеки від ЛР, а також ознайомлення екіпажів суден з наслідками недбалого виконання службових обов'язків, як з боку адміністрації судна, так і електромеханіка, або особи, яка виконувала його обов'язки.



Рисунок1 – Лампа розжарювання в трюмі



Рисунок 2 – Обвуглена деревина в місці виникнення пожежі



Рисунок 3 – Наслідки займання деревини в трюмі

По-перше, зупинимось на наступних моментах:

- завантаження судна повинне здійснюватись з урахуванням фізико-хімічних властивостей вантажів, що перевозяться, які повинні бути вказані відповідником вантажів;
- при завантаженні судна необхідно користуватись вантажним планом, затвердженим капітаном судна, який передається стивідорній компанії для виконання.

Згідно звіту встановлено факт завантаження деревини з відстанню меншою за 0,5м. При цьому були порушені правила завантаження, представлені в п. 29 Розділу 4 [3], де вказується, що вантажопідйомні машини встановлюються таким чином, щоб при підйомі вантажу виключався нахил вантажних канатів і забезпечувався зазор не менший 0,5м над обладнанням і штабелями вантажу, які зустрічаються на шляху переміщення вантажу.

У відповідності до вимог [4] в трюмах необхідно забезпечити норми освітлення 20лк, а у відповідності до вимог [5] – 30лк. Ці норми не змінювались з часів СРСР, коли порти ще входили до структури Мінморфлоту СРСР. При цьому, згідно з цілою низкою пунктів основних вимог правил пожежної безпеки до електрообладнання [6]:

1.4.7. Відстань між світильниками з ЛР і предметами (будівельними конструкціями) із займистих матеріалів повинна бути не меншою за значення, представлені в табл.1.

Таблиця 1 – Відстань між світильниками з ЛР і предметами (будівельними конструкціями) із займистих матеріалів

Номінальна потужність Р, Вт	Мінімальна відстань, м
100	0,5
300	0,8
500	1,0

Інші види світильників повинні розташовуватись від займистих матеріалів і предметів на відстані не меншій 0,5м, а від займистих будівельних конструкцій не менше 0,2м.

1.4.9. відстань від кабелів і ізольованих проводів, прокладених відкрито по конструкціях на ізоляторах, тросах, в лотках і т.п. до місць відкритого зберігання (розміщення) горючих матеріалів, повинне бути не меншим 1м.

1.4.10. У випадку відкритого прокладання незахищених проводів в захищених проводів (кабелів) з оболонками із займистих матеріалів відстань від них до горючих основ (конструкцій, деталей) повинна складати не менше 0,01м. У випадку неможливості забезпечити вказану відстань провід (кабель) слід відокремити від займистої поверхні шаром негорючого матеріалу, який виступає з кожної сторони проводу (кабелю) не менше ніж на 0,01м.

Аналіз (рис.1) показує, що були порушені і ці пункти.

Таким чином, джерелом займання вважається, виходячи з відстані 0,5м, ЛР потужністю 100Вт. Як показано в [7] і на рис.4 таку температуру можуть до-

сягти ЛР потужністю 100Вт і 200Вт. При цьому температура займання повинна досягнути 250-300°C. Подальше вивчення цього питання показує, що для займання деревини необхідно забезпечити критичну густину падаючого променевого потоку $q_{kp}=13,9$ кВт/м² згідно з [7].

Так, у відповідності до [8] вітчизняною промисловістю для використання на морських суднах виготовляються ЛР потужністю 100Вт і 200Вт. Їх геометричні розміри для традиційної форми ЛР (рис.5) вказані в таблиці 2.

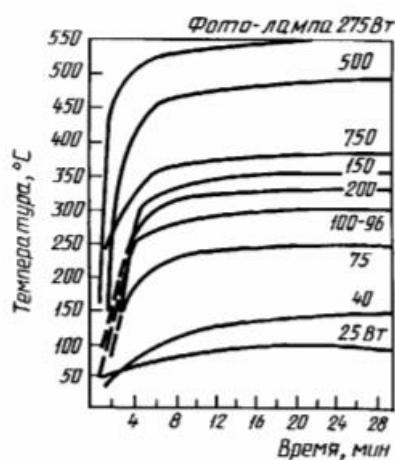


Рисунок 4 – Температура поверхні ЛР

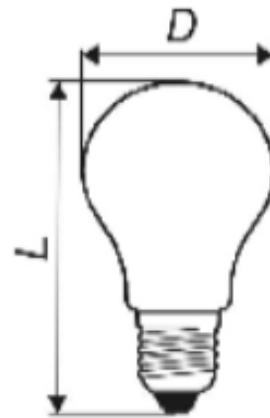


Рисунок 5 – Форма і габаритні розміри традиційних ЛР

Таблиця 2 – Геометричні розміри ЛР різної потужності

Тип ЛР	Потужність ЛР, Вт	ГОСТ	<i>D</i> , м	<i>L</i> , м	Тип цоколя
C220-100	100	1608-88	0,066	0,111	E27
C220-200	200	1608-88	0,081	0,15	
PH220-230-300-1	300	ГОСТ Р 52706-2007	0,068	0,165	

Площа поверхні ЛР складає:

$$S_{\text{ΠΟΒ}} = \pi \cdot D^2 + \pi \cdot d_{\text{II}}^2 \cdot h = \pi \cdot D^2 + \pi \cdot d_{\text{II}}^2 \cdot (L - D - l_{\text{II}}), \text{ m}^2 \quad (1)$$

де D – діаметр шароподібної частини ЛР, м;

$d_{\text{Ц}}$ – діаметр циліндричної частини ЛР, м. Для ЛР з цоколем типу Е27 $d_{\text{Ц}}=0,027\text{м}$ і довжина цоколя $l_{\text{Ц}}=0,027\text{м}$;

h – висота циліндричної частини ЛР, м.

Значення критичної густини теплового потоку:

$$q_{KP} = \frac{P \cdot 10^{-3}}{S_{\text{nor}}}, \text{ kBT/M}^2, \quad (2)$$

Розрахунки, виконані для ЛР вказаної потужності за допомогою співвідношень (1) і (2) показує, що критична щільність падаючих променевих потоків

при цьому складе: для ЛР 100Вт – 7,3 кВт/м², а для ЛР 200Вт - 10кВт/м². Для ламп іншої форми необхідно поверхню лампи замінити геометричними фігурами, площа бокових поверхонь яких буде мати стандартний математичний опис, наприклад шарові сегменти, відсічені конуси та ін.

Якщо стверджувати, що джерелом займання була ЛР, то розглянемо, наприклад ЛР потужністю 300Вт. Її геометричні розміри також представлені в табл.2. При розрахунках, отриманих у відповідності до (1) і (2) $q_{kp}=20,27$ кВт/м², тобто вона перевищує допустиму 13,9 кВт/м².

При більше детальному вивчені фото обвугленої деревини (рис.2) можна розглядіти смуги з фіолетовим кольором. Це свідчить про те, що деревина, яка була призначена до перевезення, була оброблена речовинами, які містили фенол, а фенол при нагріванні утворює горючі пари. Таким чином, був порушений п. 7.1. [9], де відзначено, що протипожежний режим встановлюють з урахуванням виду лісоматеріалів. При транспортуванні пиломатеріалів і сортиментів, оброблених антисептичними матеріалами: динітрофенолом, кам'яновугільними, креозотовими мастилами, які є найбільше пожежебезпечними необхідно дотримуватись вимог Правил МОПОГ.

Можна визначити і час займання. Так, у відповідності до [10] для термічно товстих матеріалів, фізична товщина яких більша за розмір шару, який нагрівається (зразки товщиною 15-20мм):

$$t_B = \frac{\pi \cdot k \cdot \rho \cdot c \cdot (T_B - T_0)^2}{4 \cdot q^2}, \quad (3)$$

Для термічно тонких матеріалів, фізична величина яких менша за товщину розміру шару, який нагрівається (зразки товщиною 1-2мм):

$$t_B = \frac{\rho \cdot c \cdot L_0 \cdot (T_B - T_0)}{q}, \quad (4)$$

Для зразків з проміжною величиною:

$$t_B = \rho \cdot c \cdot (k \cdot L_0)^{\frac{1}{2}} \cdot \left[\frac{(T_B - T_0)}{q} \right]^{\frac{3}{2}}, \quad (5)$$

де k – тепlopровідність матеріалу, Вт/(м·оС);

ρ – густина матеріалу, кг/м³;

c – питома теплоємність матеріалу, Дж/(кг·оС);

T_B і T_0 – температура поверхні матеріалу при займанні матеріалу і початкова, С;

q – щільність теплового потоку Вт/м²;

L_0 – товщина зразка, м.

Підставляємо у вираз (3), значення величин, які в неї входять з рядка №10 табл.3 (з рис.2 чітко видно, що розповсюдження пожежі мало поперековий характер).

Час горіння можна визначити і за величиною обвугленого шару, після займання деревина починає обвуглуватись зі швидкістю приблизно 0,8мм/хв. У

масивному лісоматеріалі джерело займання розповсюджується повільніше, оскільки обвуглена частина деревини затримує просування вогню і уповільнює нагрівання внутрішніх шарів деревини і, таким чином, запобігає розвитку пожежі. Наприклад, на відстані 15мм від обвугленої зони, температура деревини є нижчою за 100°C. Ця властивість використовується, наприклад, при розрахунках несучих конструкцій.

Таблиця 3 – Тепlopровідність, та інші властивості деревини різних порід

№ п/п	Порода деревини	Щільність кг/м ³	Тепlopровідність Вт/(м·оС)	Теплоємність Дж/(кг·оС)
1	Береза	510-770	0,15	1250
2	Дуб уздовж волокон	700	0,23	2300
3	Дуб поперек волокон (ГОСТ 9462-71, ГОСТ 2695-83)	700	0,1	2300
4	Кедр	500-570	0,095	-
5	Клен	620-750	0,19	-
6	Липа (15% вологості)	320-650	0,15	-
7	Листвениця	670	0,13	-
8	Пихта	450-550	0,1-0,26	2700
9	Сосна і ялинка уздовж волокон	500	0,18	2300
10	Сосна і ялинка поперек волокон (ГОСТ 8486-66, ГОСТ 9463-72)	500	0,09	2300
11	Сосна смоляна 15% воло- гості	600-750	0,15-0,23	2700
12	Тополя	350-500	0,17	-

При подальшому підвищенні температури, якби не були вжиті всі заходи відбулося б займання небезпечного вантажу, який перевозився в контейнерах на відкритій палубі.

Висновки:

1. Капітаном судна були порушені вимоги «Правил безпеки морської перевозки лісних вантажів» п. 1.5 [9] в частині «Інформація о вантажі», яка містила достовірну і повну інформацію про транспортні характеристики, всі особливі і небезпечні властивості вантажу, про запобіжні заходи, яких необхідно дотримуватись для безпечної перевезення вантажу без пошкоджень, а також п.4.4 [9] в частині підготовки трюмів до транспортування лісових вантажів просочених антисептичними матеріалами.

2. Електромеханіком, або особою, яка виконувала його обов'язки був порушеній п 4.7 [9] в якому вказується, що при закінченні завантаження електроосвітлення трюмів повинне бути вимкнуто. Замість цього вказується, що на су-

дні була відсутня письмово оформлена процедура або контрольний лист, в якому прописувалось, що освітлення в трюмі необхідно вимикати перед завантаженням легкозаймистих вантажів або після їх розвантаження і закриття кришок люків.

3. Для дотримання норм освітлювання, визначених в [4,5], на судні використовувались не лампи розжарювання рекомендовані для морських суден за ГОСТ [8], а лампи побутового призначення більшої потужності, виготовлені за ГОСТ Р 52706-2007 (МЭК 60064:1993).

4. Стівідорною компанією були порушені Правила по охороні праці при вантажно-розвантажувальних роботах [3] і Правила побудови електроустановок [6] в частині дотримання відстані між вантажем і ЛР.

5. В цьому випадку фактично була складена «мирна» угода між представником «відправника вантажу» - в особі порту, і «перевізником вантажу» в особі капітана судна для мінімізації відшкодування матеріальних втрат «отримувачу вантажу», пов'язаних із зіпсуванням вантажу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Постановление Минтранса РФ от 31.10.2003 №10 «О правилах пожарной безопасности на морских судах». <https://rulaws.ru/acts/Postanovlenie-Mintransa-RF-ot-31.10.2003-N-10/>
2. The Maritime Telegraph (Морская правда). №6 (0611) июнь 2019г. Одесса, 2019. С.14.
3. Правила по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов. Приказ Министерства труда №753Н от 28 октября 2020 года. <https://docs.cntd.ru/document/573113861>.
4. Санитарные правила для морских судов СССР. - М.: МОРКНИГА, 2018.-184 с.
5. Мінімальні вимоги щодо безпеки та здоров'я працівників під час виконання робіт у морських портах. z0033-21, від 18.11.2020 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0033-21>
6. НАПБ В.01.056-2005/111 Правила побудови електроустановок. Протипожежний захист електроустановок (СОУ-Н МПЕ 40.1.03.310:2005) (3509). https://dnaop.com/html/3509_2.html.
7. ГОСТ 12.1.004-91. Міждержавний стандарт. Система стандартів безпеки праці. Пожежна безпека. Загальні вимоги. 2006 – 68с.
8. ГОСТ 1608-88. Лампы накаливания судовые. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1988. – 28 с.
9. Правила безопасности морской перевозки лесных грузов. РД 31.11.21.01-97. Том 2 - М.: ЦНИИМФ. 1996 г. 70с.
10. Mikkola E., Wichman I. S. On the Thermal Ignition of Combustible Materials //Fire and Materials. -1989. - Vol. 14. - P. 87-96.

ІМОВІРНІСНИЙ ПДХІД ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ СУДНОВИХ УСТАНОВОК**В. В. Будашко**, д.т.н., професор,**А. К. Сандлер**, к.т.н., доцент,**В. А. Шевченко**, д.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Для побудови систем багаторівневого моніторингу параметрів високотехнологічних суднових пропульсивних комплексів необхідно здійснювати ефективний контроль стану елементів суднових генеруючих агрегатів. Існуючі системи контролю за своїми специфікаційними і технічними характеристиками не повною мірою відповідають завданням моніторингу. Можливості існуючих відомих систем мають обмеження щодо глибини використання та компенсації впливу експлуатаційних факторів. Запропоновано та обґрунтовано доцільність використання принципу автоматизованого вимірювання та контролю навантаження в високотехнологічних суднових пропульсивних комплексів на основі імовірнісного підходу. Встановлено, що наявність похибок у засобах вимірювання та контролю призводить до специфічних похибок, які слід враховувати при оцінці якості контролю, вирішенні управляючих та контрольних завдань. Для реєстрації переходу параметрів за граничні значення запропоновано нове схемотехнічне рішення датчика на основі волоконно-оптических елементів. Основна відмінність запропонованого засобу діагностування полягає в інваріантності до експлуатаційних дестабілізуючих факторів.

Ключові слова: генеруючий агрегат, експлуатаційні характеристики, оптичне волокно, датчик, діагностування, імовірнісний підхід

PROBABILITY APPROACH TO SOLVING TASKS OF DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF HIGH-TECH SHIP PLANTS**Vitalii Budashko**, D.Sc., Professor,**Albert Sandler**, PhD, Associate Professor,**Valerii Shevchenko**, D.Sc., Associate Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: When designing multilevel systems for monitoring the parameters and characteristics of high-tech complexes, it is necessary to effectively control the state of the elements of generating units. Existing control systems for their specification and technical characteristics do not fully meet the monitoring objectives. The capabilities of existing known systems have limitations on the depth of use and compensation for the impact of operational factors. The article proposes and substantiates the feasibility of using the principle of automated measurement and control of load in high-tech complexes based on the probabilistic approach. It is established that the presence of errors in the means of measurement and control leads to specific errors that should be taken into account when assessing the quality of control, solving management and control tasks. To register the transition of parameters beyond the limit values, a new sensor circuitry based on fiber-optic elements is proposed. The main difference of the proposed diagnostic tool is the invariance to operational destabilizing factors.

Keywords: generating set, operating characteristics, optical fiber, sensor, diagnostics, probabilistic approach

1. Вступ

Для одержання поточної інформації про стан високотехнологічного суднового пропульсивного комплексу (ВТСПК), як об'єкта управління складною технічною системою, інформаційно-вимірювальна система (ІВС) повинна виконувати наступні основні функції: сприйняття вимірюваних вхідних величин і перетворення їх у сигнали, необхідні для наступних операцій: формування й

реалізація норм у аналоговому й цифровому видах; порівняння величин вхідних сигналів або функцій від них з нормами (уставками); формування кількісного судження й видача його у інформаційну модель або/та в контур автоматизованої системи управління (АСУ) [1]. А деякі дослідження доказують, що використання некласичної теорії помилок вимірювання для обробки часових рядів дозволяє виявити наявність слабких, не вилучених з обробки джерел систематичних помилок [2].

З іншого боку, аерогідродинамічні та кліматичні умови експлуатації ВТСПК та агресивний вплив морського довкілля суттєво знижують ресурс ВТСПК. Великі динамічні термомеханічні навантаження, що перебувають на верхній припустимій межі по міцності, значно погіршують режими машинення і генерують прогресуючі незворотні дефекти підшипників ВТСПК. Ця особливість вимагає застосування методів прогнозування технічного стану ВТСПК з метою оцінки можливого часу його безпечної експлуатації [3]. З метою підвищення безпеки судноплавства, рішення щодо проведення технічного обслуговування, виду та періодичності ремонту, інших планово-попереджувальних і експлуатаційних операцій, для ВТСПК приймаються на виключно на підставі діагностичної інформації про реальний технічний стан її елементів. Специфіка проблеми полягає головним чином в оцінці причинно-наслідкових зв'язків між контролюваними параметрами обладнання та дефектами, які можуть спричинити їх зміну, та можливістю подальшої експлуатації ВТСПК. При цьому звертається увага на проблему ступеня узгодженості експертних висновків, що впливає на якість оцінки поточного технічного стану ВТСПК [4].

Існуючі засоби і пристройі діагностики технічного стану ВТСПК функціонують в умовах дестабілізуючих факторів – концентрованого впливу потужних енергетичних полів, що створюються компактно-розташованим судновим енергетичним устаткуванням. Тенденції розвитку сучасних технологій експлуатації показують, що лише використання надійних, верифікованих, нечутливих до неконтрольованих збурень діагностичних засобів, які є складовою частиною суднових автоматизованих IBC, забезпечують високу експлуатаційну ефективність та надійність функціонування ВТСПК.

Наявність погрішностей пристройів виміру й контролю приводить до специфічних помилок, які слід ураховувати при оцінці якості контролю й розв'язанні завдань управління ВТСПК. При чому, натепер розрізняються помилки першого роду, що визначають імовірність неправдивого показання (спрацьовування захисту) і помилки другого роду, що визначають імовірність пропуску реєстрації переходу вимірювальним параметром IBC граничного значення [5].

Саме тому, наукове завдання створення засобів технічного діагностування та прогнозування, які функціонують у складних експлуатаційних умовах і адаптовані для безперервного, тривалого і достовірного контролю стану елементів ВТСПК під дією концентрованого впливу дестабілізуючих факторів, є актуальним і затребуваним судноплавними компаніями, розв'язок і практичне використання якого суттєво підвищить рівень безпеки судноплавства [6].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Аналіз відомих рішень доводить, що для сучасної технічної експлуатації ВТСПК затребувані новітні засоби діагностування та прогнозування технічного стану, а саме – нечутливі до більшості експлуатаційних дестабілізуючих факторів (ДФ) пристрой волоконної оптики [7].

Теоретичне обґрунтування та питання практичного застосування волоконної оптики в складних автоматизованих вимірювальних системах розглянуті у достатній кількості наукових праць. Але у більшості наукових досліджень не визначені методи побудови, принципи і особливості синтезу засобів діагностики та прогнозування технічного стану обладнання, що експлуатується під дією концентрованого впливу ДФ, не розглядаються конструктивно-технологічні особливості побудови і синтезу таких засобів, не дається оцінка стабільності їх характеристик у складних умовах експлуатації [8].

З іншого боку, при використанні великих даних з IBC і даних поточного прогнозу, що відповідають залежним від часу експлуатаційним ситуаціям і гідрометеорологічним умовам відповідно, моделі виявлення ДФ на основі поведінки уникнення представлені для визначення потенційних сценаріїв ДФ, а індекси ризику виникнення ДФ визначаються кількісно, коли вживаються дії ухилення для кожного виявленого сценарію ДФ в різних експлуатаційних умовах [9]. Результати досліджень показують, що оцінки ризику виникнення ДФ можуть бути надзвичайно різноманітними в залежності від експлуатаційного режиму, і в 97,5% потенційних сценаріїв дії попередження запускаються лише тоді, коли ризик становить 45% або більше від його максимального значення [10]. Таким чином, можна зробити висновок, що запропоновані методи можуть допомогти з ідентифікації критичних сценаріїв у різних експлуатаційних режимах. Але, на даний час, ці сценарії не враховуються наявними базами даних про такі випадки, визначені поза межами узгоджених критеріїв ризику для спрацьовування захисту та оцінці характеру ризику продовж експлуатаційного режиму [11].

Під час експлуатації ВТСПК треба враховувати, що зміна геометрії контролюваних елементів внаслідок зношування виникає у випадку фрикційного контакту деталей [12]. Тому, визначення величини зношування є необхідною передумовою для безпечної експлуатації ВТСПК. Як правило, чутливі елементи вимірювальних пристрой виконуються вбудованими у елементи, чий технічний стан контролюється [13].

Порівняльний аналіз волоконно-оптичних датчиків зношування показав, що в більшості випадків, відомі практичні реалізації датчиків, створених на основі волоконних грат Брегга [14].

Також відомо схемотехнічне рішення датчика зношування, яке складається зі світловода з волоконними гратами Брегга, який вбудований перпендикулярно до поверхні, що зношується (рис. 1) [15].

Окрім зношування частин елементів ВПСК, треба враховувати пікові навантаження (скручування) на вали, що може привести до їх фізичного руйнування.

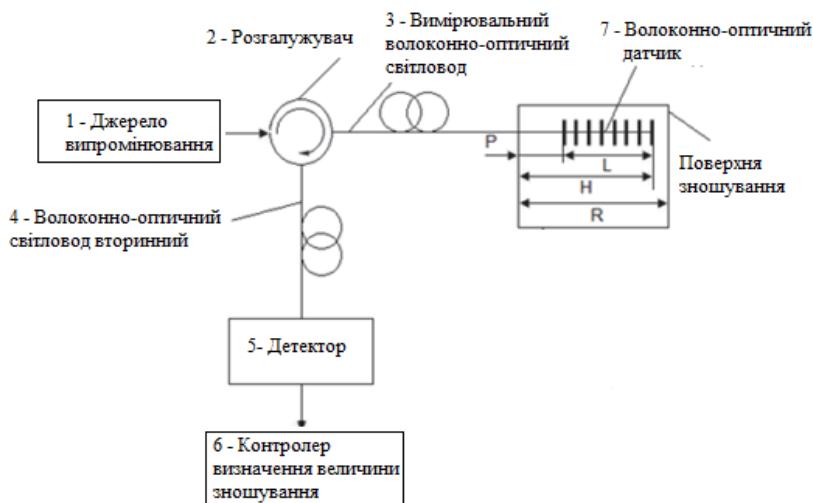


Рисунок 1 – Блок-схема вимірювальної системи датчика зношування з волоконними гратами Брегга

Такі епізодичні піки навантаження викликані включенням потужних, епізодично працюючих споживачів (пожежний насос, компресор пускового повітря тощо). Процес навантаження ВТСПК у режимах ходу й стоянки судна без вантажних операцій можна віднести до стандартного, ергодичного процесу з нормальнюю щільністю

розподілу ймовірностей значення потужності $F(x)$. Припустивши, що вимірюване навантаження x і похибка виміру у імовірнісному змісті незалежні, то результат управління можна одержати, оперуючи з композицією щільності розподілу $F(x)$ і $\theta(\varepsilon)$, рис. 2, а, б.

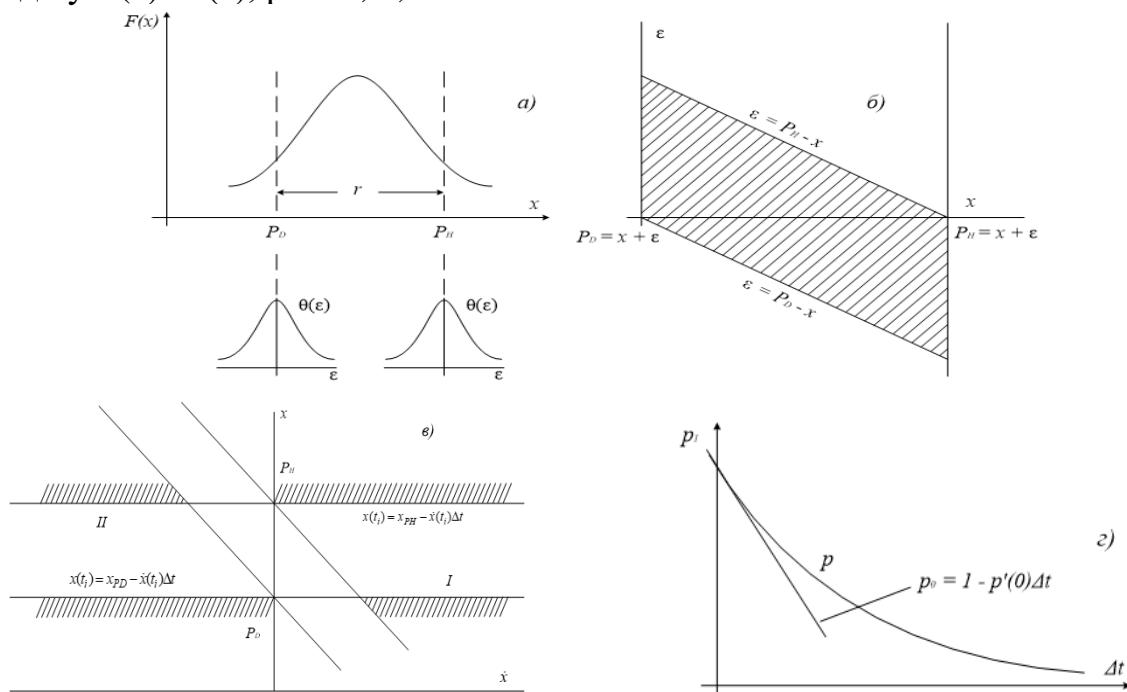


Рисунок 2 – Щільності розподілу: а) щільність розподілу імовірності контролюваної змінної $F(x)$; б) щільність розподілу імовірності похибки $\theta(\varepsilon)$; в) композиція $F(x)$ і $\theta(\varepsilon)$; г) графік, що пояснює процес визначення імовірностей $p_0(\delta)$

Для практичних цілей становить інтерес використання наближених оцінок цих імовірностей, наприклад, з використанням номограм, що зв'язують середньо-квадратичне відхилення похибки пристрій виміру σ_ε і контролюваної величини σ_x , а також зону допуску r . При заданих значеннях r/σ_x з номограми

можна знайти або $3\sigma_e/r$ або $3\sigma_e/\sigma_x$. Зменшення помилок може бути досягнуто багаторазовим повторенням операцій контролю або шляхом дворазового контролю, використовуючи, з урахуванням необхідної точності, різні системи контролю [16].

За цих обмежень, використання в конструкції датчиків світловодів, які зношуються одночасно з контролюваною поверхнею, та волоконних грат Брегга обумовлює ряд недоліків таких пристрою, а відповідно і алгоритмів контролю, які на них базуються, а саме:

- необхідність аналізу відгуку від поверхні, що зношується, яка має варіативну відбивну здатність;
- необхідність регулярного очищення торця світловода від забруднень продуктами зношування;
- необхідність додаткових пристройів для здійснення інтерферометричних методів обробки інформаційного сигналу;
- застосування виміру температури світловодом із гратами Брегга для оцінки величини зношування.

У той же час відомо, що тертя в трибосполученні залежить від мікрорельєфу поверхні і є джерелом вібрації високочастотного діапазону, факт присутності якого вимагає відповідних заходів щодо їх фільтрації на рівні джерел живлення IBC [17]. Датчики зношування, орієнтовані на контроль вібрації поверхонь, що зношуються, складаються з герметичного корпусу з основою та світловодом з консольно-закріпленим на ньому дзеркалом (рис. 3) [18].

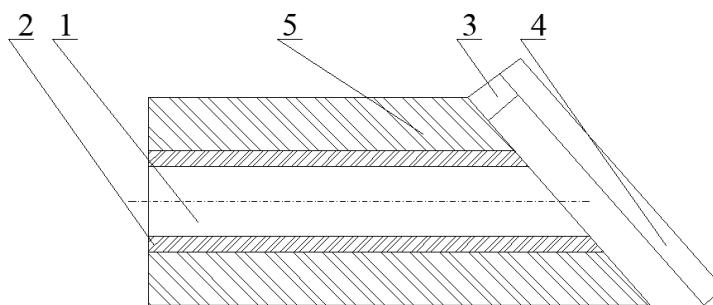


Рисунок 3 – Вібраційний датчик зношування: 1 – оптичне волокно; 2 – оболонка; 3 – опора консолі; 4 – дзеркало; 5 – основа.

контролю навантаження ВТСПК є встановлено, що вона перебуває у зоні $\{PH, PD\}$ (рис. 2). У цьому випадку оцінкою результату контролю може служити ймовірність p ($x \in r$) того, що при $t_{i+1} = t_i + \Delta t$ навантаження не вийде за межі $\{PH, PD\}$, тобто будуть виконані умови [19]:

$$x_{PD} \leq x(t_i + \Delta t) \leq x_{PH} \quad (1)$$

де $x(t_i + \Delta t) = \dot{x}(t_i)\Delta t$, а $\dot{x}(t_i)$ – похідна.

У той же час можливості такого способу вимірювання серйозно обмежують особливості, обумовлені використанням консольно-закріпленого на світловоді дзеркала:

У процесі виміру й контролю виникає завдання дискретизації тієї або іншої контролюваної величини, тобто завдання визначення припустимого значення інтервалу контролю. Зв'язане це з тим, що вірогідність контролю у міру збільшення інтервалів знижується. Допустимо, що у момент t_i виконана операція

– неможливість компенсації впливу негативних ДФ, таких як підвищена температура;

– створення комплексом "консоль-дзеркало", в наслідок термодеформації, додаткових власних коливань, які можуть бути паразитними стосовно коливань, створюваних контролльованою поверхнею.

3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є забезпечення високої ефективності експлуатації та надійності роботи ВТСПК, що досягається впровадженням нових засобів діагностування та прогнозування технічного стану, підвищення адекватності оцінювання параметрів елементів ВТСПК за рахунок використання принципів часткової інваріантності до зовнішніх неконтрольованих впливів на вимірювання.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення наступних завдань:

– визначення завадостійких до впливу експлуатаційних ДФ засобів діагностики та прогнозування технічного стану елементів ВТСПК;

– синтез моделі автоматизованої діагностики технічного стану ВТСПК із врахуванням метрологічних характеристик завадостійких датчиків.

4. Аналіз вимог до завадостійких до впливу експлуатаційних факторів засобів діагностики технічного стану елементів ВТСПК.

Аналіз конструкцій відомих датчиків зношування дозволив конкретизувати вимоги до нового схемотехнічного рішення. Для усунення недоліків, властивих відомим засобам, вдосконалений датчик зношування повинен забезпечити:

– підвищену захищеність елементів від неконтрольованих експлуатаційних ДФ;

– відсутність додаткових пристройів обробки інформаційного сигналу, які можуть спотворювати результати вимірювань;

– збереження високого рівня чутливості й швидкодії волоконних датчиків відомих типів.

Відомо, що проблема істотного підвищення стабільності та достовірності вимірювань прецизійних датчиків за рахунок мінімізації їх температурного дрейфу, в основному, вирішується за допомогою методів, що ґрунтуються на конструктивно-технологічних удосконаленнях, що мінімізують дестабілізуючі фактори, що ініційовані перемінним за інтенсивністю температурним полем [20]. Результати досліджень показали, що найбільш доцільним та економічно обґрунтованим є шлях вдосконалення волоконно-оптичних датчиків зношування, на основі застосування пасивних способів мінімізації показників температурного дрейфу у найбільш термостабільних відомих схемотехнічних рішеннях [21].

Головними елементами таких датчиків є два оптичних волокна, кінці яких зрізані та відполіровані під кутом Θ до осі волокна, достатньо великим, щоб здійснити повне внутрішнє відбивання для всіх мод, що поширяються у волокні. Наближення торців волокон під впливом контролюваних явищ на

відстань x_3 порядку довжини хвилі випромінювання λ призводить до появи умов здійснення тунелювання оптичного випромінювання з волокна до волокна. Вплив на величину зазору приводить до модуляції кількості потужності випромінювання, переданої між волокнами. Зразок датчика виконано з кварцових оптичних волокон, що містяться разом з додатковими елементами датчика на загальній основі з кварцового скла.

Основний недолік схеми, що розглядається, – недостатня міцність застосованих у датчику волокон, з огляду на величини впливаючих ДФ.

У [22] запропоновано використовувати у якості матеріалу, що забезпечує необхідні механічні характеристики коливальної системи для контролю елементів роторних машин волокон на основі штучного сапфіру. Застосування штучного сапфіру який практично не має механічного гістерезису, дозволить підвищити чутливість, стабільність та суттєво збільшити геометричні розміри волокон.

Однак, у оптичних волокнах збільшеного діаметру можливий тільки багатомодовий режим, який сполучений з явищем та наслідками міжмодової дисперсії. Міжмодова дисперсія значно обмежує інформаційну пропускну здатність усього вимірювального тракту й змушує використовувати низькоекективні світловипромінюючі діоди. Для виключення негативного впливу дисперсії у оптичних волокнах повинна поширюватися тільки одна мода, тобто хвилеводний параметр $V < 2,405$. Це може бути досягнуте збільшенням робочої довжини хвилі, зменшенням діаметра серцевини або зміною різниці показників заломлення (ПЗ) між серцевиною й оболонкою.

Досліджено, що застосування одномодових оптичних волокон з штучного сапфіру з депресованою серцевиною та довжиною хвилі 1,55 мкм дозволить збільшити не тільки стійкість елементів датчика до ДФ, але і підвищити відносну кількість потужності випромінювання, що передається між волокнами (рис. 4).

Зміна лінійних розмірів основи датчика при підвищенні температури до 250° може досягати $1,25 \cdot 10^{-5}$ м. Серед досліджених варіантів компенсації температурного порушення геометрії зв'язку первинного та вторинного волокон найбільш доцільним та технологічним виявився варіант, заснований на застосуванні біскляніх пластин. Термодеформація біскляної пластини, при сполучені з її допомогою основи та вторинного волокна (рис. 5), створить осьовий зсув останнього у напрямку первинного волокна [23]. Відзеркалюючий шар на вторинному волокні застосовано для повернення промодульованого під впливом коливань консольної пластини випромінювання до первинного волокна.

Для оцінки величини можливої компенсації термічного поширення елементів датчика за рахунок застосування біскляної пластини використовувались такі початкові дані: матеріал первинного та вторинного волокон – штучний сапфір з ПЗ $n = 1,75$; матеріал основи кварцове скло з ПЗ $n = 1,48$; склад біскляної пластини – скло зі штучного сапфіру з коефіцієнтом теплового лінійного розширення (КТЛР) $\alpha_1 = 5,6 \cdot 10^{-6}$ та скло марки KRS 5 з $\alpha_1 = 5,8 \cdot 10^{-5}$; товщина

біскляної пластиини $\Delta h = 5 \cdot 10^{-4}$ м; температурний діапазон $\Delta T = 50 \dots 250$ °C; Δx – зміна зазору між волокнами в наслідок вигину біскляної пластиини та теплового поширення основи [24].

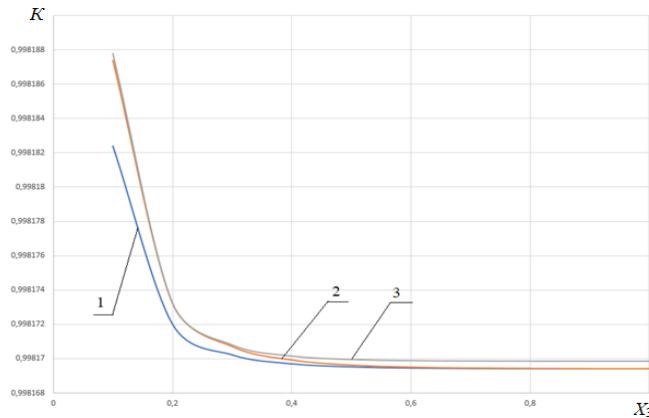


Рисунок 4 – Відносна інтенсивність K в залежності від зазору x_3 між первинним та вторинними волокнами зі штучного сапфіру для різної довжини хвилі оптичного випромінювання λ , мкм: 1 – 0,85; 2 – 1,33; 3 – 1,55

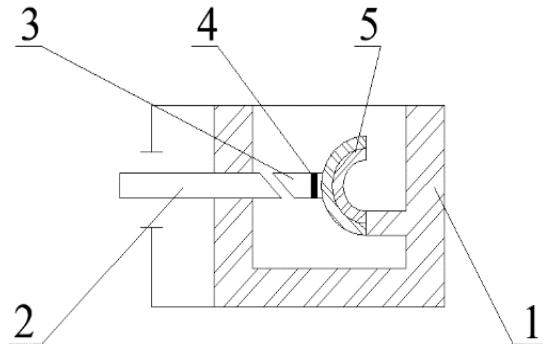


Рисунок 5 – Волоконно-оптичний вібраційний датчик зношування: 1 – основа; 2 – первинний світловод; 3 – вторинний світловод; 4 – віддзеркалюючий шар; 5 – біскляна консольна пластина

На підставі зазначених обмежень, можна визначити відносну інтенсивність в залежності від зазору:

$$K = 1 - \left[(z^2 + \gamma^2)^2 \left[(z^2 - \gamma^2)^2 + 4z^2\gamma^2 \coth^2 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right]^{-1} \right], \quad (2)$$

де $\beta = \left(\frac{4\pi x}{\lambda} \right) (n^2 \sin^2 \Theta - 1)^{0.5}$;

для випромінювання поляризованого перпендикулярно площині падіння

$$z = \frac{1}{ncos\Theta}, \quad \gamma = -(n^2 \sin^2 \Theta - 1)^{-0.5}.$$

для випромінювання поляризованого у площині падіння

$$\begin{aligned} z &= \frac{\cos\Theta}{n}, \quad \gamma = (n^2 \sin^2 \Theta - 1)^{0.5}. \\ x &= x_3 + \Delta x = x_3 + \left(\frac{l_0^2 (\alpha_2 - \alpha_1) \Delta T \Delta h}{8 \Delta h} - l_0 (1 + \alpha \Delta T) \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Якщо при розрахунках взяти середнє значення по обом можливим поляризаціям, то при застосуванні біскляної пластиини додаток величини K у температурному діапазоні $\Delta T = 50 \dots 250$ °C буде перебувати в межах $6 \dots 9,5 \cdot 10^{-3}$ %. Такою величиною додатку коефіцієнту відносної інтенсивності в реальних умовах можна знехтувати.

Для отримання найбільшої точності вимірювання, необхідно, наприклад, зв'язати параметр x з генерованою потужністю у ходовому режимі ВТСПК для l -паралельно працюючими генераторними агрегатами, зміна якої повинна контролюватися між верхніми x_{PH} і нижніми x_{PD} порогами завантаження.

Тоді, щільності розподілу суми незалежних випадкових величин будуть нормальними, а математичні очікування і дисперсії випадкових величин x і ε

підсумовуються. Якщо на похибку виміру накласти обмеження $x_{PH} - x_{PD} > \varepsilon_{\max}$ і скористатися висновками [25], то можна знайти ймовірність похибки першого MIS(1) і другого MIS(2) роду:

$$\text{MIS}(1) = \int_{PD(l)}^{PH(l)} F(x) \left(\int_{-\infty}^{x_{PD}-x} \theta(\varepsilon) d\varepsilon + \int_{x_{PH}-x}^{\infty} \theta(\varepsilon) d\varepsilon \right) dx;$$

$$\text{MIS}(2) = \int_{-\infty}^{PD} F(x) \left(\int_{x_{PD}-x}^{x_{PH}-x} \theta(\varepsilon) d\varepsilon \right) dx + \int_{PH}^{\infty} f(x) \left(\int_{x_{PD}-x}^{x_{PH}-x} \theta(\varepsilon) d\varepsilon \right) dx;$$

Імовірність $p(x(t_i + \Delta t))$ залежить від ширини інтервалу r , динамічних властивостей навантаження й значення $x(t_i)$. Вона може бути знайдена інтегруванням умовної щільності $f(x, \dot{x}/x_{PD}) < x < x_{PH}$ у областях I і II (рис. 2, в).

5. Автоматизована діагностика технічного стану ВТСПК із використанням імовірнісного підходу із врахуванням метрологічних характеристик завадостійких датчиків.

Якщо припустити, що розподіл \dot{x} (3) також нормальній, то

$$f(x, \dot{x}) = f_1(x)f_2(\dot{x}) \quad (4)$$

де $f_1(x) = \frac{1}{p\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(-\frac{(x-M_x^2)}{2\sigma_x^2}\right)$; $f_2(\dot{x}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\dot{x}}} \exp\left(-\frac{\dot{x}^2}{2\sigma_{\dot{x}}^2}\right)$.

Імовірність $(1-p)$ може бути знайдена як

$$1-p = \int_{(x_{PH}-x_{PD})/\Delta t}^{x_{PH}} f_2(\dot{x}) dx \int_{x_{PH}-\dot{x}\Delta t}^{x_{PH}} f_1(x/x_{PD}, x_{PH}) dx + \int_{(x_{PH}-x_{PD})/\Delta t}^{\infty} f_2(\dot{x}) dx \int_{x_{PD}}^{x_{PH}} f_1(x/x_{PH}, x_{PD}) dx +$$

$$+ \int_{x_{PD}}^{(x_{PD}-x_{PH})\Delta t} f_2(\dot{x}) dx \int_{x_{PD}}^{x_{PH}} f_1(x/x_{PD}, x_{PH}) dx.$$

При малих Δt (див. рис. 2, г), імовірність p буде рівна:

$$p_0 = 1 - \Delta t (dp/d(\Delta t)) \Delta t = 0.$$

Звідси $\Delta t = \frac{t - p_0}{(dp/d(\Delta t)) \Delta t}$. Диференціюючи вираження $(1-p)$ за Δt і підставляючи його у вираження для Δt , можна одержати припустиме значення інтервалу контролю:

$$\Delta t_{\text{доп}} = \frac{p(1-p_0^*)}{\frac{\sigma_{\dot{x}}}{2\pi\sigma_x} \left(\exp(-(x_{PH}-M_x)^2/2\sigma_x^2) + \exp(-(x_{PD}-M_x)^2/2\sigma_x^2) \right)},$$

де p и p_0^* – априорна й задана ймовірності знаходження контролюваної величини навантаження.

Для спрощеного визначення інтервалу контролю при відомій максимальній погрішності ϵ_{\max} і максимумі модулю першої похідної контролюваного навантаження можна скористатися виразом:

$$\Delta t = \epsilon_{\max} / (dx(t)/dt)_{\max},$$

і при цьому прийняти $\epsilon_{\max} = 3\sigma_\epsilon$, а $(dx(t)/dt)_{\max}$ визначити, провівши відповідний аналіз функції $f(\dot{x})$.

Цей підхід застосуємо, також, до дослідження режимів навантаження ВТСПК у частині аналізу викидів випадкового процесу [26]. Основними характеристиками викидів навантаження за верхній і нижній пороги можуть бути $T_{\sum PH} = \sum_i P_i t_i = E_{PH} T$; $T_{\sum PD} = \sum_i P_i t_i = E_{PD} T$ – сумарні тривалості всіх викидів

за рівні PH і PD протягом заданого відрізка часу T , пов'язаного із цілком певним режимом роботи судна (хід, стоянка і т. ін.); E_{PH} , E_{PD} – імовірність викиду за час T ; $\bar{v}_{PH,PD} = N_{PH,PD} / T_{PH,PD}$ – середня частота викидів; $\tau_{PH,PD} = 1 / \bar{v}_{PH,PD}$ – середня тривалість викиду; $(x_{\max}(\tau_{PH}) - x_{PH})$ або $(x_{PD} - x_{\min}(\tau_{PD}))$ – величина викиду.

Подальший розгляд будемо вести тільки щодо викидів за верхній рівень навантаження PH . Найважливішими питаннями при цьому є визначення закону розподілу часу перебування випадкової функції вище заданого рівня й закону розподілу числа викидів.

Вихід навантаження за верхню межу описується нерівністями

$$x(t) + \dot{x}(t)dt > x_{PH} \text{ або } x_{PH} - \dot{x}(t)dt < x(t) < x_{PH},$$

а ймовірність викиду E_{PH} буде визначатися вираженням:

$$E_{PH}(x_{PH} - \dot{x}(t)dt < x(t) < x_{PH}) = \int_0^{\infty} \int_{x_{PH} - \dot{x}dt}^{x_{PH}} f(x(t), \dot{x}(t)) dx d\dot{x} \quad (5)$$

Оскільки $\dot{x}dt \ll x_{PH}$, тобто межі інтегрування відрізняються мало, а також вважаючи, що ймовірність викиду пропорційна величині інтервалу часу, спростимо вираження (5) і введемо поняття часової щільності для ймовірності викиду $l_{PH}(x_{PH} / t)$:

$$l_{PH}(x_{PH} / t) = \int_0^{\infty} f(x_{PH}, \dot{x} / t) dx d\dot{x}; \quad (6)$$

$$l_{PD}(x_{PD} / t) = \int_0^{\infty} f(x_{PD}, \dot{x} / t) dx d\dot{x},$$

де $f(\dot{x}/t)$ – умовна щільність розподілу величини \dot{x} у часі.

У такому випадку середній час перебування навантаження вище заданої межі за проміжок часу T знайдемо, як

$$T_{\sum PH, PD} = \int_0^T \int_0^{\infty} f(x / t) dx dt, \quad (7)$$

а середня тривалість одного викиду (з практичної точки зору це найважливіша характеристика):

$$\bar{\tau}_{PH} = \frac{\bar{T}_{\Sigma PH}}{N_{PH}} = \frac{\int_0^T \int_{x_{PH}}^{\infty} f(x/t) dx dt}{\int_0^T \int_{x_{PH}}^{\infty} f(x_{PH}, dx/t) dx dt}. \quad (8)$$

Якщо тепер припустити, що умовна щільність розподілу ординат випадкової функції $f(x/t)$ і функції $f(dx/t)$ не залежать від часу, то завдання у пошуку $\bar{\tau}_{PH}$ значно спрощується. У цьому випадку, аналогічно (4), закони розподілу $f(x)$ і $f(x, \dot{x})$ однозначно виражуються через математичне очікування M_x і дисперсії σ_x і $\sigma_{\dot{x}}$, оскільки математичне очікування похідної $M_{\dot{x}}$ внаслідок стаціонарності випадкового процесу дорівнює нулю.

Дисперсію $\sigma_{\dot{x}}^2$ визначимо через кореляційну функцію швидкості у нулі ($\tau = 0$): $\sigma_{\dot{x}}^2 = -\frac{d^2 K_x(r)}{d\tau^2}|_{\tau=0}$. У результаті перетворень одержимо:

$$T'_{\Sigma PH} = T \int_{x_{PH}}^{\infty} f(x) dx; \quad N'_{PH} = T \int_0^{\infty} dx f(x, \dot{x}) d\dot{x}; \quad \bar{\tau}'_{PH} = \frac{\int_{x_{PH}}^{\infty} f(x) dx}{\int_0^{\infty} dx f(x, \dot{x}) d\dot{x}}; \quad (9)$$

$$\nu_{PH} = \frac{N'_{PH}}{T} = \frac{\sigma_{\dot{x}}}{2\pi\sigma_x} \exp\left(-\frac{(x_{PH} - M_x)}{2\sigma_x^2}\right); \quad (10)$$

$$\tau'_{PH} = \pi \frac{\sigma_x}{\sigma_{\dot{x}}} \exp\left(-\frac{(x_{PH} - M_x)}{2\sigma_x^2}\right) \left(1 - \Phi\left(\frac{x_{PH} - M_x}{\sigma_x}\right)\right),$$

де $\Phi(z) = \Phi(M_x, \sigma_x, x_{PH})$ – функція Лапласа:

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-x^2/2} dx, \quad z = \frac{x_{PH} - M_x}{\sigma_x}.$$

Слід зазначити, що, користуючись таблицями функцій $\Phi(z)$ Лапласа, наприклад [27], можна підрахувати ймовірність зворотного влучення прогнозованого навантаження $x \in N(M_x, \sigma_x)$ у інтервал x_{PH}, x_{PD} . Для цього треба спочатку розрахувати $z_1 = \frac{x_{PD} - M_x}{\sigma_x}$ та $z_2 = \frac{x_{PH} - M_x}{\sigma_x}$, а потім, за допомогою таблиць

Лапласа знайти $\Phi(z_1)$ і $\Phi(z_2)$. У такому випадку ймовірність визначаємо як

$$p(x_{PD} < x < x_{PH}) = \Phi(z_2) - \Phi(z_1). \quad (11)$$

При визначенні процесів управління ВТСПК з використанням накопичувачів електроенергії знадобиться прогноз значення енергії, необхідної для забезпечення викиду навантаження вище заданого рівня. Зрозуміло, що у такому випадку середня площа \bar{S} , обмежена реалізацією нормальної й стаціонарної випадкової функції вище заданого рівня x_{PH} за час викиду, і тому визначається:

$$\bar{S} = \frac{\sigma_x^2 \sqrt{2\pi}}{\sigma_{\dot{x}}} + \frac{(\bar{x} - x_{PH})\sigma_x \pi}{\sigma_{\dot{x}}} \left(1 - \Phi\left(\frac{x_{PH} - \bar{x}}{\sigma_x}\right) \exp\left(-\frac{(x_{PH} - \bar{x})^2}{2\sigma_x^2}\right) \right). \quad (12)$$

Визначимо, також, запит оцінки глобального математичного очікування M_x навантаження на розглянутому інтервалі, що зберігається у пам'яті комп'ютера й повинне періодично корегуватися (якщо вимагають цього результати оцінки). Для цієї мети скористаємося методом Монте-Карло [28]. У такому випадку пам'ять комп'ютера повинна мати середнє з вибірки значення x навантаження за останні $N > 10$ спостережень. Уважаючи, що розподіл випадкових значень \bar{x} є асимптотично нормальним й враховуючи відоме правило "трьох сігм" [29]:

$$P(|M_x - \bar{x}| < 3 \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}}) \approx 2\Phi_0(3) \approx 0,997,$$

сформулюємо умови необхідності корекції глобального математичного очікування у вигляді предиката Π_{mx} :

$$\forall M_x \forall \bar{x} \forall \sigma_x \forall N \left(|M_x - \bar{x}| > 3 \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}} \right) \rightarrow \Pi_{MX}(M_x, \bar{x}, \sigma_x, N), \quad (13)$$

$$\text{де } \sigma_x \approx \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right)^{1/2}.$$

Для одержання достовірних імовірнісних характеристик процесу навантаження необхідно мати досить велике число її реалізацій. У такому випадку статистичні оцінки характеристик M_x і $K_x(\tau)$ отримуємо шляхом усереднювання з безлічі реалізацій у різних перетинах функції $x(t)$. Однак, їх можна одержати шляхом осереднення за часом однієї-єдиної реалізації досить великої довжини, якщо вважати процес ергодичним. Тоді статичну оцінку постійного математичного очікування [30] знайдемо усереднюванням:

$$m_x^* = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt, \quad (14)$$

а для визначення оцінки кореляційної функції використаємо відомі формули:

$$\begin{aligned} K_x^*(t) &= \frac{1}{T-\tau} \int_0^{T-\tau} (x(t) - m^*(x))(x(t+\tau) - m_x^*) dx; \\ K_x^*(t) &= \frac{1}{m-n-1} \sum_{i=1}^{m-n} (x(t_i) - \bar{x})(x(t_i + \tau) - \bar{x}), \end{aligned} \quad (15)$$

де m – кількість інтервалів квантування на всьому інтервалі T , а n – кількість інтервалів квантування на інтервалі τ .

6. Обговорення результатів імовірнісного підходу до синтезу автоматизованої діагностики технічного стану ВТСПК

Запропонований засіб діагностування процесів експлуатації ВТСПК відрізняється інваріантністю до зовнішніх неконтрольованих впливів на діагно-

стичні процеси, що дозволяє здійснювати безперервний моніторинг, превентивне діагностування технічного стану елементів ВТСПК, підвищити якість їх технічної експлуатації та ремонту. Метод синтезу на основі оптимізації сполучення конструктивних параметрів та імовірнісного підходу дозволяє практично реалізувати запропонований спосіб одержання діагностичної інформації про стан ВТСПК.

Удосконалена математична модель волоконно-оптичного засобу діагностування дозволяє визначати, уточнювати та змінювати параметри засобу діагностики та застосовувати інтегральний закон розподілу навантаження ВТСПК (рис. 6).

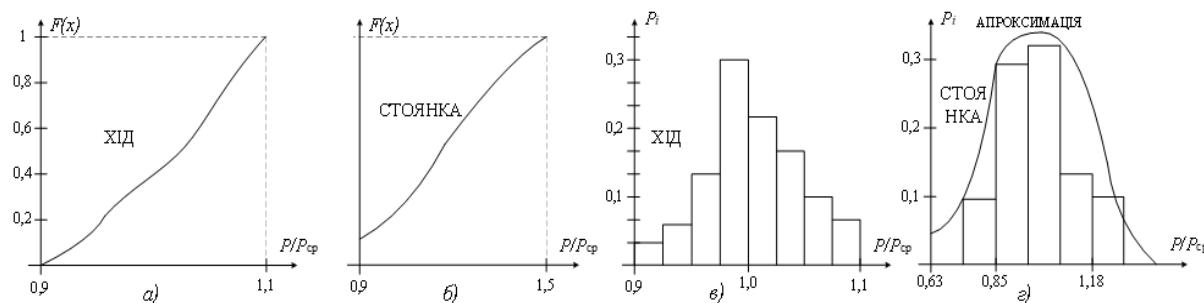


Рисунок 6 – Інтегральний закон розподілу навантаження (а, б),
гістограми навантаження (в) і апроксимація нормальним розподілом (г)

Підкреслимо, що формули (14) і (15) справедливі у припущені ергодичності процесу, про який можна судити за поведінкою його кореляційної функції. Так, якщо $K_x(\tau)$ сходиться до нуля на кінцевому інтервалі τ , то цей факт служить достатньою умовою ергодичності самого процесу $x(t)$ (див. рис. 7, б), бо $|K_x(\tau)| \leq 0,05$. На рисунках 7, 8 і 9 наведені результати статистичної обробки проведених експериментальних досліджень ходового режиму і режиму стоянки ВТСПК для різного типу суден.

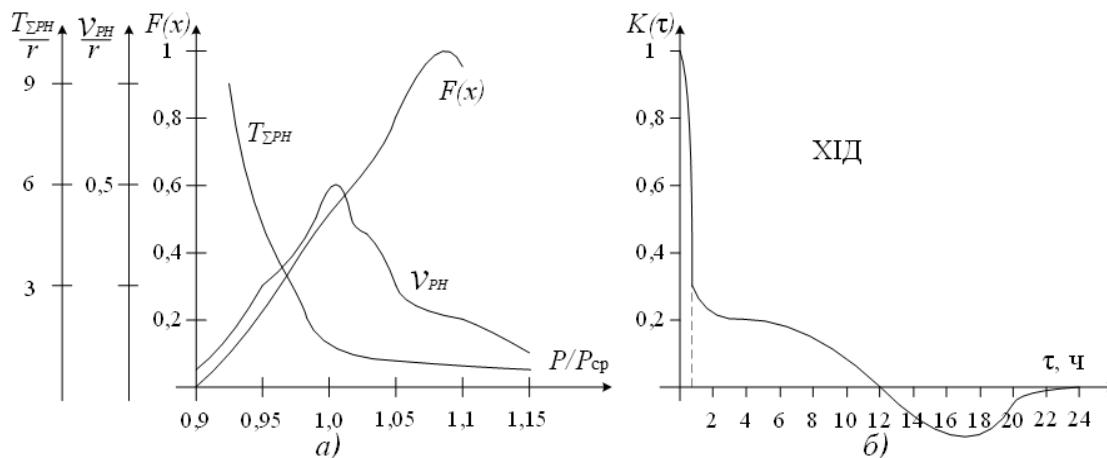


Рисунок 7 – Результати оцінювання експериментальних характеристик навантаження (а) і нормована кореляційна функція, розрахована на безлічі реалізацій (б)

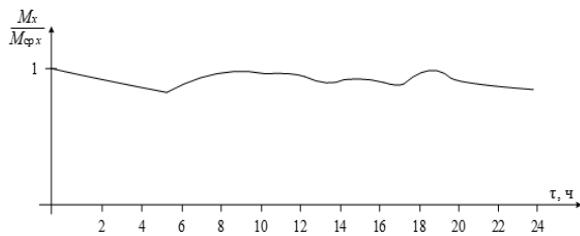


Рисунок 8 – Добові змінювання математичного очікування відносно середніх значень

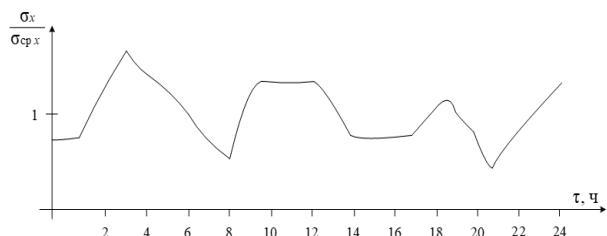


Рисунок 9 – Добові зміни стандартного відхилення відносно середніх значень

6. Висновки

Доведено, що пропонований засіб забезпечує підвищення вірогідності процесів діагностиування за рахунок використання принципів часткової інваріантності до зовнішніх неконтрольованих впливів на вимірювання, запропонованим методом синтезу основних процесів перетворення, конструкції, комбінації матеріалів і одержанням діагностичної інформації про стан ВТСПК.

Визначено, що впровадження нового засобу превентивного діагностиування технічного стану трибовузлів дозволить досягти підвищення ефективності використання та надійності ВТСПК. за рахунок зниження аварійності ~10 %, збільшення міжремонтного періоду та зменшення експлуатаційних витрат зі середньостатистичним навантаженням. Наявність погрішностей пристрою вимірювань контролю приводить до специфічних помилок, які слід ураховувати при оцінці якості контролю й розв'язанні завдань управління ВТСПК. Розрізнено помилки першого і другого роду, оцінені імовірність неправдивого показання і пропуску реєстрації переходу параметрів X граничного значення, відповідно.

Зв'язано вимірювані параметри X з генерованою потужністю у ходовому режимі l -паралельно працюючих генераторних агрегатів, зміна яких повинна контролюватися між верхніми X_{RH} і нижніми X_{PD} порогами завантаження. Для цього прикладу, на основі визначення добових коливань математичного очікування відносно середніх його значень і добових змін стандартного відхилення відносно його середніх значень, запропоновано використання інтегрального закону розподілу навантаження, визначені гістограми навантаження і апроксимація нормальним розподілом. У результаті наведені результати оцінювання експериментальних характеристик навантаження ВТСПК і нормована кореляційна функція, розрахована на безлічі реалізацій режимів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тихонов, І. В. Основи теорії похибок вимірювань. 1-е вид. / І.В. Тихонов, В.С. Давидов, С.М. Кучерук, В.І. Богом'я // Методичний посібник КДАВТ. – Київ, 2013. – 66 с.
2. Dvulit, P. Accuracy estimation of site coordinates derived from GNSS-observations by non-classical error theory of measurements / P. Dvulit, S. Savchuk, I. Sosonka // Geodesy and Geodynamics. – 2021. – V. 12 (I. 5). – P. 347-355. ISSN 1674-9847. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geog.2021.07.005>.
3. 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.
4. Kokin, S. Diagnostics of the technical condition of electric network equipment based on fuzzy

expert estimates / S. Kokin, V. Manusov, J. Ahyoev, S. Dmitriev, A. Tavlintsev, M. Safaraliev // Energy Reports. – 2020. – V. 6 (S. 9). – P. 1383-1390. ISSN 2352-4847. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.11.017>.

5. Barde, M. P. What to use to express the variability of data: Standard deviation or standard error of mean? / M. P. Barde, P. J. Barde // Perspect Clin. – 2012. – Res. 3 (3). P. 113-116. Doi: <https://dx.doi.org/10.4103%2F2229-3485.100662>.

6. Сандлер, А. К. Метод підвищення ефективності діагностування технічного стану суднових газотурбінних установок на основі волоконно-оптических технологій: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20. – К., 2021. – 159 с.

7. Krčum, M. Shipboard Monitoring and Control System / M. Krčum, Ž. Lazarević, I. Kuzmanić // IFAC Proceedings Volumes. – 1997. – V. 30 (I. 22). – P. 165-169. ISSN 1474-6670. Doi: [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)46508-6](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)46508-6).

8. Zhang, M. A Big Data Analytics Method for the Evaluation of Ship - Ship Collision Risk reflecting Hydrometeorological Conditions / M. Zhang, J. Montewka, T. Manderbacka, P. Kujala, S. Hirdaris // Reliability Engineering & System Safety. – 2021. – V. 213. – 107674. ISSN 0951-8320. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107674>.

9. 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), Slavsk, 25-29 Feb. 2020, Ukraine: IEEE. – P. 350-354. Doi: [10.1109/TCSET49122.2020.9235453](https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.9235453).

10. 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).

11. 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).

12. Holmberg, K. Topography orientation effects on friction and wear in sliding DLC and steel contacts, part 3: Experiments under dry and lubricated conditions / K. Holmberg, A. Laukkanen, T. Hakala, H. Ronkainen, T. Suhonen, M. Wolski, P. Podsiadlo, T. Woloszynski, G. Stachowiak, C. Gachot, L. Li // Wear. – 2021. – V. 486–487. – 204093. ISSN 0043-1648. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.204093>.

13. 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).

14. Motazedian, F. Determining intrinsic stress and strain state of fibre-textured thin films by X-ray diffraction measurements using combined asymmetrical and Bragg-Brentano configurations / F. Motazedian, Z. Wu, J. Zhang, B. S. Shariat, D. Jiang, M. Martyniuk, Y. Liu, H. Yang // Materials & Design. – 2019. – V. 181. – 108063. ISSN 0264-1275. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108063>.

15. Кузнецов, А. А. Датчик износа и температуры изделия на основе волоконно-оптического чувствительного элемента / А. А. Кузнецов, О. Г. Морозов, И. И. Нураев, Л. М. Фасхутдинов, В. И. Артемьев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т.17. – №6 (2). – С. 455-460.

16. Yin, P. Influence of coordinate system establishment error on tooth profile deviation measured by standard polar coordinate method on gear measuring center / P. Yin, F. Han, J. Wang, C. Lu, H. Du // Measurement. – 2021. – V. 187. – 110344. ISSN 0263-2241. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110344>.

17. Ефремов, Л. В. Вибраакустические испытания образцов трибосопряжений на износостойкость / Л. В. Ефремов, Л. С. Баева, А. В. Тикалов // АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2017. – № 2. – С. 69-76.

18. Khonsari, M.M. On the running-in nature of metallic tribo-components: A review / M.M. Khonsari, S. Ghatrehsamani, S. Akbarzadeh // Wear. – 2021. – V. 474–475. – 203871. ISSN 0043-1648. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203871>.

19. Al-Hinai, A. Coordinated intelligent frequency control incorporating battery energy storage sys-

tem, minimum variable contribution of demand response, and variable load damping coefficient in isolated power systems / A. Al-Hinai, H. Alyammahi, H. H. Alhelou // Energy Reports. – 2021. ISSN 2352-4847. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.07.072>.

20. Wang, S. High-precision fiber optic liquid level sensor based on fast Fourier amplitude demodulation in a specific range of spectrum / S. Wang, Y. Yang, L. Zhang, L. Mohanty, R.-B. Jin, S. Wu, P. Lu // Measurement. – 2021. – V. 187. – 10326. ISSN 0263-2241. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110326>.

21. Akrofi, J.D. Multi-stack insulator to minimise threshold voltage drift in ZnO FET sensors operating in ionic solutions / J.D. Akrofi, M. Ebert, J.D. Reynolds, K. Sun, R. Hu, M.R.R. de Planque, H.M.H. Chong // Micro and Nano Engineering. – 2020. – V. 8. – 100066. ISSN 2590-0072. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.mne.2020.100066>.

22. Wang, X. Random fiber laser based on an artificially controlled backscattering Erbium-Doped fiber / X. Wang, D. Chen, B.-M. Mao, G. Wu // Optical Fiber Technology. – 2020. – V. 54. – 102125. ISSN 1068-5200. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.yofte.2019.102125>.

23. Mehnert, M. A complete thermo-electro-viscoelastic characterization of dielectric elastomers, Part I: Experimental investigations / M. Mehnert, M. Hossain, P. Steinmann // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. – 2021. – V. 157. – 104603. ISSN 0022-5096. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2021.104603>.

24. Allam, A. Linear Thermal Expansion Coefficients of Higher Manganese Silicide Compounds / A. Allam, P. Boulet, M.-C. Record // Physics Procedia. – 2014. – V. 55. – P. 24-29. ISSN 1875-3892. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2014.07.004>.

25. Lee, C. Energy Efficient Control for Electric Ship Propulsion Considering Thrust Fluctuation in Regular Waves / C. Lee, J. Kim // IFAC-PapersOnLine. – 2021. – V. 54 (I. 16). – P. 364-369. ISSN 2405-8963. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.117>.

26. Estrin, D.A. Hybrid quantum and classical mechanical Monte Carlo simulations of the interaction of hydrogen chloride with solid water clusters / D. A. Estrin, J. Kohanoff, D. H. Laria, R. O. Weht // Chemical Physics Letters. – 1997. – V. 280 (I.3-4). – P. 280-286. ISSN 0009-2614. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0009-2614\(97\)01116-0](https://doi.org/10.1016/S0009-2614(97)01116-0).

27. Table of Laplace Transforms. <https://www.intmath.com/laplace-transformation/table-laplace-transforms.php>.

28. Dunn, W. L. Exploring Monte Carlo Methods / W.L. Dunn, J. K. Shultis // Elsevier Science. – 2011. – 384 p. ISBN 978-0-444-51575-9. <https://www.sciencedirect.com/book/9780444515759/exploring-monte-carlo-methods#book-description>.

29. Chen, B. Novel multivariate q-sigma rule focusing on process variation for incipient fault detection in dynamic processes / B. Chen, X.-L. Luo // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. – 2020. – V. 206. – 104149. ISSN 0169-7439. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2020.104149>.

30. Tillmann, A.M. Structured discrete shape approximation: Theoretical complexity and practical algorithm / A. M. Tillmann, L. Kobbelt // Computational Geometry. – 2021. – V. 99. – 101795. ISSN 0925-7721. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.comgeo.2021.101795>.

Секція 11. ОСВІТНІ ТА ПРОФЕСІЙНІ СТАНДАРТИ

УДК 378.005

**ЗОВНІШНЄ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИЩОЇ ОСВІТИ.
АКРЕДИТАЦІЯ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ ПІДГОТОВКИ
МАГІСТРІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 081 ПРАВО****Ю. С. Медведєва**, к. геогр. н., доцент**А.О. Курдюкова**, курсант

Національний університет «Одесська морська академія»

Анотація. В статті наведено основні чинники забезпечення якості вищої освіти, сутність проведення акредитації освітніх програм

Ключові слова: заклад вищої освіти, якість освіти, акредитація.

**EXTERNAL QUALITY ASSURANCE OF HIGHER EDUCATION.
ACCREDITATION OF THE EDUCATIONAL TRAINING PROGRAM
MASTERS OF SPECIALTY 081 LAW****I. S. Medvedieva**, Ph. D. of Geographic Sciences, Associate Professor**A. O. Kurdyukova**, cadet

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The main factors of quality assurance of higher education, the essence of accreditation of educational programs are given in the article

Keywords: institution of higher education, quality of education, accreditation.

У 2005 році Україна приєдналася до «Болонського процесу», цим самим взвівши на себе зобов'язання проводити роботу з приведення якості національної освіти у відповідність до європейських стандартів. Уряд прийняв Постанову Про невідкладні заходи щодо запровадження зовнішнього незалежного оцінювання та моніторингу якості освіти та в 2008 році абітурієнти вперше зарахувались до ЗВО на базі результатів зовнішнього незалежного оцінювання.

В Європі основним документом, який стосується зовнішнього забезпечення якості вищої освіти є Стандарти та рекомендації щодо забезпечення якості в Європейському просторі вищої освіти (Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area) (далі – Європейські стандарти та рекомендації). Цей документ не містить чітких положень та наказів, якими мають керуватися країни, але він надає керівництво, що охоплює області, які мають важливе значення для успішного забезпечення якості та умов навчання у вищій освіті [1].

Прийняття Закону України «Про вищу освіту» мало за мету створити основу для забезпечення якості вищої освіти відповідно до Європейських стандартів та рекомендацій. Якість вищої освіти має забезпечуватися шляхом здійснення процедур внутрішнього та зовнішнього забезпечення якості. Зовнішнє забезпечення якості передбачає: «забезпечення ефективності процесів і процедур внутрішнього забезпечення якості освітньої діяльності закладів вищої освіти».

ти та якості вищої освіти; забезпечення наявності системи проведення процедур зовнішнього забезпечення якості; забезпечення наявності оприлюднених критеріїв прийняття рішень відповідно до стандартів та рекомендацій забезпечення якості в Європейському просторі вищої освіти; налагодження доступного і зрозумілого звітування; проведення періодичних перевірок діяльності систем забезпечення якості та механізмів роботи з отриманими рекомендаціями; інших процедур і заходів» [2].

Забезпечення якості вищої освіти стосується як можливостей навчальних закладів поліпшення освітньої діяльності, так і процесів оцінювання та присвоєння кваліфікацій.

Задля того, щоб ЗВО мав надавати освітні послуги необхідно мати ліцензію на таку діяльність. Ліцензуванню підлягають освітня діяльність закладу вищої освіти на певному рівні вищої освіти та освітня діяльність за освітніми програмами, що передбачають присвоєння професійної кваліфікації з професій, для яких запроваджено додаткове регулювання. Для цього необхідно подати заяву та необхідні документи до органу ліцензування через Єдину державну електронну базу з питань освіти та протягом 35 робочих днів орган ліцензування має прийняти рішення про видачу ліцензії на провадження освітньої діяльності або про відмову у її видачі [2].

В НУ «ОМА» є ліцензія вищої освіти магістерського рівня спеціальності 081 Право Наказ № 26-л від 04.03.2021.

Інституцією системи зовнішнього забезпечення якості освітньої діяльності закладів вищої освіти та якості вищої освіти в Україні є Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти (далі – НАЗЯВО). Це колегіальний орган, створений для проведення акредитації закладів вищої освіти незалежними компетентними експертами, що формує вимоги, розробляє положення про акредитацію освітніх програм, аналізує якість освітньої діяльності закладів вищої освіти тощо.

Акредитація має проводитись з ініціативи закладу вищої освіти за письмовою заявою та необхідними документами до НАЗЯВО. Комісія має протягом 3 місяців з дня подання заяви проводити перевірку відповідності до вимог і прийняти рішення щодо акредитації. Є 3 види рішень: рішення про акредитацію; умовна (відкладена) акредитація; відмова в акредитації відповідної освітньої програми. Рішення приймається на підставі експертного висновку і вноситься до Єдиної державної електронної бази з питань освіти.

НУ «ОМА» проходив акредитацію магістрів спеціальності 081 Право у 2020 році. Університетом було надано усі необхідні документи, проводились зустрічі з викладачами, показувались умови та стан університету, аудиторій та гуртожитку (екіпажу). Okremo була зустріч експертів із здобувачами вищої освіти, де експерти задавали багато питань щодо процесу, форми навчання, освітніх компонентів, форми викладання, мобільності, академічної доброчесності, неформального навчання тощо. Експертним висновком було прийнято рішення щодо умовної (відкладеної) акредитації на один рік. Тому, в 2021 році НУ «ОМА» знову проходила акредитацію, але кінцевого рішення ще немає.

Наразі ще діє Сертифікат про акредитацію освітньої програми, що дійсний до 23.02.2022.

Сертифікат підтверджує відповідність освітньої програми закладу вищої освіти за відповідною спеціальністю та рівнем вищої освіти стандарту вищої освіти і дає право на видачу диплома державного зразка за цією спеціальністю. В НУ «ОМА» 4 рівень акредитації і тому ми відносимося до національного університету, де рівень акредитації ЗВО може змінюватися на підставі результатів акредитації [3].

ЛІТЕРАТУРА

1. Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area (ESG). (2015). Brussels, Belgium. URL: https://www.enqa.eu/wp-content/uploads/2015/11/ESG_2015.pdf
2. Про вищу освіту: Закон України від 01.07.2014 року № 1556-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text> (дата звернення: 25.10.2021).
3. Про затвердження Положення про акредитацію закладів вищої освіти і спеціальностей у закладах вищої освіти та вищих професійних училищах: постанова Кабінету Міністрів України від 09.08.2001 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/978-2001-%D0%BF#Text> (дата звернення: 25.10.2021).

УДК 378.14

ІНСТРУМЕНТИ MICROSOFT 365: ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС

A. С. Кушнірук, к. пед. н., доцент

В. С. Грищенко, студентка

Державний заклад «Південноукраїнський національний
педагогічний університет імені К. Д. Ушинського»

Анотація. Розглянуто можливості використання інструментів Office 365 в умовах дистанційного навчання.

Ключові слова: ефективність навчання, Office 365, заклади освіти.

MICROSOFT 365 TOOLS: GENERAL DESCRIPTION

A. S. Kushniruk, Ph. D. of Pedagogical Sciences, Associate Professor

V. S. Hryshenko, student

South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky

Abstract: Possibilities of using Office 365 tools in the conditions of distance learning are considered.

Keywords: learning efficiency, Office 365, educational institutions.

В умовах пандемії дуже великих змін набув саме освітній процес. Після того, як сталася спалах COVID-19, вчителі та викладачі вимушені знаходити нові та ефективні методи та форми навчання у закладах освіти. Навчальні заклади всіх форм знаходяться в режимі змішаного навчання, тому освітяни потрапили в складну ситуацію, бо їм потрібно опановувати нові засоби навчання в швидкому темпі. Теперішні умови карантину передбачають не тільки іннова-

ційні зміни в цілях, змісті, методах, формах і засобах викладання, а й вимагають уdosконалення та урізноманітнення способів діагностики знань здобувачів освіти в новому режимі (онлайн навчання). Отже існує необхідність звернути увагу на нові й зручні засоби освіти для досягнення найкращого результату. На сьогодні в світовій практиці актуально є платформа Microsoft 365, яка відкрила безкоштовний доступ для освітніх закладів до цілої низки додатків [1]. Ця програма дає багато можливостей як для здобувачів освіти, так і викладачів, адже всі навчальні матеріали та засоби знаходяться в одній програмі.

Microsoft 365 – це програмний засіб, який суміщає в собі набір веб-сервісів для домашнього та персонального використання, бізнеса та навчальних закладів. Розповсюджується на основі підписки. В пакет входить електронна пошта, функціонал для спілкування та управління документами. Крім роботи з різними формами документів, також є можливість додавати замітки, зберігати файли, сканувати QR-коди, сканувати таблиці та документи з світлини [2], таким чином автоматично переносячи інформацію в Word та Excel. Додаток доступний для iOS та Android [3].

Нас буде цікавити програмний пакет, який призначений для навчальних закладів. Цей пакет Office 365 дає можливість:

- ✓ Створювати та редагувати документи Word, OneNote, PowerPoint та Excel в браузері [4].
- ✓ В Excel для iOS та Android є можливість завантажувати таблиці за допомогою камери телефона. Достатньо сфотографувати таблицю, відкрити Excel та натиснути «Вставити дані з зображення». Вставлену таблицю можна редагувати, але додаток працює з не складними видами таблиць. Також працює і для текстових документів.
- ✓ Створювати опитування та тестування для здобувачів освіти в сервісі Forms.
- ✓ За допомогою використання сервісу Sway викладач може через мобільний телефон, планшет або браузер зручно створювати онлайн- заняття, завдання, резюме проектів та інші матеріали. Здобувачі освіти зможуть створювати красиві доповіді, оформляти завдання, проекти тощо.
- ✓ Використання електронної пошти Outlook. Користувачу надана поштова скринька об'ємом 50 ГБ та можна прикріплюти файли розміром до 150 МБ.
- ✓ Надавати доступ до документів тільки закладу освіти чи певним людям, а всім іншим заборонити. Також надавати три рівня доступу: читання, редагування, рецензування.
- ✓ За допомогою сервісу Teams викладачам проводити онлайн- заняття з участю здобувачів освіти. Сервіс підтримує аудіо та відео зв'язок, демонстрацію власного екрану та екрану слухачів.
- ✓ Використовувати віртуальну дошку – Whiteboard. За допомогою неї викладач може малювати рисунки, вставляти стікери з інформацією, які допоможуть проілюструвати тему заняття тощо.

- ✓ Зберігати всі документи у власному хмарному сховищі OneDrive. Кожному користувачу надано 1ТБ пам'яті. Можна легко ділитися документами з іншими користувачами з будь-якої точки світу.
- ✓ З легкістю управляти відео контентом у своїй організації за допомогою Office 365 Відео. Це сервіс для навчального закладу, на який можна завантажувати відео, щоб ділитись ним та мати швидкий доступ до перегляду на будь-яких пристроях.
- ✓ Підвищити ефективність навчання та взаємодії між здобувачами освіти та викладачем за допомогою сервісу Yammer. Він дозволяє учасникам освітнього процесу спілкуватись, обмінюватись інформацією, вести роботу над будь-яким проектом.
- ✓ Бути в курсі усього, що відбувається. З використанням Office Delve можна знаходити інформацію, яка є для користувача найбільш актуальною в даний час.
- ✓ З Office та SharePoint працювати з веб-службами безпосередньо в документах та на сайтах.
- ✓ Повністю контролювати свої дані. В системі є п'ять рівнів безпеки, що забезпечують безпеку та конфіденційності даних користувача [3].

ЛІТЕРАТУРА

1. Office 365 Education. URL: <https://www.microsoft.com/uk-ua/education/products/office>
2. Microsoft 365. URL: <https://www.intranetno.ru/tool/1193/> (дата звернення: 08.11.2021).
3. Microsoft 365. URL: https://www.microsoft.com/uk-ua/?ocid=oo_support_mix_marvel_ups_support_smcuhfm365&rtc=1 (дата звернення: 08.11.2021).
4. Навчання з Microsoft 365. URL: <https://support.microsoft.com/uk-ua/training>

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС

Рябцов О.В. Визначення коефіцієнту завантаження споживачів суднових електроенергетичних систем за допомогою сучасних ICS [Текст] / Рябцов О.В., Щербінін В.А., Пащенко О.О. // Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 8-13

Колебанов О. К. Дослідження системи автоматичного управління судновим краном типу «MACGREGOR» [Текст] / Колебанов О. К., Лебеденко Ю.О.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С.13-17

Завадський В. А. Прецизійний перетворювач «напруга – частота» для тензометричних датчиків суднового обладнання [Текст] / Завадський В. А., Харченко Р. Ю., Дранчук С. М., Глушко І. С.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 17-21

Терновая Т.И. Пути повышения эффективности диагностики судового электрооборудования [Текст] / Терновая Т.И., Березовский А.С. // Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 21-24

Гаур Т.О. Дослідження суднової системи охолодження із тензометричним витратоміром рідини [Текст] / Гаур Т.О., Зарицька О.І., Резниченко І.Р., Цацко В.І.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 24-27

Дранчук С.М. Порівняльний аналіз методів антіфоулінгу суден [Текст] / Дранчук С.М., Кулеба Р.Ю., Цацко В.І.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 28-31

Дранкова А.О. Удосконалення контуру регулювання вприску нейтралізатора у системі очищення баластних вод танкера водозміщенням 112000 тон [Текст] / А.О. Дранкова, Д.А. Горбунов // Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 32-35

Ошмарін Є.О. Аналіз технологічних процесів подачі палива в судових двопаливних двигунах [Текст] / Ошмарін Є.О., Гвоздєва І.М., Зеленюк С.О., Щербінін В.А., Тумольський О.П.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 36-39

Самонов С.Ф. Обґрунтування модернізації пропульсивної установки пасажирського судна водотонажністю 2000 тонн [Текст] / Самонов С.Ф., Дубовик В.О., Власов В.Б., Кульбацький А.А.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 39-43

Цибух А.О. Енергоефективне управління системою охолодження танкера дедвейтом 112 тисяч тон [Текст] / Цибух А.О., Химчак М.С., Муха М.Й.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 43-47

Drankova A. Influence of implementation of the exhaust gas purification system on the quality indicators of the ship power network [Текст] / Alla Drankova, Igor Krasovskyi // Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 48-50

Малявін І.П. Математична модель електричних процесів багатофазних імпульсних перетворювачів постійної напруги при безрозвривих струмах дроселів силових каналів [Текст] / Малявін І.П.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 51-54

Вишневський Д.Л. Експериментальні дослідження процесів стабілізації напруги асинхронного генератору [Текст] / Вишневський Д.Л., Муха М.Й.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 55-57

Шестака А. І. Застосування сучасних драйверів щіткових двигунів постійного струму в електроприводах актуаторів [Текст] / Шестака А. І., Мельникова Л. В.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 57-59

Попов В.Г. Математичне моделювання розподілу температури у втулці циліндра суднового двигуна [Текст] / Попов В.Г.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 60-63

Кривий О.Ф. Нові математичні моделі гідродинамічних сил на корпусі судна для довільних кутів дрейфу і кутової швидкості [Текст] / Кривий О.Ф., Міусов М. В.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 64-67

Попов В.Г. Математичне моделювання контактної взаємодії при коливаннях повзового зсуву [Текст] / Попов В.Г., Кирилова О.І.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 67-71

Кривий О. Ф. Фундаментальний розривний розв'язок здачі тепlopровідності для неоднорідного трансверсально-ізотропного середовища [Текст] / Кривий О. Ф., Морозов Ю.О.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 72-75

Кривий М. О. Вплив властивостей моторних мастил на розподіл тиску в парах ковзання суднових дизелів [Текст] / Кривий М. О., Сагін С. В.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 76-79

Кривий М. О. Визначення максимального контактного тиску в парах ковзання суднових енергетичних установок [Текст] / Кривий М. О., Сагін С. В.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 79-83

Карпович О. Я. Модель вентильно-індукторного електродвигуна у складі поршневого компресора холодильної установки [Текст] / Карпович О. Я., Налева Г. В., Онищенко О. А.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 83-87

Demydov O. Simulation of the dynamic stress state of a finite cylinder with a circular crack [Текст] / Демидов О.В., Попов В.Г.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 87-91

Попов В.Г. Моделювання і дослідження впливу на напруженій стан в умовах вібрації лінійних розмірів ланок триланкового включення [Текст] / Попов В.Г., Литвин О.В.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 91-95

Орлова Н.Д. Можливість використання різних математичних моделей подрібнення рослинної сировини для практичних розрахунків [Текст] / Орлова Н.Д.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 95-99

Рожков С.О. Математична модель системи діагностування в задачах автоматичного контролю [Текст] / Рожков С.О., Кондрашов К.В., Тимофеєв К.В., Бутаков І.Б., Старов М.В. // Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 99-103

Гвоздєва И.М. Идентификация математической модели температурного режима судовых дизель-генераторных установок на основе генетических алгоритмов [Текст] / Гвоздєва И.М., Миргород В.Ф., Колесник С.В., Корольчук С.В.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 103-108

Миргород В.Ф. Удосконалення характеристик суднових систем автоматичного регулювання за допомогою застосування FUZZY-регуляторів [Текст] / Завадський В. А., Харченко Р. Ю., Дранчук С. М., Глушко І. С.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 109-112

Koshevyy V. Periodic compound multiphase signals with an additional amplitude modulation based on the Chebyshev function [Текст] / Koshevyy V., Pashenko O.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 113-117

Koshevyy V.M. Output antenna signals normalization for weak targets selection [Текст] / Koshevyy V.M., Shevchenko A.A.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 117-119

Михайлов С.А. 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

Mikhailov N.S. Cybersecurity procedures for marine computers systems [Текст] / Mikhailov N.S.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 123-125

Шевцов Ю. С. Рекомендації класифікаційних товариств щодо створення комплексного підходу до кібер – ризиків [Текст] / Молчанов А.О., Шевцов Ю. С., Харченко Р.Ю.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 126-129

Михайлов С.А. Кібербезпека для військового-морських сил України [Текст] / Михайлов С.А., Прядко В.А.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 130-131

Mikhailov S. Measures for Protection and Detection of Cyber Security Threats [Текст] / Mikhailov S., Rusak B.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 132-135

Михайлов С.А. Особенности переподготовки дипломированных-судоводителей в области информационной безопасности [Текст] / Шевченко К.Г., Михайлов С.А.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 135-138

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

Шевцов Ю.С. 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

Захаров І. Моделювання каскадних перетворювачів частоти з векторним керуванням [Текст] / Захаров І., Бушер В. В., Ду Синь, Цзян Хайлун// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 144-150

Червяков С. Модернізація моделі перетворювача частоти з векторним керуванням для дослідження багаторівневих каскадних інверторів [Текст] / Червяков С., Бушер В. В.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 151-155

Войтецький І.Є. Дослідження процесів паливоспалювання при застосуванні різних структурних схем регулювання співвідношення паливо-повітря [Текст] / Войтецький І.Є., Войтецька Т.О., Цуркан Т.В., Мамай В.М., Корольчук С.В.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 156-158

Войтецький І.Є. Дослідження динаміки зміни рівня води в барабані котла при різних способах регулювання [Текст] / Войтецький І.Є., Козирев І.П., Лутій Д.В., Мурзак О.В.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 159-161

Михайленко В.С. Аналіз методів ідентифікації систем автоматичного управління судновими паровими котлами [Текст] / Михайленко В.С., Лещенко В.В., Тумольський О.П.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 161-164

Соловйов І.І. Використання автоматизованих робототехнічних систем до пошуку вибухонебезпечних предметів у водному середовищі [Текст] / Соловйов І.І.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 165-168

Сандлер А.К. Автоматизований засіб підвищення безпеки морських поромних перевезень [Текст] / Сандлер А.К.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 169-174

Шевченко В.А. Автоматизація управління деякими процесами суднових генераторних агрегатів [Текст] / Шевченко В.А., Тєплов Ю.І., Романов А.М., Хілков Г.Б., Пєтков І.В.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 174-184

Оженко Є.М. Шляхи розвитку автономного судноплавства [Текст] / Оженко Є.М., Іванов О.В., Лісніченко О.Ю., Поштару Д.Л., Бегіашвілі Б.Д., Філіпчук Д.В., Яворський А.С.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 185-189

Сандлер А.К. Схемотехнічне рішення високотемпературного датчику тиску [Текст] / Сандлер А.К., Макарчук Є.В.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 190-194

Дрозд О. В. Захист механізму підйому вантажного крану [Текст] / Дрозд О. В.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 195-199

Кар'янський С.А. Передумови удосконалення системи менеджменту якості експлуатації суден [Текст] / Кар'янський С.А.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 199-203

Рак О.М. По слідах надзвичайних ситуацій, або про небезпеку використання ламп розжарювання в трюмах морських суден [Текст] / Рак О.М., Глазєва О.В., Шабля О.М., Дудко С.А., Бак А.Ю.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 203-210

Будашко В. В. Імовірнісний підхід вирішення задач діагностування технічного стану високотехнологічних суднових установок [Текст] / Будашко В. В., Сандлер А. К., Шевченко В. А. // Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 211-226

Медведєва Ю. С. Зовнішнє забезпечення якості вищої освіти. Акредитація освітньої програми підготовки Магістрів спеціальності 081 Право [Текст] / Медведєва Ю. С., Курдюкова А.О.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 227-229

Кушнірук А. С. Інструменти MICROSOFT 365: загальний опис [Текст] / Кушнірук А. С., Грищенко В. С.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 229-231

Наукове видання

МАТЕРІАЛИ

XI Міжнародної науково-технічної конференції

"СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І АВТОМАТИКА"

23.11.2021 – 24.11.2021

Комп'ютерна верстка: *O. B. Глазєва*

Підп. до друку 18.12.2020.

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 14,64.

Тираж 300 пр. Зам. № И20-12-98

Національний університет «Одесська морська академія»,
65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп.7

Свідоцтво ДК № 1292 от 20.03.2003

Тел./факс: (0482) 34-14-12

publish-r@onma.edu.ua