

Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції  
**Materials of the 14<sup>th</sup> international scientific and practical conference**

---

**СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І  
АВТОМАТИКА**

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

**SEEEA-2024**

Збірка матеріалів конференції

**19-20 листопада  
2024 року  
Одеса, Україна**

**November 19-20  
2024  
Odessa, Ukraine**

## ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

**Вадим Захарченко** – д.т.н., професор (Україна);  
**Володимир Голіков** – д.т.н., професор (Україна);  
**Віталій Будашко** – д.т.н., професор (Україна);  
**Віктор Петрушин** – д.т.н., професор (Україна);  
**Микола Муха** – д.т.н., професор (Україна);  
**Ірина Гвоздева** – д.т.н., професор (Україна);  
**Віктор Бушер** – д.т.н., професор (Україна);  
**Сергій Михайлов** – д.т.н., професор (Україна);  
**Віталій Кошевий** – д.т.н., професор (Україна);  
**Всеволод Попов** – д.ф.-м. наук, професор (Україна);  
**Владислав Михайленко** – д.т.н., професор (Україна);

**Вадим Романюк** – д.т.н., професор (Україна);  
**Юрій Гунченко** – д.т.н., професор (Україна);  
**Світлана Кузніченко** – професор (Німеччина);  
**Любомир Петришин** – д.т.н., професор (Польща);  
**Раджендер Трехан** – професор (Сполучені Штати Америки);  
**Віктор Філін** – к.т.н., доцент (Бельгія);  
**Космас Здрозис** – к.т.н., (Греція);  
**Хандакжи Камаль** – к.т.н., (Йорданія);  
**Базил Шафік** – к.т.н., (Сирія).

## ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

*Голова:*

**Михайло Міусов** – ректор НУ ОМА, д.т.н., професор.

*Заступник голови  
орґкомітету:*

**Вадим Захарченко** – проректор з науково-педагогічної роботи НУ ОМА, д.т.н., професор.

*Члени орґкомітету:*

**Віталій Будашко** – директор навчально-наукового інституту автоматички та електромеханіки, д.т.н., професор;

**Віктор Савчук** – начальник НДЧ, к.т.н., с.н.с., професор;

**Валентин Чимшир** – Голова Одеського відділення IMarEST, д.т.н., професор;

**Володимир Торський** – Почесний секретар Морського інституту України, к.т.н., професор;

**Тарас Омельченко** – Голова ради молодих вчених НУОМА, к.т.н., доцент.

*Відповідальний  
секретар:*

**Оксана Глазєва** – заступник директора Навчально-наукового інституту автоматички та електромеханіки, к.т.н., доцент.

У збірнику матеріалів конференції розміщено тези доповідей XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», що відбулась 19-20 листопада 2024 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 електромеханічних системах, автоматизація суднових технічних засобів, менеджмент, логістика та транспортні технології, безпека судноплавства, педагогіка та освіта.

Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – 244 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>Жеков Б.В., Гвоздева І.М., Грама Г.П., Єрмошкін О.М.</i> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ДАТЧИКА ЗАГАЛЬНОГО ЗАЛИШКОВОГО ОКИСЛЮВАЧА СУДНОВОЇ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ БАЛАСТНИХ ВОД	9
<i>Гвоздева І.М., Миргород В.Ф., Мельнік М.С., Батрушевич Д.А.</i> НАЛАШТУВАННЯ ПІД – РЕГУЛЯТОРІВ В СУДНОВИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ	13
<i>Гвоздева І.М., Миргород В.Ф., Гунія Н.О., Данчук Д. П.</i> ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ НАЛАШТУВАННЯ ПІД – РЕГУЛЯТОРІВ В СУДНОВИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	17
<i>Михайленко В.С., Леценко В.В.</i> НЕЙРО - НЕЧІТКА СИСТЕМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ АГРЕГАТАМИ СЕУ	21
<i>Цацко В.І., Дранчук С.М., Тріфонов В.О.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ОСУШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ БУКСИРА В ПРОЦЕСІ РОБОТИ МЕТОДОМ ТЕНЗОМЕТРІЇ	23
<i>Шевченко В.А., Очеретяний Ю.О., Романов А.М., Мунтян О.М., Табулінський І.М.</i> СПОСІБ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПІДГОНКОЮ ЧАСТОТИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРІВ ПРИ СИНХРОНІЗАЦІЇ	26
<i>Цацко В.І., Дранчук С.М., Політикін О.І.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ СУДНОВОЇ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ІЗ ТЕНЗОМЕТРИЧНИМ ВИТРАТОМІРОМ РІДИНИ	32
<i>Цацко В.І., Дранчук С.М., Шітіков О.Р., Щербакан М.С.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОМ З ТЕНЗОМЕТРИЧНИМ ВИТРАТОМІРОМ РІДИНИ	36
<i>Рябцов О.В.</i> ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ФЕНОМЕНОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛИ ОПТИЧНОГО КОМУТАТОРА ДЛЯ СУЧАСНИХ СУДНОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ	39

### Секція 2. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

<i>Ципа А.В., Будашко В.В.</i> ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГІБРИДНИХ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ АЛГОРИТМІЗАЦІЯ	43
<i>Ципа А.В., Гвоздева І.М.</i> ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕЛЕКТРОЛІЗЕРІВ	48

*Михайленко В.С., Вдовиця О.А., Лещенко В.В.* 53  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ РЕЖИМІВ ГОРІННЯ ПАЛИВА В  
СУДНОВИХ КОТЛАХ

*Самонов С.Ф., Дубовик В.О., Кульбацький А.В.* 56  
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
СУДНОВИХ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЄЮ

*Кочетков О.В., Харченко Р.Ю.* 59  
ПРИНЦИП ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ МОДУЛІВ В УМОВАХ  
ОБМЕЖЕНОГО ПРОСТОРУ

#### **Секція 4. СУЧАСНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, КОМПОНЕНТИ ТА ДІАГНОСТИКА**

*Філімонов Д.А., Будашко В.В.* 62  
РОЗВИТОК СИСТЕМ ПРОГНОЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ  
ЗАСОБАМИ МОРСЬКОГО БАЗУВАННЯ

*Шестака А. І., Мельнікова Л.М.* 69  
ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ СТРУМОМ  
НАМАГНІЧУВАННЯ В СУЧАСНИХ VFD

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

*Попов В.Г., Кирилова О.І.* 72  
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В  
ТІЛАХ, ЩО МІСТЯТЬ ТОНКІ ЖОРСТКІ ВКЛЮЧЕННЯ

*Кривий М.О.* 75  
КРИТЕРІЙ ЗАСТОСОВНОСТІ НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ МАСТИЛ В  
ПІДШИПНИКАХ КОВЗАННЯХ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ

*Кривий О., Морозов Ю.* 78  
УЗАГАЛЬНЕНИЙ МЕТОД ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ЗАДАЧАХ ПРО  
МІЖФАЗНІ ДЕФЕКТИ

*Архипенко К., Кривий О.* 82  
МІЖФАЗНІ ВКЛЮЧЕННЯ ПРИ ЗМІШАНИХ УМОВАХ КОНТАКТНОЇ  
ВЗАЄМОДІЇ ІЗ КУСКОВО-ОДНОРІДНОЮ АНІЗОТРОПНОЮ ПЛОЩИННОЮ

*Галаган С.М., Налева Г.В., Онищенко О.А.* 85  
НЕЧІТКА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОРУШІЄМ МАЛОГО  
БЕЗПЛОТНОГО НАДВОДНОГО СУДНА

**Секція 6. РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА**

- Ципа А.В., Дмухайлов Д.Д., Михайлов С.А.* 90  
ПОТЕНЦІЙНІ ЗАГРОЗИ У СУДНОВОМУ КІБЕРПРОСТОРІ
- Купровський В.І.* 93  
ЙМОВІРНІСТЬ ВИЯВЛЕННЯ ЦІЛІ СУДНОВОЮ НАВІГАЦІЙНОЮ РЛС
- Stetsenko M., Shyshkin O.* 96  
MISSILE EARLY DETECTION WITH ULTRAVIOLET PLUME SIGNATURE ANALYSIS: A CONCEPT OF ON-BOARD COMPUTER VISION EQUIPMENT
- Шшишкін О.В., Коновець В.І., Дем'яненко І.В.* 102  
ЗАХИСТ АІС ВІД ПІДРОБЛЕНИХ ПЕРЕДАВАНЬ НА ОСНОВІ КРИПТОГРАФІЧНОЇ АВТЕНТИФІКАЦІЇ ПОВІДОМЛЕНЬ
- Шшишкін О.В., Стеценко М.С.* 106  
КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ СУДНОВИХ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ТА НАВІГАЦІЇ АВТОНОМНОГО СУДНА З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ
- Михайлов С.А., Веретеннік О.М., Кулешов І.М.* 111  
ЕФЕКТИВНІ КІБЕРСИСТЕМИ ДЛЯ МОРСЬКИХ СУДЕН
- Шшишкін О.В., Пашенко О.Л., Харченко Р.Ю.* 114  
НОВІ МОРСЬКІ СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ БЕЗПЕКИ СУДНОПЛАВСТВА
- Кошевий В. М., Харченко Р. Ю., Грищенко В. В., Пашенко О. Л., Шевченко А.А.* 120  
ОСОБЛИВИСТІ ПІДГОТОВКИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКІВ З ПИТАНЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ В РАМКАХ ВИКОНАННЯ СВОЇХ ПРОФЕСІЙНИХ ОБОВ'ЯЗКІВ

**Секція 7. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ**

- Бушер В.В., Герман О.О., Олінчук В.В.* 126  
ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ БАГАТОФАЗНИХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ КАСКАДНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ
- Бушер В.В., Захарченко В.М.* 131  
МЕТОД БАЛАНСУВАННЯ ВЕКТОРІВ НАПРУГИ 5-ФАЗНОГО ІНВЕРТОРА ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОТУЖНОГО СИНХРОННОГО ДВИГУНА
- Птащенко Ф.О., Горюк А.А., Зенченко В.П.* 134  
КОНЕЧНО-ЕЛЕМЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ В ОСЕРДІ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

## Секція 8. АВТОМАТИЗАЦІЯ СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

- Levinskyi M.V., Levinskyi V.M., Volovshchikov V.Yu.* 139  
GENERATION OF CODE FROM MATLAB/SIMULINK MODELS FOR  
IMPLEMENTATION ON SIEMENS SIMATIC S7-1500 PLC
- Дудко С.А., Дубовик В.О.* 142  
АНАЛІЗ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ДІАГРАМ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА ПРИ  
РІЗНИХ РЕЖИМАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
- Горбань П.О., Міусов М.В.* 148  
СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ ОХОЛОДЖЕНОЇ ВОДИ  
ДЛЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ НА ПАСАЖИРСЬКОМУ СУДНІ
- Будуров М.І.* 151  
ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ  
ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ З ЕЛЕКТРОННИМ  
РЕГУЛЯТОРОМ
- Дранкова А.О., Муха М.Й.* 154  
ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЛАБОРАТОРІЇ MITSUBISHI  
ELECTRIC У ПІДГОТОВЦІ МАГІСТРІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ
- Дулгеров Д. Д., Сандлер А. К.* 160  
ПІДВИЩЕННЯ ВІРОГІДНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ У ГІДРАВЛІЧНИХ  
СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

## Секція 9. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- Удолатій В. Б.* 176  
ОГЛЯД ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДЕН ПІД ЧАС  
ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ОСНОВІ КОНТРОЛЮ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ
- Сандлер А.К., Глазєва О.В., Столярик Т.О.* 180  
АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ МУФТ ФІРМИ RENK ДЛЯ  
ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИВОДІВ

## Секція 10. НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ПОШУКИ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

- Сандлер А.К., Будашко В.В., Глазєва О.В.* 186  
АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЗАСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ
- Слюсаренко В.Д.* 190  
СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ЕКСПОРТУ АГРОПРОДУКЦІЇ

**Секція 11. МЕНЕДЖМЕНТ, ЛОГІСТИКА ТА ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

- Сандлер А.К., Омельченко Т.Ю., Журавльов Ю.І.* 193  
ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР НА СУДНО
- Допіра А.В.* 198  
АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ІСНУЮЧИХ МЕХАНІЗМІВ КОНТРОЛЮ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ В ПОРТАХ
- Міклухо О.В.* 201  
УПРАВЛІНСЬКІ ВИКЛИКИ ДЛЯ СТИВІДОРНИХ КОМПАНІЙ УКРАЇНИ ПІД ЧАС ВОЄННИХ ДІЙ ТА БЛОКАДИ ЧОРНОГО МОРЯ
- Карпілов О.Ю., Удолатій В.Б., Сандлер А.К.* 204  
АЛЬТЕРНАТИВНА КОНСТРУКЦІЯ ВІТРИЛЬНОГО ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСУ
- Федак І.І., Кузьменко К.М.* 208  
ТРИ МОРЯ – ОДИН ШЛЯХ ДО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ЄВРОПИ

**Секція 12. БЕЗПЕКА СУДНОПЛАВСТВА**

- Буровцева Д. О.* 211  
ПРАВОВИЙ СТАТУС АРКТИЧНИХ ВОД У НАЦІОНАЛЬНОМУ ПРАВІ АРКТИЧНИХ ДЕРЖАВ
- Тарантаєва О.О., Краснікова О.В.* 213  
ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЗАХИСТУ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА ПІД ЧАС ДІЯЛЬНОСТІ В МІЖНАРОДНОМУ РАЙОНІ МОРСЬКОГО ДНА
- Костиця О.В., Сердиченко Ю.О.* 215  
НОРМОТВОРЧА ДІЯЛЬНІСТЬ МІЖНАРОДНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРАЦІ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ТРУДОВИХ І СОЦІАЛЬНИХ ПРАВ МОРЯКІВ
- Лунгова Н.М., Костиця О.В.* 218  
РОЛЬ МІЖНАРОДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ У РЕГУЛЮВАННІ ОХОРОНИ МОРСЬКОГО ДОВКІЛЛЯ
- Костиця О.В., Грушка В.В.* 221  
ВЗАЄМОДІЯ МІЖНАРОДНОГО ТА НАЦІОНАЛЬНОГО ПРАВА У ГАЛУЗІ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА
- Костиця О.В., Яворська Ю.В.* 223  
ПРОБЛЕМИ ДЕЛІМІТАЦІЇ МОРСЬКИХ ПРОСТОРІВ ЧОРНОГО МОРЯ
- Сандлер А. К., Омельченко Т.Ю.* 225  
ВДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ЗАГРОЗАМ БЕЗПЕЦІ СУДНОПЛАВСТВА

<i>Мочернюк М.О., Сурілова А.О.</i> ВЗАЄМОДІЯ ТЕРОРИЗМУ ТА НЕЛЕГАЛЬНОЇ МІГРАЦІЇ: ВИКЛИКИ ГЛОБАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ШЛЯХИ ПРОТИДІЇ	<b>229</b>
<i>Моргунова Є., Костиця О.В.</i> РЕГІОНАЛЬНІ УГОДИ ЩОДО ПРОТИДІЇ НЕЗАКОННИЙ МІГРАЦІЇ МОРЕМ	<b>232</b>
<i>Костиця О.В., Моргунова Є.А.</i> ПРИЧИНИ ТА НАСЛІДКИ НЕЗАКОННОЇ МІГРАЦІЇ МОРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ	<b>234</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС</b>	<b>237</b>



Секція 1. СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА  
АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

УДК 656.61.052

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ДАТЧИКА ЗАГАЛЬНОГО  
ЗАЛИШКОВОГО ОКИСЛЮВАЧА СУДНОВОЇ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ  
БАЛАСТНИХ ВОД

**Б.В. Жеков**, здобувач другого рівня вищої освіти  
**І.М. Гвоздева**, д.т.н., професор  
**Г.П. Грама**, к.пед.н.  
**О.М. Єрмошкін**, ст. викладач  
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:** проведені експериментальні дослідження роботи датчика TRO (загального залишкового окислювача), який входить до системи контролю та управління процесами в системі очищення баластних вод балкеру. Дослідження проводились для всіх режимів роботи системи очищення баластних вод: баластування, дебаластування, стрипінгу. За результатами досліджень зроблені пропозиції щодо умов процесу вимірювання TRO.*

***Ключові слова:** Система очищення баластних вод, датчик TRO, система контролю та управління, баластування, дебаластування, стрипінг.*

EXPERIMENTAL STUDY OF THE TRO-SENSOR OPERATION OF THE SHIP  
BALLAST WATER TREATMENT SYSTEM

**B.V. Zhekov**, second-level graduate of higher education  
**I.M. Hvozdeva**, Dr. of Science, Professor  
**G.P. Grama**, Ph.D  
**O.M. Yermoshkin**, Senior Teacher  
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:** Experimental studies of the operation of the TRO (total residual oxidant) sensor, which is part of the monitoring and control system of the process in the ballast water treatment system of the bulk carrier, were carried out. Research was conducted for all modes of operation of the ballast water treatment system: ballasting, deballasting, stripping. Based on the results of the research, proposals were made regarding the conditions of the TRO measurement process.*

***Keywords:** ballast water treatment system, TRO sensor, monitoring and control system, ballasting, deballasting, stripping.*

**Актуальність теми.** Для забезпечення остійності судна та безпечного, надійного та ефективного керування застосовується баластна система, яка здійснює прийом і відкачування рідкого баласту через спеціальні відсіки чи цистерні.

Багата кількість проведених досліджень показала, що деякі види бактерій, рослин і тварин можуть виживати у баластних водах і осадах та переносяться навіть після подорожей тривалістю кілька тижнів. Подальше скидання баластних вод з кораблів призведе до перенесення організмів між географічно розділеними морськими районами. Скидання рідкого баласту або осадів у портові води може призвести до встановлення колонії шкідливих видів та патогенів, які можуть серйозно порушити існуючу екологічну рівновагу [1].

Можливість завдання шкоди морському середовищу через скидання баластних вод була визнана не лише Міжнародною морською організацією (ІМО), а й Всесвітньою ор-

ганізацією охорони здоров'я (WHO), яка стурбована роллю баластних вод як поширювача бактерій епідемічних захворювань. Екологічні органи встановили контроль за скиданням баластних вод із суден, щоб звести до мінімуму потенціал колонізації річок організмами немісцевих видів [2]. Зацікавлені країни запровадили рекомендації для судновлаників щодо управління баластними водами та стандартні процедури, які визнані карантинними органами портів.

МО вимагає від суден наявності сучасних систем очищення баластних вод з автоматизованим контролем та управлінням для захисту морського середовища. Розроблення та встановлення на судах таких систем пов'язані з необхідністю вирішення наукових та прикладних завдань, які потребують додаткових досліджень.

**Мета роботи** полягає в експериментальному дослідженні роботи датчика TRO (загального залишкового окислювача) в усіх режимах роботи суднової системи очищення баластних вод.

**Основна частина.** Системи очищення баластних вод (далі СОБВ) є обов'язковим обладнанням на багатьох судах. Забезпечення суден сучасними СОБВ дозволяє запобігти поширенню інвазивних видів морських організмів, які можуть завдати серйозної шкоди місцевим екосистемам, та вирішити глобальні проблеми, пов'язані зі збереженням екологічного балансу живих організмів морів та океанів [3–5].

Міжнародна конвенція про контроль суднових баластних вод й осадів та управління ними (BWM) включає два основні правила, що визначають стандарти управління баластними водами. Правило D-1 стосується стандарту обміну баластними водами. Правило D-2 деталізує стандарт оброблення баластних вод з використанням системи управління баластними водами [3, 6].

Існує багато різних технологій очищення баластних вод на судах [7]. Найбільш ефективним є спосіб, який поєднує різні технології та уможливує двоступеневе очищення і знезараження баластних вод до рівня, що потребує стандарт D-2.

Для забезпечення відповідності екологічним нормам скиданої баластної води та ефективності використання установки застосовують узагальнений показник TRO (загального залишкового окислювача). У системах очищення баластних вод на судах спеціальний датчик TRO вимірює та вказує концентрацію окислювачів (наприклад, хлору, діоксиду хлору, озону), які використовуються для знезараження баластної води.

Датчики TRO працюють на основі різних фізико-хімічних моделей [7]:

– Вимірювання електричного потенціалу, що виникає на електроді внаслідок взаємодії з окислювачем.

– Вимірювання електричного струму, що виникає при окисленні чи відновленні певних речовин.

– Вимірювання інтенсивності світла, поглиненого або випромінюваного при взаємодії окислювача з іншими речовинами.

Датчики TRO відіграють провідну роль для забезпечення ефективної роботи систем очищення баластних вод. Однак точність вимірів TRO може бути різною завдяки впливу різних факторів: тип окислювача, концентрація окислювача, температура води, солоність води, показник рН, концентрація та види органічних речовин, механічні складові тощо.

Система очищення баластних вод Electro-Cleen™ System (ECS), досліджувана в даній роботі, функціонує відповідно до стандарту D2. Щоб задовольнити цей стандарт, робочі умови системи розроблені для продукування рівня TRO від 1 мг/л до 10 мг/л (англ. ppm).

Система працює за двоступеневим принципом. Спочатку, за допомогою фільтрації, видаляються механічні домішки та великі організми. Потім до фільтрованої води додається гіпохлорит натрію, отриманий через електроліз. Протягом баластних операцій використовують розчин гіпохлориту натрію: у морській воді з рН близько 8,0 він дисоціює, внаслідок чого утворюється додаткова кількість активного хлору, включаючи гіпохлоритну кислоту (HClO) і хлорновату кислоту (HClO<sub>3</sub>). Ці сполуки мають високу окислювальну здатність та

ефективно знищують залишкові бактерії та дрібні організми. Такий комбінований підхід забезпечує високий ступінь очищення баластних вод та відповідає сучасним екологічним стандартам. Оскільки на утворення гіпохлориту натрію (активну діючу речовину в баластній воді) впливають напруга та струм у електролізері, концентрація ТРО управляється у автоматичному або ручному режимі зміною «напруги-струму» у блоках випрямлення, щоб максимальна концентрація ТРО після змішування з основною масою баластної води не перевищувала встановлену величину (10 мг/л), тобто складала менше 0,001%. Система очищення баластних вод балкеру має структуру, яка наведена на рис.1.

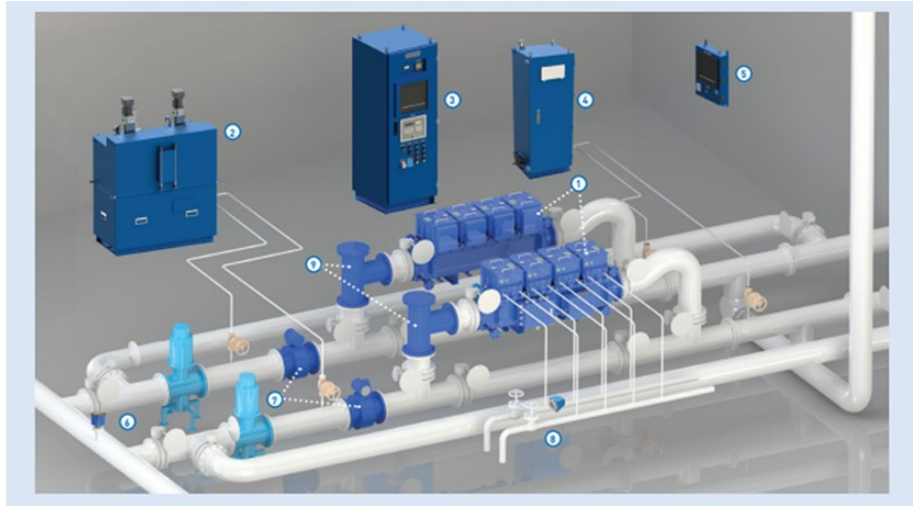


Рисунок 1 – Елементи системи ECS

Система ECS (рис. 1) складається з наступних елементів:

- 1 – ECU – Electro Chamber Unit (Блок електричної камери);
- 2 – ANU – Auto Neutralization Unit (Блок автоматичної нейтралізації);
- 3 – PDE – Power Distribution Equipment (Обладнання для розподілу електроенергії);
- 4 – TSU – TRO Sensor Unit (Блок датчиків ТРО);
- 5 – CPC – Control PC (Керування ПК);
- 6 – CSU – Conductivity Sensor Unit (Датчик провідності);
- 7 – FMU – Flow Meter Unit (Витратомірний блок);
- 8 – FTS – Fresh water Temperature Sensor (Датчик температури прісної води)
- 9 – T-Strainer (Т-подібний фільтр).

Блок електролізу (ECU) отримує випрямлену напругу від блоку випрямлення (PRU) який, у свою чергу, отримує живлення від блоку розподілу електроенергії (PDE). У воді, що надходить до блоку електролізу, утворюється велика концентрація діючої речовини (гіпохлориту натрію), яка дозовано поєднується з основною масою баластної води. Блок випрямлення (PRE) призначений для живлення постійним струмом блоку електролізу й може видавати максимально 10V/3000A. Блок датчиків ТРО та всі інші датчики й блоки електрично поєднані та керовані комп'ютером управління (CPC).

Відповідно до стандарту D-2 СОБВ працює в наступних режимах:

- Баластування – концентрація ТРО повинна бути 6 - 10 мг/л.
- Дебаластування – концентрація ТРО повинна бути < 1 мг/л.
- Стрипінг – концентрація ТРО повинна бути < 1 мг/л.

Під час роботи системи очищення баластних вод постійно вимірюється концентрація ТРО. Датчик ТРО передає дані про рівень концентрації знезаражувальних засобів на дисплей CLX, тобто монітор для визначення концентрації хлору, та на комп'ютер управління.

Робота датчика ТРО досліджувалася експериментально. Експеримент проводився під час кожної операції (баластування, дебаластування, стріпінгу), значення ТРО було отримано

вперше – лише на основі спостережень за роботою системи в автоматичному режимі, вдруге – за допомогою ручного коригування значень TRO зміною сили струму на випрямлячах або зміною кількості подачі знезаражувальних засобів. Це дає можливість коригувати значення TRO для запобігання їхнього виходу за межі стандарту, оскільки після другого перевищення, система ECS призупиняє баластні операції.

Протягом експерименту були (без ручного коригування) виміряні показники TRO під час кожного режиму. Кожна з названих операцій тривала різний час - 1 година, 45 хвилин та 1,5 години). За результатами експериментів побудовані відповідні таблиці показників TRO (виміряних у мг/л) та відповідні годинні графіки зміни TRO для кожного режиму роботи. Графік на рис. 2 показує отримані результати для режиму баластування.

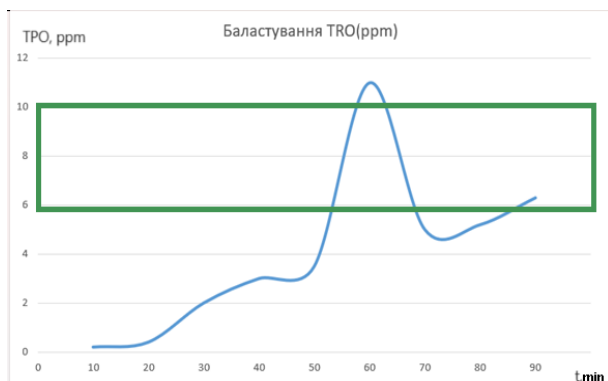


Рисунок 2 – Графік зміни TRO під час баластування (зеленим показана норма TRO)



Рисунок 3 – Графік залежності TRO від часу у режимі баластування (ручний спосіб коригування)

Аналіз отриманих експериментальних даних свідчить, що без ручного коригування система має перерегулювання по TRO, оскільки значення загального залишкового окислювача приходять до норми лише через 1,5 год., та в цілому ці значення коливаються, що є причиною алармів та нестабільної роботи СОБВ. Тому, додатково, було проведено експеримент із ручним коригуванням. Результати вимірювань внесені до таблиць та побудовані відповідні графіки. Умови експерименту були аналогічні до умов експерименту без ручного коригування. Графік залежності TRO від часу в режимі баластування з використанням ручного коригування наведений на рис. 3.

Експериментальні дослідження підтвердили, що для забезпечення точного дотримання стандарту D2 під час операцій баластування, дебаластування та стріпінгу необхідно проводити додаткове регулювання рівня TRO. Для покращення якості процесів моніторингу та управління системою ECS пропонуємо додати до стандартної конфігурації системи модуль автоматичного корегування рівня TRO. Одним із можливих рішень є інтеграція в систему додаткового програмованого логічного контролера (PLC) та розроблення алгоритму автоматичного регулювання рівня TRO

**Висновки.** Експериментальні дослідження роботи датчика TRO та вимірювання часових залежностей рівня TRO в режимах баластування, дебаластування та стріпінгу (з використанням ручного коригування та без такого) дозволили обґрунтувати необхідність покращення якості автоматичної роботи блоку датчиків TRO через включення до системи управління додаткового програмованого логічного контролера PLC.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Тірон-Воробйова, Н. Б., Романовська, О. Р., Данилян, А. Г. (2019) Баластні води: безпека чи загроза морських суден. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, серія: Технічні науки. Том 30 (69). № 2. С. 188–192.
2. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/BWMCConventionandGuidelines.aspx>.

3. Мельник О.М., Волошин А.О., Онищенко О.А., Логінов О.В., Щєбрина О.В. (2022) Огляд процесу модернізації та оснащення суден системами очищення баластних вод. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, серія: Технічні науки. Том 33 (72) № 5. – С. 299–304.

4. Melnyk, O., Onyshchenko S. (2022) Ensuring Safety of Navigation in the Aspect of Reducing Environmental Impact. ISEM 2021, LNNS 463, pp. 1–9. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-03877-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-03877-8_9)

5. Melnyk, O., Bychkovsky, Y., Voloshyn, A. (2022) Maritime situational awareness as a key measure for safe ship operation. Scientific Journal of Silesian university of Technology. Series Transport. 114, 91-101. ISSN: 0209-3324. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.114.8>.

6. International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (2004). International Maritime Organization.

7. Порівняльна оцінка енергетичної ефективності способів обробки баластних вод / Горбов В.М., Мітенкова В. С., Тимофєєва А. С. // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2013. – № 1 (8). – С. 35-44.

УДК 004.942: 629.4.001.4

## НАЛАШТУВАННЯ ПІД – РЕГУЛЯТОРІВ В СУДНОВИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ

**І.М. Гвоздева**, д.т.н., професор

**В.Ф. Миргород**, д.т.н., доцент

**М.С. Мельнік**, студент

**Д.А. Батрушевич**, студент

Національний університет «Одеська морська академія»

**Анотація:** Пропонується підхід до удосконалення суднових систем автоматичного регулювання шляхом обґрунтування методики налаштування ПІД – регуляторів, що враховують обмеження рівня вихідних сигналів відповідних компонент. Розглянуто характеристики автоматичних систем регулювання при застосуванні ідеальних ПІД – регуляторів та регуляторів, що враховують обмеженість рівня сигналів складових формування вихідного сигналу регулятора. Отримані умови на параметри формування вихідного сигналу регулятора, що враховують обмеження фізичної реалізації. Шляхом комп'ютерного експерименту встановлені межі застосування пропонованих регуляторів. Встановлено, що застосування пропонованого підходу налаштування регуляторів з урахуванням обмежень рівня дозволяє удосконалити методики синтезу суднових автоматичних систем.

**Ключові слова:** система автоматичного регулювання, типовий регулятор, математична модель, ПІД – регулятор.

## ADJUSTMENT OF PID - REGULATORS IN SHIP SYSTEMS OF AUTOMATIC REGULATION AND PROBLEM ISSUES OF THEIR IMPLEMENTATION

**I.M. Hvozdeva**, Dr. of Science, Professor

**V.F. Myrhorod**, Dr. of Science, Assistant Professor

**M. Melnyk**, student

**D. Batrushevych**, student

National University «Odessa Maritime Academy»

**Abstract:** An approach to the improvement of ship systems of automatic regulation is proposed by substantiating the method of setting PID - regulators that take into account the limitation of the level of output signals of the corresponding components. The characteristics of automatic regulation systems are considered when using ideal PID - regulators and regulators that take into account the limitation of the level of signals of the components of the formation of the output signal of the regulator. The obtained conditions for the parameters of the output signal formation of the regulator, taking into account the limitations of the

physical implementation. By means of a computer experiment, the limits of application of the proposed regulators were established. It has been established that the application of the proposed approach of adjusting the regulators taking into account the level restrictions allows to improve the methods of synthesis of ship's automatic systems.

**Keywords:** automatic regulation system, typical regulator, mathematical model, PID - regulator.

Суднові енергетичні установки (СЕС) складають складну ієрархічну структуру, на тактичному рівні яких використовуються локальні автоматичні системи регулювання (АСР) режимних параметрів СЕС. Вимоги щодо локальних АСР складаються в забезпеченні мінімальних похибок в усталених режимах, необхідних запасів сталості та показників якості перехідних процесів, тобто часу завершення таких режимів, перерегулювання, коливальності тощо. Такі необхідні вимоги забезпечуються в поточний час шляхом застосування типових пропорційно-інтегрально-диференціальних регуляторів (ПІД – регуляторів) в цифровій реалізації. Такі регулятори потребують відповідного налаштування параметрів складових регуляторів щодо особливостей конкретного об'єкту регулювання.

В поточний час такі регулятори забезпечують переважну більшість завдань щодо процесів регулювання в СЕС. Але налаштування таких регуляторів виконується за типовими методиками, які взагалі не передбачують обмеження фізичної реалізації рівня сигналів складових та сумарного сигналу. Простір трьох параметрів ПІД – регулятора (пропорційна, інтегральна та диференціальна складова), що потребують налаштування, має фізичні обмеження у вигляді рівня вихідних дій, які повинні бути відпрацьовані виконавчим пристроєм. Тому врахування можливостей фізичної реалізації складових регулятора в АСР є суттєвим чинником, що впливає на показники сталості та якості таких систем.

Звідси, проблемним науково-прикладним завданням є удосконалення методики синтезу регуляторів суднових АСР на основі методів багатовимірної оптимізації параметрів типових регуляторів, зокрема методів, що враховують можливість фізичної реалізації з урахуванням обмежень рівня.

Методики налаштування ПІД – регуляторів отримали достатньо розповсюдження [1,2,3,4] в АСР. Тому такі методики становлять основу відшукування найкращого сполучення параметрів регулятора для досягнення відповідних запасів сталості та показників якості перехідних процесів.

Метою пропонованого дослідження є встановлення умов та можливостей покращення динамічних характеристик суднових АСР при застосуванні методики налаштування ПІД – регуляторів, що враховують можливість фізичної реалізації з урахуванням обмежень рівня.

ПІД – регулятори, що застосовуються в суднових АСР, мають наступний математичний опис у вигляді передатних функцій:

Ідеальний регулятор

$$W_r(p) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right),$$

де  $K_p, T_i, T_d$  - параметри відповідних складових.

Реальний регулятор

$$W_r(p) = K_p + \frac{1}{T_i p} + \frac{T_d p}{T_b p + 1},$$

де  $K_p, T_i, T_d$  - параметри відповідних складових, та для урахування неідеальності формування диференційної складової вводиться параметр інерційності  $T_b$ .

Типові логарифмічні частотні характеристики (ЛЧХ) реального ПІД – регулятора за різними налаштуваннями регулятора наведені на Рис. 1. Структурна схема реального ПІД – регулятора наведена на Рис. 2.

Як це можна встановити із аналізу логарифмічних амплітудних частотних характеристик (ЛАЧХ) реального ПД – регулятора, його підсилення займає певну смугу амплітуд сигналів. В смузі частот формування запасів сталості та параметрів якості перехідних процесів в АСР така смуга становить різницю між полицею обмеження реальної диференційної складової та полицею асимптотичного формування пропорційної складової:

$$A_{1r} = 20 \lg \frac{T_d}{T_b} - 20 \lg K_p.$$

Якщо виконавчий пристрій, що сприймає дії регулятора, має більш широкий динамічний діапазон, то питань фізичної реалізації ПД – регулятора з обраними налаштуваннями не виникає. Але якщо обрані налаштування ПД – регулятора умовляють вигляд його ЛАЧХ, що виходить за межі динамічного діапазону вхідних сигналів виконавчого пристрою, то результати його функціонування не будуть відповідати очікуванім.

Тому схемна реалізація ПД – регулятора, що наведена на Рис. 2, не відповідає дійсності. Якщо врахувати обмеження сигналів складових, структурна реалізація регулятора, що відповідає вимогам практичної реалізації, наведена на Рис. 3.

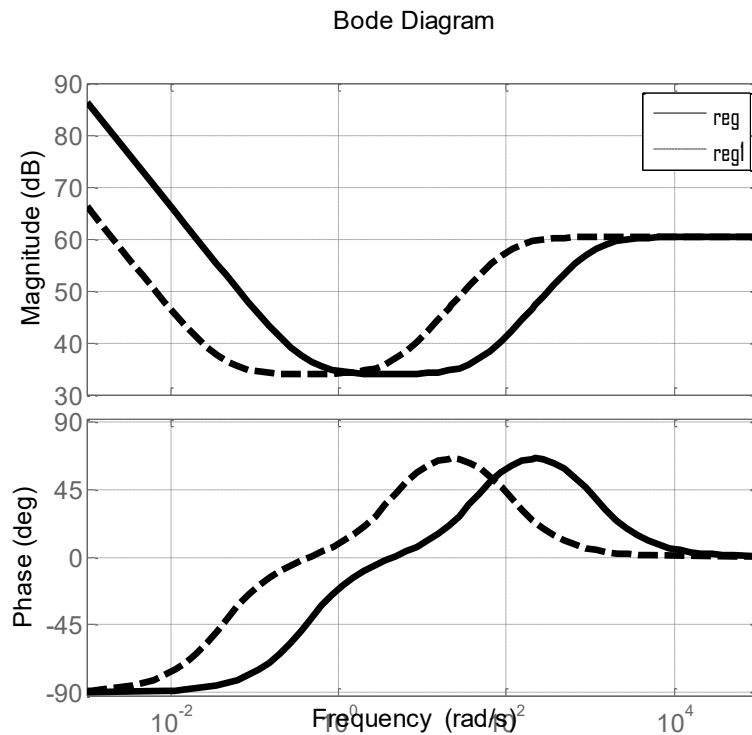


Рисунок 1 – Логарифмічні частотні характеристики реального ПД –регулятора.

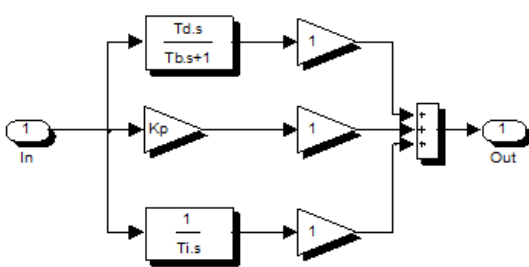


Рисунок 2 – Структурна схема реального ПД –регулятора

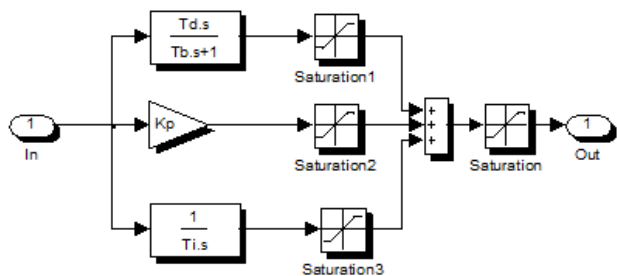


Рисунок 3 – Структурна схема реального ПД –регулятора з урахуванням обмежень

Як це може бути встановлено із схеми реального ПДД – регулятора з урахуванням обмежень, існує необхідність врахувати обмеження сигналів в окремих каналах передачі сигналу регулятора. Для вирішення такого завдання необхідно мати відомості щодо динамічного діапазону сигналу похибки АСР – вхідного сигналу регулятора, що заздалегідь відомі.

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

- Будується комп'ютерна модель досліджуваної АСР, що включає незмінну частину (підсилювачий, виконавчий пристрій та об'єкт регулювання) та класичний ПДД – регулятор, налаштований за типовою методикою, для порівняння та верифікації отриманих результатів.

- Розраховуються аналітичним методом умови та обмеження сталості АСР, що надають багатовимірну область параметрів ПДД – регулятору, що задовольняє встановленим запасам сталості.

- Розглядається ЛАЧХ регулятора в смузі пропускання виконавчого пристрою та встановлюється можливість реалізації в умовах обмеження рівня вихідного сигналу.

- У вказаній смузі знаходяться рівні ЛАЧХ регулятору, що відповідають умовам фізичної реалізації з урахуванням обмеження рівня та виконується корекція налаштувань регулятора.

- Виконується перевірка відповідності параметрів сталості та якості перехідних процесів в АСР щодо завдання.

- За позитивним результатом перевірки встановлюються межі застосування в АСР пропонованого регулятора.

Цифрова реалізація регуляторів дозволяє встановити такі показники фільтрації диференційної складової, які відповідають вимогам щодо застосування. Але такі вимоги повинні бути заздалегідь встановлені. Вочевидь, такі вимоги повинні бути пов'язані з фільтруючими властивостями незмінної частини АСР.

Верифікація пропонованого підходу виконана на прикладі низки судових АСР та отримала задовільні результати.

#### **Висновки.**

Запропоновано та обґрунтовано підхід до удосконалення судових систем автоматичного регулювання шляхом обґрунтування методики налаштування ПДД – регуляторів, що враховують обмеження рівня вихідних сигналів відповідних компонент. Розглянуто характеристики автоматичних систем регулювання при застосуванні ідеальних ПДД – регуляторів та регуляторів, що враховують обмеженість рівня сигналів складових формування вихідного сигналу регулятора. Отримані умови на параметри формування вихідного сигналу регулятора, що враховують обмеження фізичної реалізації. Шляхом комп'ютерного експерименту встановлені межі застосування пропонованих регуляторів. Встановлено, що застосування пропонованого підходу налаштування регуляторів з урахуванням обмежень рівня дозволяє удосконалити методики синтезу судових автоматичних систем.

Перспективи подальших досліджень полягають в обґрунтуванні меж застосування пропонованих регуляторів в судових системах автоматичного регулювання з урахуванням реальних умов експлуатації.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. R.C. Dorf, R.H. Bishop., Modern Control Systems // Prentice Hall– 2004. – 832 с
2. Жукова Н.В. та ін. Сучасна теорія керування динамічних систем // Навч. посібник. – Донецьк, – ДонНТУ. 2013 – 292 с.
3. Дубовой В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування : навчальний посібник / В. М. Дубовой. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 308 с.
4. Попович М.Г. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник – К.: Либідь, 2005. - 680 с.



5. Пушкар, М.С. Проектування систем автоматизації [Текст]: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с.

6. Myrhorod, V. “Dynamic Systems, Similar to the Time Scale” in Books of Abstracts/ V. Myrhorod, I. Hvozdeva // Tenth International Conference on Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences 20-25 June 2018, Albena, Bulgaria, P.43-44.

УДК 004.942: 629.4.001.4

## ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ НАЛАШТУВАННЯ ПІД – РЕГУЛЯТОРІВ В СУДНОВИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

**І.М. Гвоздева**, д.т.н., професор

**В.Ф. Миргород**, д.т.н, доцент

**Н.О. Гунія**, студент

**Д. П. Данчук**, студент

Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:** Пропонується підхід до удосконалення суднових систем автоматичного регулювання шляхом обґрунтування методики налаштування ПІД – регуляторів, що враховують можливість реалізації диференційної складової. Розглянуто характеристики автоматичних систем регулювання при застосуванні ідеальних ПІД – регуляторів та регуляторів, що враховують неідеальність формування диференційної складової. Отримані умови на параметри формування диференційної складової, що враховують обмеження фізичної реалізації. Шляхом комп'ютерного експерименту встановлені межі застосування пропонованих регуляторів. Встановлено, що застосування пропонованого підходу налаштування регуляторів покращує експлуатаційні показники суднових автоматичних систем.*

***Ключові слова:** система автоматичного регулювання, типовий регулятор, математична модель, ПІД - регулятор.*

## PROBLEM ISSUES OF ADJUSTMENT OF PID - REGULATORS IN SHIP SYSTEMS OF AUTOMATIC REGULATION

**I.M. Hvozdeva**, Dr. of Science, Professor

**V.F. Myrhorod**, Dr. of Science, Assistant Professor

**N. Guniia**, student

**D. Danchuk**, student

National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:** An approach to the improvement of ship systems of automatic regulation is proposed by substantiating the method of setting PID – regulators, which take into account the possibility of implementing a differential component. The characteristics of automatic regulation systems when using ideal PID – regulators and regulators that take into account the non-ideality of the formation of the differential component are considered. The obtained conditions for the parameters of the formation of the differential component, which take into account the limitations of physical implementation. By means of a computer experiment, the limits of application of the proposed regulators were established. It has been established that the application of the proposed approach to adjusting the regulators improves the operational performance of the ship's automatic systems.*

***Keywords:** automatic regulation system, typical regulator, mathematical model, PID - regulator.*

Проблемним питанням удосконалення автоматичних систем регулювання (АСР) суднових енергетичних установок (СЕС) є забезпечення необхідних запасів сталості та показників якості перехідних процесів шляхом відповідного налаштування параметрів типових регу-

ляторів. Загалом застосовувані в суднових АСР типові пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори (ПІД) в цілому забезпечують вимоги щодо процесів регулювання. Але налаштування таких регуляторів виконується за типовими методиками, які взагалі не передбачують обмеження фізичної реалізації диференційної складової. Простір трьох параметрів ПІД – регулятора (пропорційна, інтегральна та диференційна складова), що потребують налаштування, насправді є чотиривимірним, оскільки ідеальної диференційної складової не існує. Тому врахування можливостей фізичної реалізації диференційної складової АСР є суттєвим чинником, що впливає на показники сталості та якості таких систем.

Звідси, проблемним науково-прикладним завданням є покращення характеристик суднових АСР на основі методів багатовимірної оптимізації параметрів типових регуляторів, зокрема методів, що враховують можливість фізичної реалізації диференційної складової.

Методики налаштування ПІД – регуляторів отримали достатньо розповсюдження [1,2,3,4] в АСР. Тому такі методики становлять основу відшукування найкращого сполучення параметрів регулятора для досягнення відповідних запасів сталості та показників якості перехідних процесів.

Метою пропонованого дослідження є встановлення умов та можливостей покращення динамічних характеристик суднових АСР при застосуванні методики налаштування ПІД – регуляторів, що враховують можливості фізичної реалізації диференційної складової.

Пропоновані методики попереднього налаштування ПІД – регуляторів суднових АСР, що пропонуються в методичних матеріалах, загалом використовують наступні підходи.

**Методика визначення параметрів ПІД – регуляторів за стандартними налаштуваннями.**

Згідно з такою відомою методикою вважається що ПІД – регулятор подається в наступній формі передатної функції:

$$W_r(p) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right),$$

де  $K_p, T_i, T_d$  - параметри відповідних складових.

Відомі таблиці налаштувань дозволяють знайти наближені значення параметрів регулятора за вихідними даними для досягнення певних показників якості перехідних процесів в АСР. Однак, відомий пропонований підхід має суттєві обмеження.

По-перше, вважається, що незмінна частина АСР є аперіодичною ланкою із запізненням, тобто має наступну передатну функцію:

$$W_n(p) = \frac{K_n}{T_n p + 1} e^{-\tau p},$$

де  $K_n, T_n, \tau$  - параметри незмінної частини АСР.

Таким чином вважається, що підсилювачий та виконавчий пристрої є безінерційними.

По-друге, в рівнянні регулятора взагалі не враховується фізична реалізуємість диференційної складової, тобто такий регулятор є ідеальним. Звідси, результати такого налаштування можуть суттєво відрізнятись від пропонованих таблицею.

Але слід врахувати, що будь-які методи багатовимірної оптимізації спираються на початкове наближення. Початкове наближення у вигляді сукупності параметрів регулятора за табличним методом може бути досить корисним.

**Визначення параметрів ПІД – регуляторів за методикою Зіглера ( Зіглера – Ніколса).**

За пропонованою методикою визначається критичний стан АСР, а саме, межа сталості.

Звідси динамічний процес в АСР є режим коливань. За параметрами такого режиму визначаються параметри регулятора у наступній,наприклад, формі:

$$W_r(p) = K_p + \frac{1}{T_i p} + \frac{T_d p}{T_b p + 1},$$

де  $K_p, T_i, T_d$  - параметри відповідних складових, та для урахування неідеальності формування диференційної складової вводиться параметр інерційності  $T_b$ .

Як приклад, вигляд такого процесу наведено на Рис. 1.

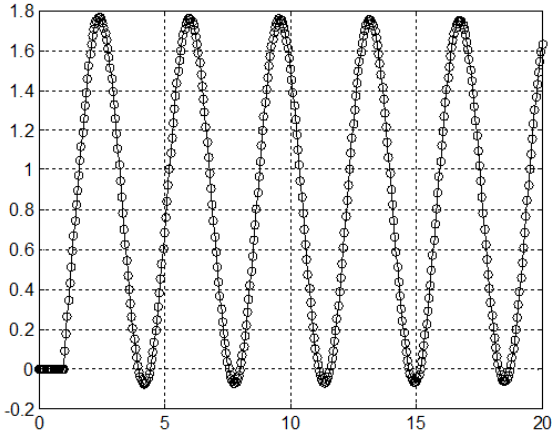


Рисунок 1 – Процес налаштування регулятора за методикою Зіглера – Ніколса

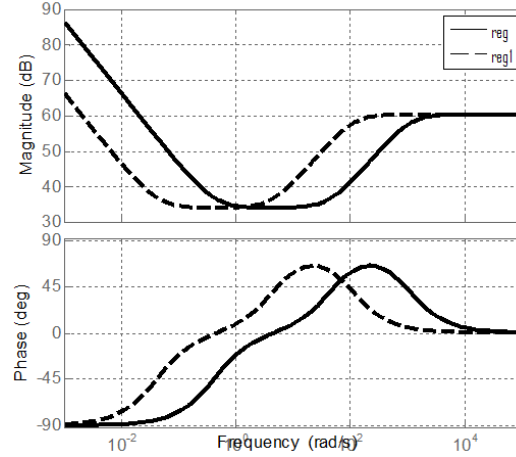


Рисунок 2 – Логарифмічні частотні характеристики ПД – регулятора

За параметрами вказаного автоколивального процесу визначаються по емпіричними співвідношеннями параметри рекомендованого регулятора.

Логарифмічні частотні характеристики пропонованого регулятора за різними налаштуваннями регулятора наведені на Рис. 2.

Звертає увагу той факт, що полиця пропускання у високочастотній області ЛАЧХ ПД – регулятора цілком визначається співвідношенням постійних часу диференційної складової та постійної часу баластної ланки.

Дійсно, асимптотичне значення рівня такої полиці становить:

$$k = 20 \lg \left( \frac{T_d}{T_b} \right).$$

Оскільки завжди виконується співвідношення:

$$T_d \geq T_b,$$

то рівень правої полиці ЛАЧХ регулятора завжди відповідає режиму підсилення вхідних сигналів. Але у розгляді мій смузі вхідних сигналів регулятора можуть бути тільки випадкові завади. Тому обрання параметру фільтрації диференційної складової має важливе значення за умов забезпечення завадостійкості регулятора відносно зовнішніх завод.

Для забезпечення таких вимог, вочевидь, постійна часу баластної складової повинна бути обрана таким чином, щоб не погіршувати властивості регулятора щодо його завадостійкості.

Така умова складається в наступному: згасання високочастотних складових в розгляді смузі замкненої АСР, з урахуванням ЛАЧХ незмінної частини та ЛАЧХ регулятора повинно складати значення, що не менше заздалегідь визначеного. Таким чином маємо наступну умову:

$$L_{sp} \left( \frac{1}{T_d} \right) + 20 \lg \left( \frac{T_d}{T_b} \right) \leq -40 \text{ db},$$

де  $L_{sp}$  - ЛАЧХ незмінної частини АСР.

За отриманою будь-якою методикою налаштування постійною часу диференційної складової пропонується співвідношення становить нерівність з одним невідомим, за якою встановлюється значення постійної часу баластної ланки. Значення затухання в 40 db вказано як ілюстративне. За необхідністю можуть бути більш жорсткі обмеження.

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

- Будується комп'ютерна модель досліджуваної АСР, що включає незмінну частину (підсилювачий, виконавчий пристрій та об'єкт регулювання) та класичний ПД – регулятор, налаштований за типовою методикою, для порівняння та верифікації отриманих результатів.

- Розраховуються аналітичним методом умови та обмеження сталості АСР, що надають багатовимірну область параметрів ПД – регулятора, що задовольняє встановленим запасам сталості.

- Розглядається ділянка ЛАЧХ регулятора в смузі формування диференційної складової та встановлюється рівень підсилення в поданій смузі.

- У вказаній смузі знаходяться рівні ЛАЧХ незмінної частини АСР та виконується порівняння таких рівнів із рівнем підсилення диференційної складової регулятора.

- Зміною постійної часу баластної ланки забезпечується достатній рівень подавлення високочастотних збурень у вказаній смузі частот.

- За позитивним результатом перевірки встановлюються межі застосування в АСР пропонованого регулятора.

Деталізація пропонованої методики полягає в наступному.

Дійсно, зсув полиці на ЛАЧХ в область високих частот забезпечує наближеність реального регулятора до властивостей ідеального. Але одночасно такий зсув значно погіршує показники завадостійкості. Цифрова реалізація регуляторів дозволяє встановити такі показники фільтрації диференційної складової, які відповідають вимогам щодо застосування. Але такі вимоги повинні бути заздалегідь встановлені. Вочевидь, такі вимоги повинні бути пов'язані з фільтруючими властивостями незмінної частини АСР.

Верифікація пропонованого підходу виконана на прикладі низки судових АСР та отримала задовільні результати.

**Висновки.** Запропоновано та обґрунтовано підхід до удосконалення судових систем автоматичного регулювання на основі обґрунтування методики налаштування ПД – регуляторів, що враховують можливості реалізації диференційної складової. Розглянуто характеристики автоматичних систем регулювання при застосуванні ідеальних ПД – регуляторів та регуляторів, що враховують неідеальність формування диференційної складової. Отримані умови на параметри формування диференційної складової, що враховують обмеження фізичної реалізації. Шляхом комп'ютерного експерименту встановлені межі застосування пропонованих регуляторів. Встановлено, що застосування пропонованого підходу налаштування регуляторів покращує експлуатаційні показники судових автоматичних систем.

Перспективи подальших досліджень полягають в обґрунтуванні меж застосування пропонованих регуляторів в судових системах автоматичного регулювання з урахуванням реальних умов експлуатації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. R.C. Dorf, R.H. Bishop., Modern Control Systems // Prentice Hall– 2004. – 832 с
2. Жукова Н.В. та ін. Сучасна теорія керування динамічних систем // Навч. посібник. . – Донецьк, . – ДонНТУ. 2013 – 292 с.
3. Дубовой В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування : навчальний посібник / В. М. Дубовой. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 308 с.
4. Попович М.Г. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник – К.: Либідь, 2005. - 680 с.

5. Пушкар, М.С. Проектування систем автоматизації [Текст]: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с.

6. Myrhorod, V. "Dynamic Systems, Similar to the Time Scale" in Books of Abstracts/ V. Myrhorod, I. Hvozdeva // Tenth International Conference on Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences 20-25 June 2018, Albena, Bulgaria, P.43-44.

УДК 629.12.018

## НЕЙРО - НЕЧІТКА СИСТЕМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ АГРЕГАТАМИ СЕУ

**В.С. Михайленко**, д.т.н., професор

**В.В. Лещенко**, ст. викладач

Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:** Проведено аналіз основних підходів для розробки математичної моделі об'єкта управління, визначені їхні переваги та недоліки. Запропоновано ще один із підходів до розв'язання цієї проблеми - використання нейро - нечітких систем, які поєднують переваги нейронних мереж і нечіткої логіки.*

***Ключові слова:** Адаптивне управління, математична модель об'єкта управління, нейро - нечіткі системи.*

## NEURO - FUZZY SYSTEM OF ADAPTIVE CONTROL OF SHIP POWER PLANT UNITS

**V. Mykhailenko**, Dr. of Science, Professor

**V. Leshchenko**, Senior Teacher

National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:** The main approaches to developing a mathematical model of a control object are analyzed, their advantages and disadvantages are identified. Another approach to solving this problem is proposed - the use of neuro-fuzzy systems, which combine the advantages of neural networks and fuzzy logic.*

***Keywords:** Adaptive control, mathematical model of the control object, neuro-fuzzy systems.*

Відомо, що багато складних суднових об'єктів, зокрема, парогенеруючі об'єкти, мають нелінійні характеристики, складні для моделювання динамічні елементи, неконтрольовані шуми і перешкоди, безліч зворотних і перехресних зв'язків та інші фактори, що ускладнюють реалізацію оптимальних адаптивних систем автоматичного управління (САУ) [1].

Існує два основних підходи у розробці математичної моделі об'єкта управління: експериментальний та аналітичний. При експериментальному підході, як правило, використовують модель типу "чорна скринька" для визначення параметрів якої на об'єкт направляють активну одиничну дію (ступінчастий стрибок). В результаті, після серії експериментів та обробки кривих розгінних, фахівці з САУ визначають значення параметрів передавальних функцій. Такий підхід має як свої переваги, так і суттєві недоліки [2,3]. При аналітичному підході модель об'єкта становлять, зазвичай, системи диференціальних рівнянь, що описують фізичні процеси в об'єкті. У рівняння можуть бути додані параметри, що корегують, які необхідно визначити експериментально з умови мінімізації похибки моделювання. Перевагою моделей є те, що вони дозволяють провести аналіз поведінки об'єкта за різних умов роботи на різних режимах. На відміну від системи диференціальних рівнянь, модель отримана на основі експерименту, справедлива тільки для того набору параметрів, який був отриманий в процесі її ідентифікації. При зміні режиму роботи об'єкта, або при зовнішньому збуренні на об'єкт, експеримент та подальшу ідентифікацію параметрів моделі потрібно виконувати заново. В умовах виробництва, найчастіше, можливість проводити тривалі активні експерименти на об'єкті управління не завжди є можливим, а розробка рівнянь динаміки, пов'язана з триваліс-

ттю розрахунків, необхідністю в лінеаризації, введенням усереднених значень, тощо, впливає на точність кінцевої моделі.

Одним із підходів до розв'язання цієї проблеми є використання нейро - нечітких систем, які поєднують переваги нейронних мереж і нечіткої логіки [4,5].

Відомо, що різновидом адаптації є керування параметрами регулятора (табличне автоналаштування), рис.1, коли заздалегідь знайдені параметри регулятора для різних умов роботи системи заносяться до таблиці, з якої вони витягуються при настанні умов, за якими ініціюється адаптація. Виходячи з принципів адаптації за допомогою таблиць з налаштувальними параметрами типових регуляторів, автори доповнили даний принцип додатковим блоком параметричної ідентифікації з нейро-нечіткою мережею (рис.1). У схемі передбачається, що інформацію по поточному паровому навантаженню буде перетворювати, за допомогою навченої нейромережі у відповідні математичні моделі (передавальні функції по каналах управління). Далі знайдені значення параметрів моделі надходять до блоку табличної адаптації із закладеними формулами, що дозволить розрахувати оптимальні налаштування типових (ПІ, ПД, ПІД) – регуляторів.

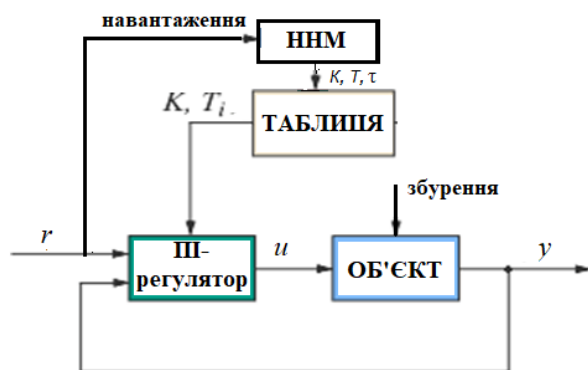


Рисунок 1 – Структурна схема пропонованої нейро – нечіткої адаптивної САУ

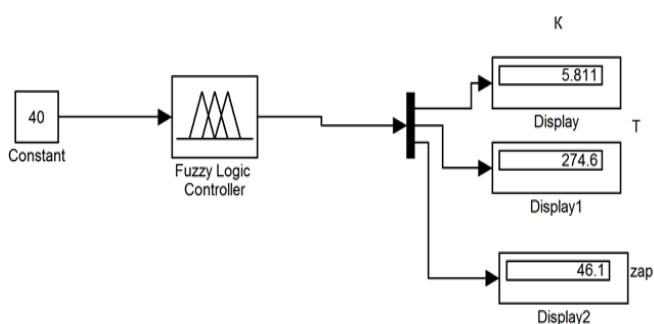


Рисунок 2 – Імітаційна модель перевірки роботи системи параметричної ідентифікації

Для подальшого імітаційного моделювання інтелектуального блоку параметричної ідентифікації розроблено програму в додатку MatLab (Simulink) (рис.2). Розроблена нейро - нечітка мережа (ННМ) була експортована до блоку нечіткого логічного контролера. У програмі по заданому значенню навантаження ННМ, яка була навчена на експериментальних даних, визначає значення параметрів передавальної функції об'єкта управління для подальшого автоматичного розрахунку оптимальних параметрів типових регуляторів по табличному алгоритму.

**Висновки.** При розробці ННМ було відібрано кількість циклів навчання - 30, метод навчання – метод зворотного поширення помилки, тип функцій належності вхідного та вихідних параметрів – трикутний. Таким чином, запропонована методика дозволяє розробити ефективну систему параметричної ідентифікації та адаптації параметрів суднових систем управління в умовах частих змін парового навантаження. Впровадження такої системи на судах з великою кількістю парогенеруючих установок та споживачів парової енергії може дозволити своєчасно та точно досягати заданих виробничих параметрів при роботі парових агрегатів на всьому діапазоні навантажень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Technical specifications of auxiliary and utilization boilers of the brands: KAV, KUP, Clayton, Zafa, Hitachi, Mitsubishi. URL: <http://shipservice.com.ua>.
2. Åström KJ, Wittenmark B (1984) Computer controlled systems, theory and design. Prentice-Hall, Englewood Cliffs/

<https://bayanbox.ir/view/8821671619590593184/Adaptive-Control-Astrom-2nd-edition.pdf>

3. Kuo B. S. Automatic Control Systems / Benjamin C. Kuo. – 9th ed. – New York : John Wiley & Sons, 2010. – 1104 p.
4. Mikhailenko V. S., Kharchenko R. Yu. Analysis of Traditional and Neuro Fuzzy Adaptive System of Controlling the Primary Steam Temperature in the Direct Flow Steam Generators in Thermal Power Stations / V. S. Mikhailenko, R. Yu. Kharchenko // Automatic Control and Computer Sciences. – 2014. – Vol. 48, № 6. – P. 334–344. DOI:10.3103/S0146411614060066
5. Mykhailenko V. S. Analysis of methods for adaptation of industrial control systems of thermal processes / V. S. Mykhailenko // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2014. – № 4. – С. 58–65. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu\\_2014\\_4\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2014_4_11).
6. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of system and its applications to modeling and control / T. Takagi, M. Sugeno // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1985. – Vol. 15, № 1. – P. 166–132. <http://dx.doi.org/10.1109/TSMC.1985.6313399>

УДК 681.121

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ОСУШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ БУКСИРА В ПРОЦЕСІ РОБОТИ МЕТОДОМ ТЕНЗОМЕТРІЇ

**В.І. Цацко**, к.ф.-м.н., старший викладач

**С.М. Дранчук**, к.т.н., доцент

**В.О. Трифонов**, здобувач другого рівня вищої освіти  
Одеський національний морський університет

***Анотація:** Проведений гідравлічний розрахунок трубопроводу осушувальної системи буксира, обрані діаметр трубопроводу, насос НЦВ63/20. Запропоноване використання тензометричного витратоміра для дослідження якості відцентрового насосу в процесі роботи, що використовує встановлення вимірювальних трубопроводів на нагнітальному та всмоктувальному трубопроводах осушувальної системи. Проведений розрахунок вимірювальних трубопроводів, показане, що їх гідравлічний опір не оказує суттєвого впливу на напір.*

***Ключові слова:** осушувальна система, вимірювальний трубопровід, витратомір рідини, гідравлічний розрахунок, тензометрія*

## INVESTIGATION OF THE QUALITY OF THE CENTRIFUGAL PUMPS OF THE DRYING SYSTEM OF THE TOWER IN THE WORKING PROCESS USING THE METHOD OF TENSIONOMETRY

**V. I. Tsatsko**, Ph.D., Senior Lecturer

**S.M. Dranchuk**, Ph.D., Assistant Professor

**V.O. Trifonov**, second-level graduate of higher education  
Odessa National Maritime University

***Abstract:** The hydraulic calculation of the pipeline of the drainage system of the tugboat was carried out, the diameter of the pipeline, the pump НЦВ63/20 was selected. The use of a strain gauge flowmeter was proposed to study the quality of the centrifugal pump in the process of operation, which uses the installation of measuring pipelines on the discharge and suction pipelines of the drainage system. The calculation of the measuring pipelines was carried out, it was shown that their hydraulic resistance does not have a significant effect on the pressure.*

***Keywords:** drying system, measuring pipeline, liquid flow meter, hydraulic calculation, strain gauge.*

**Постановка проблеми.** Буксир — це допоміжний човен, який допомагає при швартуванні судна шляхом буксирування або штовхання судна до порту [1].

Буксир — особливий клас човна, без якого великі лайнери не можуть зайти в порт. Окрім основної мети буксирування судна до гавані, буксири можуть залучатися для забезпечення судна такими необхідними речами, як вода, повітря тощо.

З розвитком судноплавної промисловості кораблі почали збільшуватися, ніж будь-коли в історії.

Ними легко маневрувати в морі.

Тим не менш, це стає надзвичайно складним у вузьких морських смугах і гаванях, тому що вони можуть легко рухатися вперед і назад, але зазвичай мають проблеми з боковим рухом.

Саме тоді виникла потреба в буксирах, і тому ці судна були введені, щоб допомогти більшим кораблям орієнтуватися у вузьких водах. Це стало відомо як допоміжний буксир, і звідси назва човнів.

На буксирах є багато суднових систем, які мають різне призначення.

**Осушувальна (зачисна) система** призначена для видалення за борт води, яка якимось чином потрапила в суднові приміщення.

При експлуатації судна в трюми і інші приміщення може попадати вода. Моряки називають її «л'яльною» водою.

Вона видаляється за борт за допомогою осушувальної системи.

В кожному трюмі в кормовій частині з правого і лівого борту є «л'яльні» колодязі нижче другого дна. Судно зазвичай має диферент на корму і вода, яка якимось чином потрапила в приміщення, стікає в ці колодязі. Колодязі системою труб з запірними клапанами з'єднані з насосом.

Осушувальна система може використовуватися для аварійного відкачування води з трюму у випадку порушення водонепроникності корпусу.

Приймачі води в «л'яльних» колодязях повинні вибирати воду при крені до 15' і диференті до 5'.

Для запобігання забрудненню моря вода з «л'яльних» колодязів повинна відкачуватися в спеціальні відстійні цистерни і тільки після очищення видалятися за борт.

В осушувальних системах насосів дуже часто використовують відцентрові насоси.

В роботі [2] проведено дослідження суднової баластно-осушувальної системи з тензометричним витратоміром рідини однак питання конструкції вимірювального трубопроводу та оцінки якості відцентрових насосів в процесі роботи не розглядалися.

**Мета роботи** – визначення оптимальної конструкції вимірювальних трубопроводів та створення осушувальної системи з контролем якості відцентрових насосів в процесі роботи.

В якості прототипу обраний буксир-рятувальник “Audax” (рисунок 1), побудований у 2017 р. в Іспанії, який має дедвейт 499 тон [3].



Рисунок 1 – Буксир-рятувальник “Audax” [2]

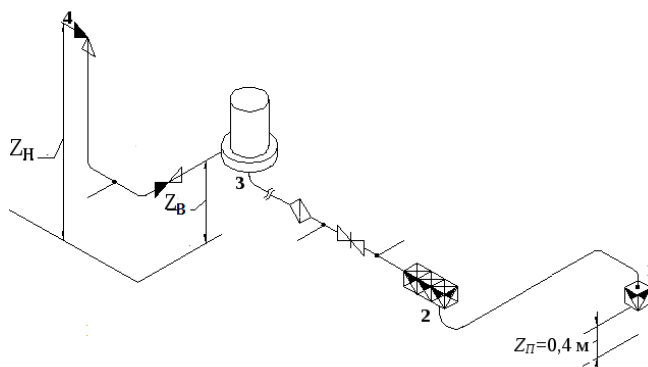


Рисунок 2 – Схема розрахункової магістралі осушувальної системи



Вихідні дані для розрахунку осушувальної системи буксира-рятувальника.

Буксир, має наступні габаритні розміри: довжина  $L = 40\text{ м}$ ; ширина  $B = 16\text{ м}$ ; висота борту  $H = 2,0\text{ м}$ ; осадка  $T = 6,8\text{ м}$ , довжина ділянок осушувальної системи показана на рисунку 2:  $l_{1-2} = 2,5\text{ м}$ ;  $l_{2-3} = 32\text{ м}$ ;  $l_{3-4} = 10\text{ м}$ ;  $Z_B = 0,5\text{ м}$ ;  $Z_H = 1,8\text{ м}$ .

Метою розрахунку системи є визначення діаметрів трубопроводів, вибір осушувального насосу, перевірка умов всмоктування для обраного насосу.

Діаметр трубопроводу обирається по габаритних розмірах судна, при цьому швидкість потоку води не повинна перевищувати  $3,25\text{ м/с}$ .

У результаті розрахунку обрані сталеві безшовні труби зовнішнім діаметром  $108\text{ мм}$  і товщиною стінки  $5\text{ мм}$ , умовний прохід Ду100.

Згідно з правилами Регістра обраний насос НЦВС 63/20 насос відцентровий вертикальний із самостійним всмоктуванням, з наступними параметрами: подача  $63\text{ м}^3/\text{год}$ , напір  $20\text{ м}$ , потужність  $7,7\text{ к Вт}$ . Тоді швидкість потоку буде  $2,23\text{ м/с}$ , що відповідає вимогам Регістру [4].

Для перевірки умов роботи насосу в системі проведений розрахунок втрати напору в трубопроводах. Втрати напору на нагнітальній магістралі складають  $2,62\text{ м}$ , а на всмоктувальній –  $3,83\text{ м}$ . Для узгодження роботи насосу і мережі встановлюється додатковий опір, що додає втрату напору  $10\text{ м}$ . Величина втрати напору на всмоктувальній магістралі не перевищує допустимої вакуумметричної висоти всмоктування.

Для дослідження якості відцентрового насосу в процесі роботи згідно з висновками роботи [5] на вході та виході насосу встановлюються вимірювальні трубопроводи. При справному стані насосу показники вимірювальних трубопроводів будуть однакові. Розбіжність показань свідчить о необхідності технічного обслуговування або навіть заміни насосу.

Конструкція вимірювальних трубопроводів обрана з урахуванням результатів, що наведені у роботах [6-8].

Вимірювальний трубопровід має форму типу вузький-широкий-вузький з різкими переходами. Діаметри вузьких частин вимірювального трубопроводу відповідають діаметру нагнітального трубопроводу, тобто  $108\text{ мм}$  зі стінкою товщиною  $5\text{ мм}$  та умовним проходом Ду100. Це забезпечує виконання умов по швидкості течії. Згідно з вимогою формули, що наведена в роботі [8] внутрішній радіус відноситься до товщини стінки як  $49/5=9,8$  і таке саме значення повинно бути у широкій частини вимірювального трубопроводу. Нехай внутрішній радіус широкої частини буде  $54\text{ мм}$ , тоді товщина стінки повинна бути  $54/9,8=5,5\text{ мм}$ . Визначимо гідравлічний опір вимірювального трубопроводу. Опором лінійних частин трубопроводу можна знехтувати зрівняно з опорами переходів вузький-широкий та широкий вузький. Коефіцієнт місцевого опору при раптовому звуженні потоку складає для наведених розмірів  $0,0885$ , а при раптовому розширенні  $0,177$ . Тоді додаткова втрата напору на нагнітальній магістралі менша ніж  $0,07\text{ м}$ . Ця втрата напору може бути врахована на додатковому опорі, що надається для узгодження роботи насосу та мережі. Втрата напору на всмоктувальній магістралі не приводить до перевищення допустимої вакуумметричної висоти всмоктування насосу. Отже, вимірювальні трубопроводи дозволяють проводити оцінку якості відцентрових насосів осушувальної системи буксира в процесі роботи.

**Висновки.** Проведений гідравлічний розрахунок трубопроводу осушувальної системи буксира, обрані діаметр трубопроводу, насос НЦВ63/20.

Запропоноване використання тензометричного витратоміра для дослідження якості відцентрового насосу в процесі роботи, що використовує встановлення вимірювальних трубопроводів на нагнітальному та всмоктувальному трубопроводах осушувальної системи.

Проведений розрахунок вимірювальних трубопроводів, показане, що їх гідравлічний опір не оказує суттєвого впливу на напір.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Marineinsight.com. [Електронний ресурс]: <https://www.marineinsight.com/types-of-ships/what-are-tug-boats/>. (Дата звернення 23.10.2024).
2. Гаур Т.О., Зарицька О.І., Скрибантович В.В., Цацко В.І. Дослідження суднової баластно-осушувальної системи з тензометричним витратоміром рідини /Матеріали науково-технічної конференції "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика" 05.11.2019-06.11.2019.-Одеса; НУ "ОМА", 2020, с.61-64.
3. Scheepvaartwest.be. [Електронний ресурс]: <https://www.scheepvaartwest.be /CMS/index.php /tugs/7875-audax-imo-9770828>. (Дата звернення 23.10.2024).
4. Регістр судноплавства України. Правила огляду суден (ПОС). Частина I, II, III. Додатки 1-7, Київ: Офіційне видання, 2024р. [Електронний ресурс]: <https://shipregister.ua/pravila-ta-resursi/katalog-vidan/> (Дата звернення 06.11.2024).
5. Цацко В.І., Дранчук С.М., Машін В.М., Криворучко Д.Ю., Гаур Т.О., Іовчев С.І. Установка дослідження якості відцентрових насосів методом тензометрії. Вісник Одеського національного морського університету. № 71 (2023), с.7-19. <http://dx.doi.org/10.47049/2226-2023>
6. 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 науково-технічної конференції "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика" 24.11.2020-25.11.2020.-Одеса;НУ "ОМА",2020, с.42-45.
7. Антохов О.Д., Бабій Ю.С., Гаур Т.О., Нікіфоров В.І., Цацко В.І. Оцінка впливу деяких факторів на точність тензометричного витратоміра рідини. *Sředoevropský věstník pro vědu a výzkum* 7(59) 2019, pp/65-74.
8. 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.

УДК 629.5.064.5.(045)

### СПОСІБ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПІДГОНКОЮ ЧАСТОТИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРІВ ПРИ СИНХРОНІЗАЦІЇ

**В. А. Шевченко**, д.т.н., професор

**Ю.О. Очеретяний**, к.т.н., доцент

**А.М. Романов**, ст. викладач

**О.М. Мунтян**, ст. викладач

**І.М. Табулінський**, ст. викладач

Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:** у роботі запропоновано спосіб управління підгонкою частоти дизель-генераторів в суднових електроенергетичних установках. Отримано структуру та математичний опис каналу підгонки частоти. Визначено математичні вирази, що дозволяють обчислити тривалість керуючого впливу на регулятор при регулюванні частоти об'єкта, що синхронізується. Синтезовано алгоритм функціонування адаптивної системи управління, що реалізує запропонований закон управління підгонкою частоти з автоматизацією процесу визначення темпу зміни частоти обертання, запізнення у каналі управління частотою обертання, вибігу по частоті обертання при знятті керуючого впливу.*

***Ключові слова:** синхронізація генераторів, дуальне управління, адаптивна система, підгонка частоти, синтез алгоритмів.*

**METHOD OF FREQUENCY ADJUSTMENT AUTOMATED CONTROL OF DIESEL GENERATORS DURING SYNCHRONIZATION**

**V. Shevchenko**, Dr. of Science, Professor  
**Y. Ocheretianiy**, Ph.D., Assistant Professor

**A. Romanov**, Senior Lecturer

**O. Muntian**, Senior Lecturer

**I. Tabulinsky**, Senior Lecturer

National University «Odessa Maritime Academy»

*Abstract: the work proposes a method of controlling the frequency adjustment of diesel generators in shipboard power plants. The structure and mathematical description of the frequency control channel were obtained. Mathematical expressions that allow to calculate the duration of the control signal on the regulator when adjusting the frequency of the synchronized object were determined. The algorithm of the functioning of the adaptive control system has been synthesized, which implements the proposed law of frequency adjustment control with the automation of the process of determining: the rate of change of rotation frequency, delay in the control channel of rotation frequency, rotation frequency run-out when the control action is removed.*

*Key-words: synchronization of generators, dual control, adaptive system, frequency adjustment, synthesis of algorithms.*

Синхронізація генераторних агрегатів (ГА) відноситься до найскладніших і вельми відповідальних процесів управління в електроенергетиці військових кораблів, цивільних суден, а також суден забезпечення. Тому дослідженню властивостей цього процесу та вдосконаленню технічних засобів автоматизації приділяється особлива увага.

Поряд з цим невиправдано мало уваги приділяється розробці методів абстрактного та структурного синтезу пристроїв автоматичної синхронізації із застосуванням останніх досягнень електронної промисловості, а також синтезу алгоритмічного забезпечення програмованих систем. У кращому випадку автори [1,2] наводять опис принципу дії вузлів деяких типових синхронізаторів або алгоритми керування у загальному вигляді.

У зв'язку з цим постає завдання аналізу існуючих способів автоматизації процесу синхронізації для встановлення математичних моделей основних перетворювачів та дослідження їх з позиції реалізації у сучасних системах керування. При цьому необхідно прагнути максимального використання властивостей апаратного та програмного забезпечення з позицій таких критеріїв як надійність, точність, швидкодія, діагностованість.

На цей час опубліковано низку фундаментальних робіт [3-5], що охоплюють математичні методи дослідження та проектування електроенергетичних систем зі статичною динамікою та змінною структурною схемою.

Ряд робіт [6-8] присвячено розробці та оптимізації режимів роботи СЕЕС, де наголошено на необхідності досліджень у частині вдосконалення не тільки головної керуючої системи верхнього рівня, а й локальних підсистем управління валово- та дизель-генераторами.

Удосконалення алгоритмічного забезпечення в комбінації з використанням сучасної цифрової техніки в судовій електроенергетиці дає великі можливості у розвитку автоматизації процесів управління, контролю та захисту особливо на суднах з комбінованими та гібридними електричними пропульсивними комплексами [9-11], а також на суднах із системами динамічного позиціонування [12,13], де електроенергетична система часто нерозривно пов'язана з електричним пропульсивним комплексом. Великих переваг у плані підвищення техніко-економічних показників СЕС можна досягти управлінням співвідношення власних параметрів ДГ [14], вирішуючи завдання, пов'язані із забезпеченням мінімуму витрати палива та зносу окремих деталей, зниженням інтенсивності нагароутворення та ін. Доцільною також є оптимізація роботи АСУ СЕЕС у частині підвищення швидкодії вимірювання та діагностики електричних параметрів [15] з метою своєчасної її адаптації та реконфігурації.

**Метою роботи** є пошук методу та синтез алгоритмів управління підгонкою частоти дизель-генераторів у суднових електроенергетичних установках.

Розв'язання поставленого завдання пов'яжемо з визначенням закону управління припасуванням частоти синхронізованого об'єкта  $\omega_{SY}$ , а також величини часу подачі керуючого імпульсу  $t_{IMP}$ .

$$PR_{IMP} : Y_{IMP}(i) \rightarrow t_{IMP},$$

що дозволяє розрахувати і сформувані такі керуючі впливи  $t_{IMP}$ , реалізація яких в ланцюгу підгонки серводвигун регулятора (GM), регулятор (RG), генераторний агрегат (GA) (GM→RG→GA) забезпечить переведення об'єкта, що синхронізується, на задану траєкторію руху  $\omega$ , за мінімальний час регулювання  $t_p$ .

У зв'язку з цим представимо канал управління підгонкою частоти його еквівалентною схемою цифрової автоматичної системи (ЦАС) управління (рис.1), в якому ЦАС виконує роль дискретного автоматичного пристрою, що працює циклічно, з інтервалом оновлення інформації  $\tau=T_{ЦА}$ .

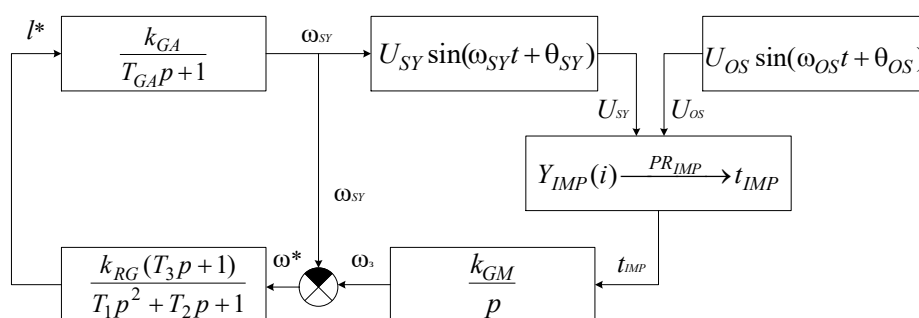


Рисунок 1 – Структурна схема каналу підгонки частоти.

Детермінована постановка завдання дозволяє розглядати керуючий пристрій як елемент безперервної дії, закон функціонування якого можна описати математично. Загалом це буде залежність виду

$$t_{IMP} = \frac{\omega^*}{W_{CR}(p)},$$

де  $W_{CR}(p)$  – передавальна функція ланцюга підгонки.

Як видно зі структури рис. 1,

$$W_{CR}(p) = W_{GM}(p) \cdot W_{RG}(p) \cdot W_{GA}(p) = \frac{k_{GM}}{p} \cdot \frac{k_{RG}(T_3 p + 1)}{T_1 p^2 + T_2 p + 1} \cdot \frac{k_{GA}}{T_{GA} p + 1};$$

$$W_{CR}(p) = \frac{k_{GM} k_{RG} k_{GA} (T_3 p + 1)}{T_1 T_{GA} p^4 + (T_2 T_{GA} + T_1) p^3 + (T_2 + T_{GA}) p^2 + p}.$$

Таким чином, вираз

$$\omega^* = \left[ \frac{k_{GM} \cdot k_{RG} \cdot k_{GA} (T_3 p + 1)}{T_1 T_{GA} p^4 + (T_2 T_{GA} + T_1) p^3 + (T_2 + T_{GA}) p^2 + p} \right] t_{IMP}$$

буде описувати реальний перехідний процес, викликаний реалізацією в ланцюзі підгонки керуючого впливу  $t_{IMP}$ , а зворотна залежність

$$t_{IMP} = \frac{\omega^*}{\left[ \frac{k_{GM} \cdot k_{RG} \cdot k_{GA} (T_3 p + 1)}{T_1 T_{GA} p^4 + (T_2 T_{GA} + T_1) p^3 + (T_2 + T_{GA}) p^2 + p} \right]}$$

може бути покладена основою шуканого управління.

Представимо модель переходу  $\omega_{SY}(H) \xrightarrow{t_{IMP}} \omega_{SY}(K_M)$  у вигляді аперіодичного процесу (рис. 2, крива НМК<sub>M</sub>) і вважатимемо, що відповідна даній моделі трійка характеристик  $B(M) = (s(M), \tau_3(M), n_{\text{виб}}(M))$  – визначена.

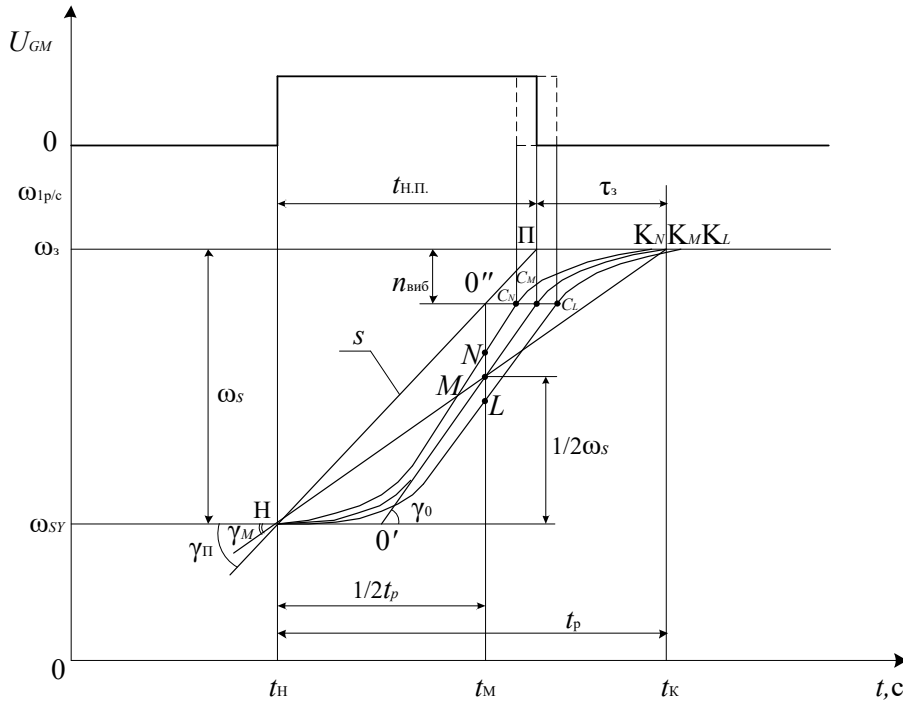


Рисунок 2 – Діаграма, що ілюструє метод дуального управління підгонкою частоти.

По суті, дані величини характеризують перехідний процес у ланцюзі  $GM \rightarrow RG \rightarrow GA$ , що, по-перше, дозволяє використовувати їх як вихідні дані при синтезі алгоритму (закону) оптимального управління підгонкою частоти і, по-друге, при оцінці динамічних властивостей елементів даного ланцюга.

З рис.2 видно, що

$$t_p = \omega_s(H) \cdot \text{ctg} \gamma_{MP},$$

або, враховуючи відповідність  $\gamma_n \approx s(M)$ , отримаємо

$$t_p = \frac{K_n \omega_s(H)}{s(M)} \quad (1)$$

Аналогічно можна записати  $t_{IMP} = \omega_s(H) \cdot \text{ctg} \gamma_n = \frac{\omega_s(H)}{s(M)}$  і на підставі

$\tau_3(M) = t_p - t_{IMP} = \frac{\omega_s(H)}{s(M)} (K_n - 1)$  визначити розрахункову формулу для коефіцієнта припасування

$$K_n = \frac{\tau_3(M) \cdot s(M)}{\omega_s(H)} + 1 \quad (2)$$

Тепер, виконавши підстановку (2) до (1), після ряду перетворень, отримаємо вираз

$$t_p = \frac{\omega_s(H)}{s(M)} + \tau_3(M),$$

що відображає залежність  $t_p$  від початкової частоти ковзання  $\omega_s(H)$  і динамічних властивостей елементів ланцюга припасування, представлених набором  $s(M), \tau_3(M), n_{\text{виб}}(M)$ .

У вирішенні заданого завдання зупинимося на способі визначення величин  $s$  та  $t_p$  за характеристиками  $\Delta f = h_1(t_{IMP})$  та  $t_p = h_2(\Delta f)$  (рис. 3), отриманими шляхом реалізації в ланцюзі

$GM \rightarrow RG \rightarrow GA$  набору еталонних значень з наступним реєстрацією в пам'яті СУ початкових та кінцевих значень частоти  $f_H$  та  $f_K$  та часу  $t_H$  та  $t_K$  відповідного перехідного процесу.

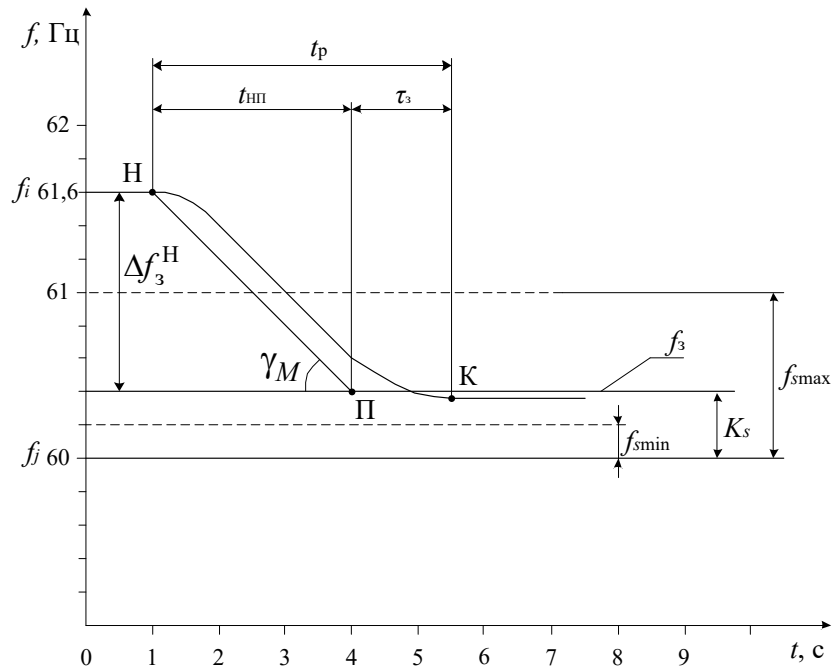


Рисунок 3 – Діаграма процесу підгонки частоти.

Отримані таким чином результати реєстрації дозволяють розрахувати:

$$s(M) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s(i); \quad s(i) = \frac{\Delta f(i)}{t_{IMP}(i)}, \quad (3)$$

при формуванні  $t_{IMP} \in t_{IMP}^{\ominus}$  збільшення  $s(INC)$  і зменшення  $s(DCR)$  обертів, і навіть

$$t_p(i) = t_K(i) - t_H(i), \quad (4)$$

де  $\Delta f(i) = |f_H(i) - f_K(i)|$  – різниця частот переходу, викликаного реалізацією  $t_{IMP}$ , а  $n$  – кількість реалізацій.

При такому підході величини  $\tau_3(M)$  та  $n_{виб}(M)$  можна розрахувати за формулами:

$$\tau_3(M) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau(i) \quad (5)$$

$$\tau_3(i) = t_p(i) - t_{IMP}(i) \quad (6)$$

$$n_{виб}(M) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n n_{виб}(i) \quad (7)$$

$$n_{виб}(i) = \Delta f(i) - |f_H(i) - f_{\Pi}(i)| \quad (8)$$

де  $f_{\Pi}(i)$  – значення, що реєструється у момент зняття керуючого впливу  $t_{IMP}$ .

З урахуванням викладеного, алгоритм управління генераторним агрегатом при автоматизованому визначенні величин  $s$ ,  $\tau_3$  та  $n_{виб}$  зводиться до наступної логічної схеми:

$$S_H \cdot A_1 \downarrow A_2 A_3 P_1 \uparrow A_4 \omega \uparrow \downarrow A_5 \downarrow A_6 P_2 \uparrow A_7 \downarrow A_8 A_9 P_3 \uparrow A_{10} A_{11} A_{12} P_4 \uparrow A_{13} S_K.$$

Тут  $S_H$  та  $S_K$  – початковий та кінцевий оператори, відповідно;  $A_1$  – завдання кількості реалізацій  $n_{зад}$  та тривалість еталонного імпульсу  $t_{IMP}(i) \in t_{IMP}$ ;  $A_2$  – вимірювання поточного значення  $f(i)$ ;  $A_3$  – реєстрація поточних значень  $t(i)$  та  $f(i)$ , як початкових умов переходу, тобто  $t_H(i) \rightarrow t_H$ ,  $f(i) \rightarrow f_H(i)$ ;  $A_4$  та  $A_5$  – установка «1» у каналах «зменшення» та «збільшення» обертів, відповідно;  $A_6$  – формування на виведення  $GM$  керуючих впливів  $t_{IMP}$ ;  $A_7$  – реєстрація поточного  $f(i)$  як  $f_{\Pi}(i)$ , тобто момент зняття керуючого впливу  $t_{IMP}(i)$ ;  $A_8$  – вимірювання  $f(i)$  та

$f_{i+1}(i)$  з інтервалом  $\tau = t_{i+1} - t_i$ ;  $A_9$  – розрахунок  $\Delta f(\tau) = |f_{i+1}(i) - f_i(i)|$ ;  $A_{10}$  – реєстрація  $t(i)$  та  $f(i)$ , як кінцевих умов переходу, тобто  $t_K(i)$  та  $f_K(i)$ ;  $A_{11}$  – розрахунок  $s(i)$ ,  $t_p(i)$ ,  $\tau_3(i)$  та  $n_{\text{виб}}(i)$  за формулами (3), (4), (6) та (8) відповідно;  $A_{12}$  – зменшення числа на одиницю та запис  $n_{\text{зад}} = n - 1$ ;  $A_{13}$  – розрахунок значень  $s(M)$ ,  $\tau_3(M)$ ,  $n_{\text{виб}}(M)$  для  $t_{\text{НП}}(i)$  за формулами (3), (5), (7);  $P_1, P_2, P_3, P_4$  – умови виконання співвідношень  $f(i) > f_{\text{ном}}$ ,  $t_{\text{НП}}(i) - 1 = 0$ ,  $\Delta f(\tau) < \Delta f(\tau)_{\text{доп}}$  та  $n = 0$ , відповідно;  $\omega$  – безумовний перехід.

**Висновки.** Результати експериментів, проведених у натурних умовах на повномасштабному тренажері суднової електроенергетичної установки в Національному університеті «Одеська морська академія», з метою визначення залежностей  $\Delta f = h_1(t_{\text{ИМП}})$  та  $t_p = h_2(\Delta f)$  для генераторних агрегатів СЕЕУ підтверджують практичну реалізацію в МП СУ при автоматизації процесу визначення величин  $s$ ,  $\tau_3$  та  $n_{\text{виб}}$ .

Таким чином, у роботі запропоновано спосіб управління підгонкою частоти дизель-генераторів в суднових електроенергетичних установках. Отримано структуру та математичний опис каналу підгонки частоти. Визначено математичні вирази, що дозволяють обчислити тривалість керуючого впливу на регулятор при підгонці частоти об'єкта, що синхронізується. Синтезований алгоритм функціонування адаптивної системи управління, що реалізує запропонований закон управління підгонкою частоти з автоматизацією процесу визначення темпу зміни частоти обертання, запізнення каналом управління частотою обертання, вибігу по частоті обертання при знятті керуючого впливу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Emam, S.E.A., Automatic digital synchronization, International Conference on Electrical, Electronic and Computer Engineering, ICEEC'04, (2004). p. 778-784.
2. Çolak, ø., Bayındır, R., Sefa, ø., Demirbaú, ù., Bal, G., Developing of a control unit for the parallel operation of AC generators, TPE'06 3rd International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, (2006). p. 134-137.
3. Шевченко В. А. Синтез алгоритмов управления вало- и дизель-генераторными установками / В. А. Шевченко // Научный вестник Херсонської державної морської академії : науч. -техн. сб., 2018. Вып. 2, С. 175–186.
4. Budashko, V., Sandler, A., Shevchenko, V. (2022). Diagnosis of the Technical Condition of High-tech Complexes by Probabilistic Methods. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 16 (1), 105–111. doi: <https://doi.org/10.12716/1001.16.01.11>
5. 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.
6. Шевченко В. А. Верификация функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией / В. А. Шевченко // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб., 2015, Вып. 21, с. 70-76.
7. Budashko, V., Sandler, A., Shevchenko, V. (2022). Optimization of the control system for an electric power system operating on a constant-power hyperbole. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (8 (115)), 6–17. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252172>
8. 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.
9. Pipchenko, O.D., Tsymbal, M., Shevchenko, V. 2018.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, 12(3), pp. 567-571. DOI: 10.12716/1001.12.03.17
10. Pipchenko O.D., Tsymbal M., Shevchenko V., “Features of an ultra-large container ship mathematical model adjustment based on the results of sea trials,” TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation 2020, 14(1), pp. 163-170. DOI:10.12716/1001.14.01.20

11. Пипченко А. Н. Принципы построения и основы наладки контроллеров и систем автоматизации: Учебное пособие / Пипченко А. Н., Пономаренко В. В., Шевченко В. А. – Одесса : ТЭС, 2010. – 592 с. ISBN 978-966-2389-15-9
12. 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
13. Pipchenko, O. and Shevchenko, V. (2018). “Robust Automatic Ship Heading Controller For Various Conditions,” Marine Intellectual Technologies - Scientific journal, vol. 4, no. 04, pp. 208–214.
14. Шевченко В.А. Оптимизация управления электростанцией из условия минимума расхода топлива и с учетом метеословий // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. 2018. № 4. С. 94–103.
15. Шевченко В. А. Алгоритм быстрой оценки параметров судовых электроэнергетических систем // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2018. – №3(244). – С. 136 – 141.

УДК 681.121

## ДОСЛІДЖЕННЯ СУДНОВОЇ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ІЗ ТЕНЗОМЕТРИЧНИМ ВИТРАТОМІРОМ РІДИНИ

**В.І. Цацко**, к.ф.-м.н., старший викладач  
**С.М. Дранчук**, к.т.н., доцент  
**О.І. Політикін**, здобувач другого рівня вищої освіти  
Одеський національний морський університет

***Анотація:** Проведені: розрахунки магістралей подачі мазуту типу IFO та дизельного пального типу MGO, обрані геометричні розміри трубопроводів, розраховані геометричні розміри вимірювального трубопроводу тензометричного витратоміра рідини*

***Ключові слова:** паливна система, вимірювальний трубопровід, витратомір рідини, гідравлічний розрахунок, тензометрія*

## RESEARCH OF SHIP FUEL SYSTEM WITH TENSOMETRIC LIQUID FLOW METER

**V.I. Tsatsko**, Ph.D., Senior Lecturer  
**S.M. Dranchuk**, Ph.D., Assistant Professor  
**O.I. Politykin**, second-level graduate of higher education  
Odessa National Maritime University

***Abstract:** Calculations of fuel oil supply lines of IFO type and MGO diesel fuel type were carried out, the geometric dimensions of the pipelines were selected, the geometric dimensions of the measuring pipeline of the strainometric liquid flow meter were calculated*

***Keywords:** fuel system, measuring pipeline, liquid flow meter, hydraulic calculation, strain gauge*

**Постановка проблеми.** Як було наведено раніш [1], судна - самі «ненажерливі» і в той же час невибагливі споживачі палива: для їх заправки використовують і дизель, і мазут, і суміші різних фракцій вуглеводнів. Однак «всеїдність» судових двигунів сьогодні все сильніше обмежують екологічні норми. А жорсткі вимоги безпеки при бункеруванні - заправці судів паливом - дозволяють мінімізувати забруднення морських вод нафтопродуктами. Для швидкого та якісного здійснення операції бункерування необхідно використовувати виміри витрат палива.

**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 показано, 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.

Оптимальна швидкість [5] для в'язких рідин не перевищує 1,7 м/с, для малов'язких – 2,0 м/с.

Питання можливості використання тензометрії при завантаженні палива, яке володіє більшою в'язкістю порівняно з забортною водою розглянуті в роботі [1]. Однак там не розглядалися питання конструкції вимірювальних трубопроводів та забезпечення контролю якості насосів в процесі роботи.

**Метою даної роботи** був розгляд конструкції вимірювальних трубопроводів та створення системи, що забезпечує контроль якості паливних насосів в процесі роботи.

В якості прототипу для розрахунків обраний танкер "Alfred N" [6], що побудований у 2016 році у Південній Кореї дедвейтом 25161 тони.

На рисунку 1 показана схема подачі та підготовки палива для дизелів на судні [7]

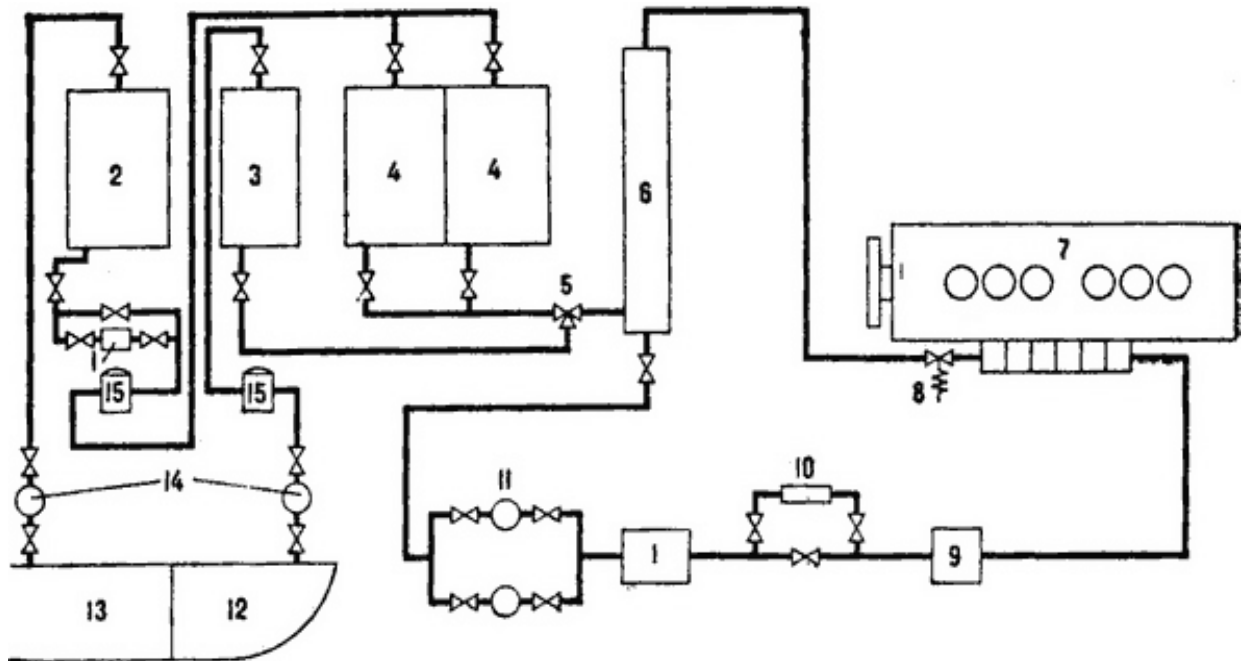


Рисунок 1 – Схема подачі та підготовки палива для дизелів на судні: 1 – підігрівач палива; 2 – цистерна для відстою важкого палива; 3 – цистерна дизельного палива; 4 – видаткові цистерни важкого палива; 5 – триходовий клапан; 6 – буферна цистерна; 7 – дизель; 8 – клапан регулювання тиску палива; 9 – фільтр тонкої очистки; 10 – регулятор в'язкості палива; 11 – допоміжні насоси; 12 – цистерна дизельного палива у подвійному дні; 13 – цистерна важкого палива у подвійному дні; 14 – насоси перекачки палива; 15 – відцентрові сепаратори палива.

Схематичне зображення системи завантаження палива (рисунок 2) подібна до наведеної в роботі [1].

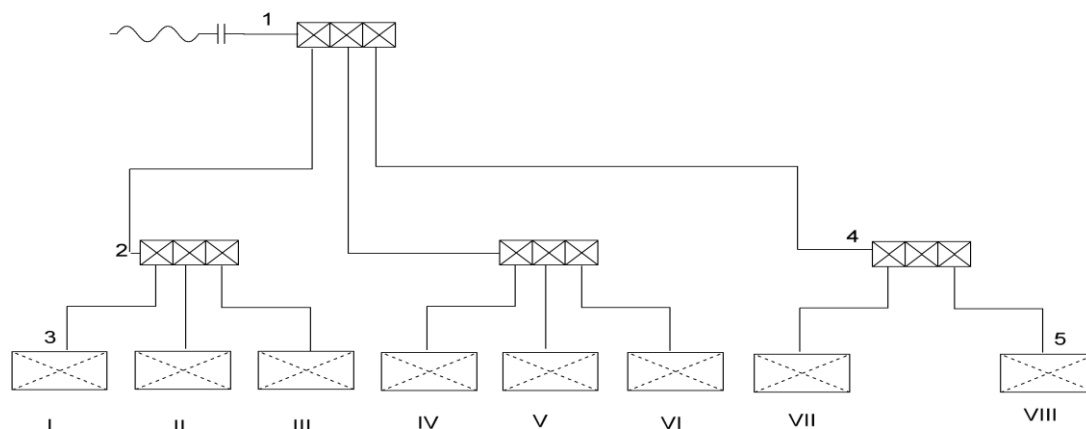


Рисунок 2 – Схематичне зображення суднової підсистеми завантаження палива  
 I-VI – танки з IFO; VII, VIII – танки з MGO

Проведений розрахунок трубопроводів і обрані труби зовнішнім діаметром 219 мм з товщиною стінки 7 мм умовним проходом  $D_u$  205 мм для мазуту та діаметром 168 мм з товщиною стінки 7 мм умовним проходом  $D_u$  150 мм для дизельного палива. Втрата напору на розрахунковій магістралі мазуту складає 1,83 м, а на розрахунковій магістралі дизельного палива 1,77 м.

Конструкцію вимірювальних трубопроводів обираємо згідно з рекомендаціями, що викладені у роботі [8], Конструкції вимірювальних трубопроводів наведені на рисунку 3.



Рисунок 3 – Варіанти конструкції вимірювального трубопроводу  
 а) широкий-вузький-широкий (ШВШ); б) вузький-широкий-вузький (ВШВ)

У таблицях 1, 2 наведені результати розрахунків місцевих опорів та втрат напору при раптових звуженні та розширенні потоків.

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

Речовина	Конструкція	$r_1$ , мм	$r_2$ , мм	$\xi_{MPZ}$	$v$ , м/с	$h$ , м
Мазут IFO	ШВШ	102,5	95,18	0,0689	1,58	0,018
	ВШВ	109,5	102,5	0,0643	1,20	0,0094
Дизпаливо MGO	ШВШ	75,0	69,6	0,0689	1,87	0,025
	ВШВ	80,3	75,0	0,0642	1,20	0,0094

Таблиця 2 – Коефіцієнти місцевого опору та втрати напору при раптовому розширенні потоку для розрахованих вимірювальних трубопроводів

Речовина	Конструкція	$r_1$ , мм	$r_2$ , мм	$\xi_{MPP}$	$v$ , м/с	$h$ , м
Мазут IFO	ШВШ	95,18	102,5	0,138	1,83	0,047
	ВШВ	102,5	109,5	0,129	1,58	0,033
Дизпаливо MGO	ШВШ	69,6	75,0	0,138	2,17	0,066
	ВШВ	75,0	80,3	0,128	1,87	0,046

Результати розрахунків повної втрати напору наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Повна втрата напору на розрахованих вимірювальних трубопроводах

Речовина	Конструкція	<i>h, м</i>
Мазут IFO	ШВШ	0,065
	ВШВ	0,042
Дизпаливо MGO	ШВШ	0,091
	ВШВ	0,055

Для своєчасного виявлення витоків в паливних насосах вимірювальні трубопроводи встановлюють на вході і виході насосів [9]. При виявленні різниці показників вимірювальних трубопроводів проводиться технічне обслуговування або заміна насосів.

**Висновки.** З наведених результатів слідує, що вмикання вимірювального трубопроводу не приводить до суттєвих змін у втратах напору на розрахункових магістралях паливної системи.

При вмиканні в нагнітальну магістраль цей опір увійде до складу додаткового опору, що служить для узгодження насосу та мережі.

При вмиканні цих трубопроводів у всмоктувальні магістралі величини їх опорів зростають менш ніж на 4%.

Дослідження показали, що використання ВШВ-конструкції розрахованих трубопроводів не приводить до перевищення допустимої швидкості потоку. В деяких випадках і ШВШ-конструкція не приводить до цього. Однак ймовірність виникнення такої ситуації при ШВШ-конструкції зростає.

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

Гідравлічний 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.

Для дослідження якості паливних насосів рекомендується проводити зрівняння показників вимірювальних трубопроводів на вході та виходу насосів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. 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 науково-технічної конференції "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика" 24.11.2020-25.11.2020.-Одеса;НУ "ОМА",2020, с.42-45.

2. Гаур Т.О., Зарицька О.І., Скрибантович В.В., Цацко В.І. Дослідження суднової баластно-осушувальної системи з тензометричним витратоміром рідини /Матеріали науково-технічної конференції "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика" 05.11.2019-06.11.2019.-Одеса;НУ "ОМА",2020,с.61-64.

3. 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.

4. 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.

5. Регістр судноплавства України. Правила огляду суден (ПОС). Частина I, II, III. Додатки 1-7, Київ: Офіційне видання, 2024р. [Електронний ресурс]: <https://shipregister.ua/pravila-ta-resursi/katalog-vidan/> (Дата звернення 06.11.2024).

6. Scheepvaartwest.be. [Електронний ресурс]: <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/tankers/10694-alfred-n-imo-9749324> (Дата звернення 08.11.2024).

7. <https://www.ezoil.com/resources-diesel-engines-diesel-fuel-system-basics>). (Дата звернення 10.11.2024).

8. 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 науково-технічної конференції "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика" 24.11.2020-25.11.2020.-Одеса;НУ "ОМА",2020, с.42-45.

9. Цацко В.І., Дранчук С.М., Машін В.М., Криворучко Д.Ю., Гаур Т.О., Іовчев С.І. Установка дослідження якості відцентрових насосів методом тензометрії. Вісник Одеського національного морського університету. № 71 (2023), с.7-19. <http://dx.doi.org/10.47049/2226-2023>

УДК 681.121

## ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОМ З ТЕНЗОМЕТРИЧНИМ ВИТРАТОМІРОМ РІДИНИ

**В.І. Цацко**, к.ф-м.н., старший викладач

**С.М. Дранчук**, к.т.н., доцент

**О.Р. Шітіков**, здобувач другого рівня вищої освіти

**М.С. Щербакан**, здобувач другого рівня вищої освіти

Одеський національний морський університет

***Анотація:** Проведений гідравлічний розрахунок трубопроводу системи змащення дизель-генератора, обрані діаметр трубопроводу, насос масла KCB200-CCO/1/4/C виробництва BTS Engineering. Запропоноване використання тензометричного витратоміра для дослідження якості в насосу в процесі роботи, що використовує встановлення вимірювальних трубопроводів на нагнітальному та всмоктувальному трубопроводах осушувальної системи. Проведений розрахунок вимірювальних трубопроводів, показане, що їх гідравлічний опір не оказує суттєвого впливу на напір.*

***Ключові слова:** система змащення, вимірювальний трубопровід, витратомір рідини, гідравлічний розрахунок, тензометрія, дизель-генератор*

## INVESTIGATION OF THE QUALITY OF THE CENTRIFUGAL PUMPS OF THE RESEARCH OF THE CONTROL SYSTEM OF A DIESEL GENERATOR WITH A TENSION-METRIC LIQUID FLOW METER

**V. I. Tsatsko**, Ph.D., Senior Lecturer

**S.M. Dranchuk**, Ph.D., Assistant Professor

**O.R. Shitikov**, second-level graduate of higher education

**M.S. Shcherbakan**, second-level graduate of higher education

Odessa National Maritime University

***Abstract:** The hydraulic calculation of the pipeline of the diesel generator lubrication system was carried out, the diameter of the pipeline was selected, the KSV200-CCO/1/4/C oil pump manufactured by BTS Engineering. The proposed use of a strain gauge flowmeter to study the quality of the pump during operation, which uses the installation of measuring pipelines on discharge and suction pipelines of the drying system. The calculation of the measuring pipelines was carried out, it was shown that their hydraulic resistance does not have a significant effect on the pressure.*

***Keywords:** lubrication system, measuring pipeline, liquid flow meter, hydraulic calculation, strain gauge, diesel generator*

**Постановка проблеми.** Судновий дизель-генератор — це фантастичний вибір генератора для живлення низки важливих приладів на борту, які потребують електроенергії для роботи. Ці прилади можуть включати все, починаючи від кондиціонера і закінчуючи картографічними системами GPS, що означає, що правильний генератор є невід’ємною частиною будь-якого морського судна [1].

Судновий дизель-генератор може прослужити набагато довше, ніж генератор, що працює на газі. Ця довговічність гарантує, що ви будете рідше платити за технічне обслуговування та ремонт протягом усього терміну служби дизель-генератора.

Зменшенню витрат на технічне обслуговування допомагає вимірювання критичних параметрів обладнання під час експлуатації. В багатьох системах обслуговування дизель-генератора в якості робочого тіла використовується рідина. Тому існує необхідність вимірювання її витрат. При цьому самі засоби вимірювання не повинні викликати необхідності частого технічного обслуговування. При вимірюванні витрат рідини таким вимогам відповідає тензометричний витратомір рідини [2].

Для забезпечення протікання робочого процесу, ефективного та безаварійного функціонування дизельного двигуна призначені системи ДЕУ (головна енергетична установка). До систем, що обслуговують роботу дизеля, належать [3]:

- паливна система;
- система змащення;
- система охолодження;
- система повітропостачання;
- система газовідведення;
- система управління;
- система регулювання та контролю.

В якості судна-прототипу мною обране рефрижераторне вантажне судно “Baltic Prime”, побудоване у 1990 р. у Японії (рисунок 1) [4].



Рисунок 1 – Рефрижераторне вантажне судно “Baltic Prime”

Використання тензометричних витратомірів рідини у дизель-генераторах розглянемо на прикладі системи змащення.

Встановлено, що тензометричний метод не потребує розміщення чутливих датчиків всередині рідини, вимірювальні трубопроводи, що мають три тензорезистори дозволяють зменшити похибки вимірювань в широкому діапазоні швидкостей рідини, проведена оцінка впливу матеріалу рідини на результати вимірювань, та запропонована форма вимірювального трубопроводу типу вузький-широкий-вузький для підвищення якості вимірювань та зменшення їх небезпечності. Розглянуті питання щодо можливості використання тензометрич-

них витратомірів рідини у різних суднових системах [5-7], однак цього ще не було зроблене для систем змащення дизель-генератора.

**Мета роботи** - розробка система з розміщенням вимірювальних трубопроводів тензометричного витратоміра рідини на вході та виході масляних насосів [8], яка показана на рисунку 2.

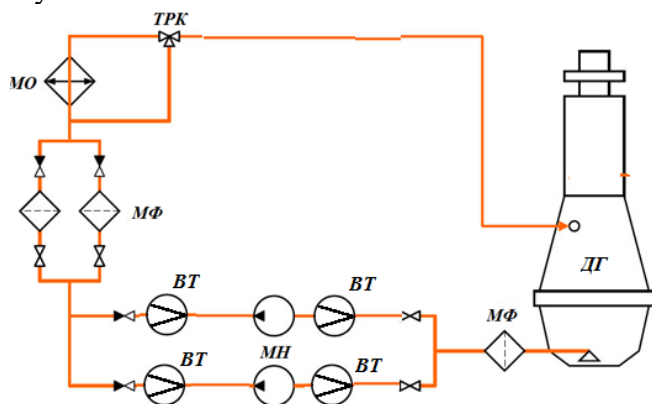


Рисунок 2 – Циркуляційна схема змащення дизель-генератора з вимірювальними трубопроводами (ВТ) тензометричного витратоміра рідини

Наявність вимірювальних трубопроводів на вході та виході насосів дозволяє контролювати їх стан в процесі перекачки. При якісному насосі показники вимірювальних витратомірів на вході та виході насосів повинні бути однаковими. В разі розбіжності цих показників необхідно проводити технічне обслуговування або навіть заміну насосів. Це дозволить не тільки підняти ефективність їх роботи, але й рівень пожежної безпеки.

В якості насосів запропоноване використовувати шестеренчасті насоси для масла КСВ200-ССО/1/4/С виробництва BTS Engineering [9].

В результаті гідравлічного розрахунку системи обраний зовнішній діаметр трубопроводу 60 мм з товщиною стінки 3 мм та умовним проходом Ду54. Це забезпечує максимальну швидкість потоку 1,46 м/с при допустимій швидкості 1,8 м/с [10].

Втрати напору на всмоктувальній та нагнітальній магістралях складають 3,78 м та 6,38 м відповідно.

Ми обрали вимірювальні трубопроводи, що мають форму вузький-широкий-вузький (рисунки 3, б), яка забезпечує менший гідравлічний опір та менші швидкості потоку зрівняно з формою широкий-вузький-широкий (рисунки 3, а) [11].



Рисунок 3 – Варіанти конструкції вимірювального трубопроводу  
 а) широкий-вузький-широкий (ШВШ); б) вузький-широкий-вузький (ВШВ)

У таблиці 1 наведені результати розрахунків місцевих опорів вимірювальних трубопроводів при раптовому звуженні та розширенні потоків.

Таблиця 1 – Місцеві опори при раптовому звуженні та розширенні потоку

Характеристика	Коефіцієнт втрат	Швидкість, м/с	Втрата напору, м
Раптове звуження потоку	0,133	1,07	0,015
Раптове розширення потоку	0,265	1,07	0,030
Трубопровід в цілому	0,398	1,07	0,045

**Висновки.** Включення в систему змащення вимірювальних трубопроводів тензометричного витратоміра рідини не оказує істотного впливу на її роботу.

У той же час наявність вимірювань витрат рідини на вході та виході масляних насосів дозволяє своєчасно визначати необхідність їх технічного обслуговування, а також переходу на роботу резервного насосу при виході з ладу основного.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. <https://www.dieselservicesofamerica.com/boat-diesel-generator>
2. 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.
3. <https://mirmarine.net/svm/seu/660-sistemy-dizelnykh-energeticheskikh-ustanovok>
4. <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/general-cargo/8102-baltic-prime-imo-8921470>
5. Гаур Т.О., Зарицька О.І., Скрибантович В.В., Цацко В.І. Дослідження суднової баластно-осушувальної системи з тензометричним витратоміром рідини /Матеріали науково-технічної конференції "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика" 05.11.2019-06.11.2019.-Одеса;НУ "ОМА",2020,с.61-64.
6. Антохов О.Д., Бабій Ю.С., Гаур Т.О., Нікіфоров В.І., Цацко В.І. Оцінка впливу деяких факторів на точність тензометричного витратоміра рідини. Sředoevropský věstník pro vědu a výzkum 7(59) 2019, pp/65-74.
7. 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.
8. Цацко В.І., Дранчук С.М., Машін В.М., Криворучко Д.Ю., Гаур Т.О., Іовчев С.І. Установка дослідження якості відцентрових насосів методом тензометрії. Вісник Одеського національного морського університету. № 71 (2023), с.7-19. <http://dx.doi.org/10.47049/2226-2023>
9. <https://bts.net.ua/ua/pumping-equipment-distillery/gear-pumps-for-viscous-fluids/nasos-dlya-masla-kcb200-cco-1-4-c>.
10. Регістр судноплавства України. Правила огляду суден (ПОС). Частина I, II, III. Додатки 1-7, Київ: Офіційне видання, 2024р. [Електронний ресурс]: <https://shipregister.ua/pravila-ta-resursi/katalog-vidan/> (Дата звернення 06.11.2024).
11. 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 науково-технічної конференції "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика" 24.11.2020-25.11.2020.-Одеса;НУ "ОМА",2020, с.42-45.

УДК 004.713

## ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВІТКУ ФЕНОМЕНОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ОПТИЧНОГО КОМУТАТОРА ДЛЯ СУЧАСНИХ СУДНОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

**О. В. Рябцов**, к.т.н., доцент

Національний університет Одеська морська академія

***Анотація:** Робота присвячена дослідженню перспектив подальшого розвитку повністю оптичних комутаторів для створення розгалужених оптоволоконних систем передачі на сучасних судах. Намічено напрям подальшого розвитку феноменологічної моделі оптичного комутатора з оптичною адресацією.*

***Ключові слова:** оптоволоконні системи, оптичний комутатор, оптична адресація*

## DEVELOPMENT TRENDS OF THE PHENOMENOLOGICAL MODEL OF THE OPTICAL SWITCH FOR MODERN SHIP'S DATA TRANSMISSION SYSTEMS

**Ryabtsov O.V.** Ph.D., Assistant Professor  
National University «Odessa Maritime Academy»

**Abstract:** *The work is devoted to the study of the prospects for further development of fully optical switches for the creation of branched fiber-optic information transmission systems on modern ships. The direction of further development of the phenomenological model of an optical switch with optical addressing is outlined.*

**Keywords:** *fiber-optics systems, optical switch, optical addressing.*

Постійне зростання обсягів міжнародних морських перевезень не тільки призводить до збільшення розмірів сучасних судів, а й викликає необхідність безперервного вдосконалення їх технічних і експлуатаційних характеристик. Насиченість сучасного судна всіма видами обладнання сягає такого ступеня, коли, з урахуванням тенденції до скорочення чисельності екіпажів, практично виключається можливість традиційних режимів ручного і навіть напівавтоматичного управління судном. На зміну вузькоспеціалізованим системам дистанційного керування судновими механізмами прийшли багатofункціональні інтегровані суднові системи. Це, у свою чергу, викликало багаторазове зростання обсягів інформації, яку необхідно збирати, обробляти та передавати судновими каналами передачі з високою швидкістю та надійністю. Традиційні провідні системи суднового зв'язку в більшості випадків виявляються непридатними для цієї мети внаслідок низької стійкості до електричних перешкод та наведень, особливо при високій насиченості суднового простору потужним електрообладнанням.

Вирішенням цієї проблеми стала заміна суднових мідних провідних ліній зв'язку на оптоволоконні лінії передачі, які мають несприйнятливості до електричних перешкод та практично необмеженої пропускну здатність. Це дало змогу виключити складні та витратні заходи щодо забезпечення електромагнітної сумісності суднових пристроїв, і, крім того, дозволило багаторазово збільшити швидкість передачі даних.

Однак розвиток розгалужених суднових оптоволоконних систем передачі інформації багато в чому стримується відсутністю швидкодіючих, надійних та доступних за ціною оптичних комутаційних пристроїв. Основним недоліком електрооптичних комутаторів, які зараз застосовуються, є те, що керування ними може здійснюватися лише за допомогою електричних схем, що різко обмежує їхню швидкодію [1,2]. Для того, щоб визначити, на який вихід комутатора необхідно перенаправити оптичний сигнал, що надійшов на вхід комутатора, з цього інформаційного сигналу оптоелектронними засобами виділяється адресна інформація, яка потім перетворюється на електричні сигнали управління оптичною комутаційною матрицею для зміни траєкторії оптичного сигналу, тобто для здійснення перемикання оптичних каналів. Для подальшого підвищення швидкодії оптичних систем слід виключити етап перетворення керуючої та адресної інформації в електричні сигнали, що дозволило би впритул наблизитися до теоретичної межі пропускну спроможності оптоволоконних систем передачі інформації.

Однак практичні конструкції комутаторів, які дозволяли би проводити передачу сигналів, адресацію та управління їх перемиканням виключно оптичними методами, дотепер у літературі ще не описані, або не пройшли практичної апробації, або вважаються комерційною чи воєнною таємницею. Проте активні сучасні розробки в галузі оптичного управління фізичними об'єктами дають надію, що така технологія незабаром все ж таки буде розроблена і впроваджена.

Відомо, що в елементах Керра і Поккельса коефіцієнт заломлення оптичного матеріалу змінюється під впливом зовнішнього електричного поля. Дани ефекти зміни властивостей оптичних матеріалів вже добре вивчені і успішно застосовуються, наприклад, в оптичних затворах для модуляції лазерного випромінювання. Оскільки оптичне випромінювання за сво-



єю фізичною природою є одним із різновидів електромагнітного поля, то цілком можливо припустити, що в найближчому майбутньому буде створено оптичний матеріал, який зможе змінювати свої властивості під впливом оптичного випромінювання певної довжини хвилі. На основі таких елементів стане можливим створення комутаторів з оптичним, а не електричним керуванням. У зв'язку з цим припущенням у роботі [3] автором була запропонована феноменологічна модель повністю оптичного комутатора на базі елементів із змінюваною прозорістю.

Феноменологічна модель пропонує опис у словесній формі передбачуваного механізму явища, яке на даному етапі розвитку науки і техніки поки що не може бути підтверджено математичними викладками чи експериментальними даними та лише пропонує шлях подальшого пошуку практичних рішень. Можна гіпотетично припустити, що оптичний матеріал буде змінювати свій коефіцієнт заломлення під впливом зовнішнього оптичного випромінювання. Висока ймовірність такого припущення була частково підтверджена дослідженнями, описаними у роботі [4]. За наявності бістабільних оптичних матеріалів стане можливим створити оптичний елемент, прозорість якого має два стійкі стани, тож його можна буде застосувати як основний елемент оптичного комутатора сигналів для суднових систем передачі інформації.

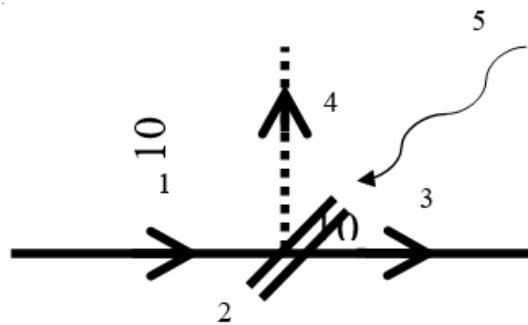


Рисунок 1 - Модель оптичного елемента з керованою прозорістю

У раніш запропонованій феноменологічній моделі передбачається, що даний гіпотетичний оптичний матеріал в одному з двох своїх можливих станів повинен бути практично прозорим, а в іншому стані його поверхня повинна набувати дзеркально відбиваючої властивості. Причому прозорість матеріалу повинна відповідати певному діапазону довжин світлових хвиль, що включає вікна прозорості існуючих оптоволоконних кабелів. Потік оптичного випромінювання 1, що надходить з вхідного оптоволоконна, повинен або проходити крізь пластину 2, утворюючи вихідний світловий потік 3, що направляєється у вихідний світловод, або повністю відбиватися від пластини 2, змінювати напрям, утворюючи потік 4, і надходити в інший вихідний світловод, здійснюючи тим самим процес керованої оптичної комутації без впливу електричних сигналів. З прозорого стану в непрозорий матеріал пластини 2 повинен стрибкоподібно перемикатися під впливом якогось випромінювання 5 з певною довжиною хвилі. При цьому пластини повинна як пропускати випромінювання, так і віддзеркалювати його, з мінімальним рівнем енергетичних втрат, які є допустимими для практичних цілей. Це цілком можливо при використанні кутів падіння випромінювання, близьких до критичного.

Досить довго висловлене автором припущення про можливість створення таких оптично керованих комутаторів залишалося лише гіпотезою. Однак підтвердженням такої можливості виявилися нещодавно знайдені результати досліджень, проведені у Технологічному інституті Джорджії [5]. Згідно з опублікованими даними, дослідники створили оптичний модулятор, в якому замість керуючих сигналів електричного струму використовуються електромагнітні хвилі терагерцових частот. З матеріалів публікації випливає, що, працюючи з модулятором, дослідницька група спостерігала ефект «розщеплення» Ауслера-Таунса (Autler-Townes Splitting), якій добре відомий в атомній фізиці, але досі не спостерігався в напівпровідникових матеріалах, з яких складаються оптичні модулятори. У цих дослідженнях для ке-

рування модулятором використовувалося випромінювання надвисокочастотного лазера на вільних електронах. Вказується, що для оцінки отриманої швидкості модуляції дослідникам довелося використовувати непрямі методи, оскільки терагерцові частоти складно виміряти безпосередньо з допомогою існуючих нині технологій.

Активна частина оптичного модулятора, що вивчається, являє собою ряд «квантових ям» в кристалі арсеніду галію, що використовуються як перемикачі для перенаправлення оптичних потоків даних шляхом попереминого пропускання або відображення світла.

У матеріалах досліджень підкреслюється, що такі модулятори становлять потенційно важливу частину високошвидкісних оптичних систем передачі, проте дослідники все ще далекі від практичного впровадження пристрою. Перш ніж ця технологія знайде застосування в існуючих системах зв'язку, необхідно вдосконалити параметри оптичної модуляції, зокрема оптимізувати бітову глибину оптичного сигналу, тобто збільшити розбіжність інтенсивності світла, яка представляє одиниці і нулі коду, що передається. Крім того, вказується, що інші елементи оптичних систем передачі інформації теж слід допрацювати, щоб забезпечити терагерцові швидкості, а також потрібно мінімізувати енергію, що споживається пристроєм.

**Висновки.** Таким чином, запропонована раніше феноменологічна модель отримала додаткове підтвердження застосовності та доцільності, і ще на один крок наблизилася до етапу практичної реалізації.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Рябцов А.В. Комутатори оптичних сигналів [Текст] / Г.С. Гайворонская, А.В. Рябцов // Холодильна техніка і технологія, № 2 (118). – 2009. – с.55-59.
2. Рябцов А.В. Методы и средства коммутации оптических сигналов в информационных сетях [Текст] / Г.С. Гайворонская, А.В. Рябцов // Холодильна техніка і технологія, № 2 (124). – 2010. – с.74-82.
3. Рябцов О. В. Феноменологічна модель повністю оптичного комутатора з оптичною адресацією. [Текст] / Г. С. Гайворонська, О. В. Рябцов // Вісник ДУІКТ. - 2012. -Т.10, №1. – С.50-54.
4. Логинова М. М., Трофимов В.А. О возможности оптической бистабильности на основе зависимости коэффициента поглощения полупроводника от индуцированного электрического поля // Журнал технической физики. - 2006, том 76, вып. 5. – С.82-87.
5. Интернет-джерело - <https://phys.org/news/2005-12-scientists-faster.html>

## Секція 2. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

УДК 629.56.064.5+620.9+629.5

### ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГІБРИДНИХ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ АЛГОРИТМІЗАЦІЯ

**А.В. Ципа**, здобувач другого рівня вищої освіти,  
**В.В. Будашко**, д.т.н., професор  
Національний університет «Одеська морська академія»

**Анотація:** У статті розглянуто методи підвищення енергоефективності суднових електроенергетичних систем (СЕЕС) за допомогою використання гібридних систем, а також їх алгоритмізацію. Основна увага зосереджена на підвищенні ефективності паливовикористання та зниженні викидів шкідливих речовин шляхом використання альтернативних джерел енергії, таких як фотоелектричні системи та акумуляторні батареї. Оцінюється економічна доцільність впровадження таких систем, включаючи період окупності та виклики, пов'язані з їх високою вартістю. Запропоновані алгоритми оптимізації роботи СЕЕС, що враховують різні умови експлуатації суден.

**Ключові слова:** алгоритмізація, гібридна суднова електроенергетична система, енергоефективність, дизельні генератори, фотоелектричні системи, акумуляторні батареї, екологічність, автоматизація, викиди CO<sub>2</sub>.

### ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGIES OF HYBRID SHIP ELECTRICAL POWER SYSTEMS AND THEIR ALGORITHMIC IMPLEMENTATION

**A. Tsypa**, second-level higher education student,  
**V. Budashko** Dr. of Science, Professor  
National University "Odessa Maritime Academy"

**Abstract:** The article examines methods for improving the energy efficiency of ship electrical power systems (SEPS) through the use of hybrid systems and their algorithmic implementation. The main focus is on increasing fuel efficiency and reducing harmful emissions by utilizing alternative energy sources such as photovoltaic systems and battery storage. The economic feasibility of implementing such systems is evaluated, including the payback period and challenges related to their high cost. The proposed algorithms aim to optimize the operation of SEPS, considering various ship operating conditions.

**Keywords:** algorithmization, hybrid ship electrical power system, energy efficiency, diesel generators, photovoltaic systems, battery storage, environmental friendliness, automation, CO<sub>2</sub> emissions.

Енергоефективність та якість електричної енергії на судах мають значний вплив на вартість перевезень та кінцеву ціну вантажу [1]. Енергоефективність, в першу чергу, пов'язана з ефективним використанням палива, що є фактором, який знижує експлуатаційні витрати і водночас зменшує викиди шкідливих речовин у повітря, сприяючи екологічній відповідальності судноплавної галузі [2]. Оскільки впровадження новітніх технологій ускладнює будь яку систему додаванням нових елементів, кількість яких впливає на рівень надійності, то є важливим знаходження найоптимальніших способів підвищення енергоефективності суднових електроенергетичних систем (СЕЕС) із забезпеченням необхідного рівня надійності [3].

У [4] автори зосередились на аналітичних дослідженнях впливу структури гібридної СЕЕС на ефективність використання дизельного палива. Були розглянуті можливості використання фотоелектричних систем та акумуляторних батарей великої ємності для підвищення енергоефективності СЕЕС із оцінкою потенціалу економії палива та зменшення викидів шкідливих речовин. Один із викликів, з яким стикнулися автори, був пов'язаний з високою

вартістю акумуляторних батарей (АКБ) великої ємності, наприклад, системи "Megapack" від компанії "Tesla", що ускладнило економічну ефективність проекту, оскільки період окупності системи може бути досить тривалим. Ще однією проблемою було обмеження простору на судах для встановлення фотоелектричних панелей. Теоретично автори довели, що використання гібридної СЕЕС, яка поєднує основні дизельні генератори (ДГ) з валогенератором, акумуляторами та фотоелектричними системами, може підвищити ефективність паливовикористання та зменшити викиди шкідливих речовин. Вони продемонстрували, що ефективність можна покращити, використовуючи додаткові джерела живлення та оптимізуючи роботу системи. До практичних результатів дослідження можна віднести можливість зменшення використання дизельного палива на 100 тонн/рік, що в грошовому еквіваленті становить близько 90000 доларів США, із зниженням викидів CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> та SO<sub>2</sub>, що є важливим відповідно до вимог конвенції MARPOL. З точки зору впровадження результатів наведених досліджень, можна констатувати, що впровадження гібридних СЕЕС у виробництво є можливим, але його ефективність залежить від економічної доцільності та можливостей судноплавних компаній здійснювати довгострокові інвестиції. Системи гібридного живлення потребують значних капіталовкладень, але окупність проекту в межах 4-5 років може бути привабливою для підприємств.

Використання АКБ великої ємності для таких систем є дуже важливим, адже тільки таким чином можна вивести генераторні установки на роботу в номінальному режимі і досягти найоптимальнішого співвідношення при перетворенні енергії палива на електричну енергію. Але постає проблема вартості таких АКБ. Одним з можливих факторів, що може призвести до більш раціонального вкладення у АКБ це збільшення терміну їх роботи. Щоб максимізувати термін служби літій-іонних акумуляторів, рекомендується обмежити глибину розряду. Як правило, розряд літій-іонної батареї приблизно до 20-25% і підтримання рівня заряду між 25% і 85% значно подовжить термін її служби і корисна ємність складає 60% від повної ємності АКБ. Цей діапазон допомагає уникнути стресу, який виникає під час граничного рівня заряду або повного розряду. Наприклад, зміна заряду від 85% до 25% забезпечує кращий термін служби, ніж зарядка до 100% і розрядка до 50%. Насправді обмеження діапазону заряду до 75%-65% може забезпечити найдовший термін служби, але значно зменшує корисну ємність, тому такий спосіб використання не є раціональним [5]. Але при цьому, для СЕЕС потужністю 1 МВт, яка 8 годин живиться від сонячних панелей, а 16 годин від АКБ, ємність яких повинна бути не 16 МВт, які становитимуть лише 60% корисної ємності, а 27МВт і вартість такої АКБ на сьогодні складає 6,384,690 доларів США[6], у попередніх же розрахунках ціна зменшилась, так як такі системи стали більш популярізовані і ціна на виготовлення одиниці такої батареї зменшилась, тобто такими темпами, це стане ще вигіднішим рішенням, якщо використання таких систем набуде великих масштабів та попиту у суднової галузі. Відповідно до розрахунків у [4] разом з сонячними панелями вартуватиме 8,671,590 доларів США. Але така система спроможна економити відповідно до попередніх розрахунків 1 702 944\$ на рік, без урахування того, що для використання палива необхідно його підігрівати за допомогою парових установок, у яких так само спалюється паливо, а також повинні працювати системи очищення палива та його подачі, системи подачі мастила і повітря, та інші, які у неробочому стані також зменшують навантаження на СЕЕС. За прогнозами така система окупиться вже за 5,1 рік, замість 4,3 років, але термін дієпридатності батарей буде подовжено. Також слід враховувати, що навіть після довгострокової експлуатації АКБ, вона залишається у власника і навіть після переходу її в несправний стан може бути відновлена та використовуватися на іншому судні, або її можна продати, та повернути частину коштів, які в подальшому витрати на нову АКБ.

Ще одним зі способів підвищення ефективності використання енергії, є шлях зменшення втрат у СЕЕС, таким способом є використання високовольтних систем на судах, який має ряд переваг, зокрема значно нижчі втрати при передачі електроенергії порівняно з низьковольтними системами. Основна причина зменшення втрат полягає в тому, що при збільшенні напруги знижується сила струму, що проходить через провідники, а відповідно й втрати енергії через тепловиділення в проводах. Наприклад, в системах з напругою 6.6 кВ втрати при передачі значно менші, ніж в низьковольтних мережах на 440 В. Окрім цього, високовольтні системи дозволяють використовувати менш габаритні та легші компоненти, оскільки при вищій напрузі менші струми вимагають менших провідників. Це призводить до економії місця та зменшення загальної ваги систем на судні. Наприклад, двигун для роботи з 6.6 кВ буде значно меншим за аналогічний на 440В, а втрати при передачі електроенергії, для СЕЕС потужністю 1 МВт матимуть наступний вигляд:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \mu} = \frac{1 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 440 \cdot 0.8} = 1640 \text{ A} \quad (1)$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \mu} = \frac{1 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6600 \cdot 0.8} = 109 \text{ A} \quad (2)$$

$$\text{Втрати потужності} = I^2 \cdot R \quad (3)$$

де  $U$  – напруга ДГ / СЕЕС;  $P$  – потужність СЕЕС;  $\cos \mu$  - коефіцієнт потужності;  $I$  - сила струму, що виробляється у СЕЕС та проходить по провіднику;  $R$  - опір провідника.

Але високовольтні системи мають свої переваги та недоліки, які наведено у статті [7], і більш детально розглянуто особливості високовольтних систем у монографії [8].

Відповідно до усіх перерахованих аспектів, було утворено наступний найоптимальніший алгоритм для роботи найефективнішої для сьогодення варіації СЕЕС.

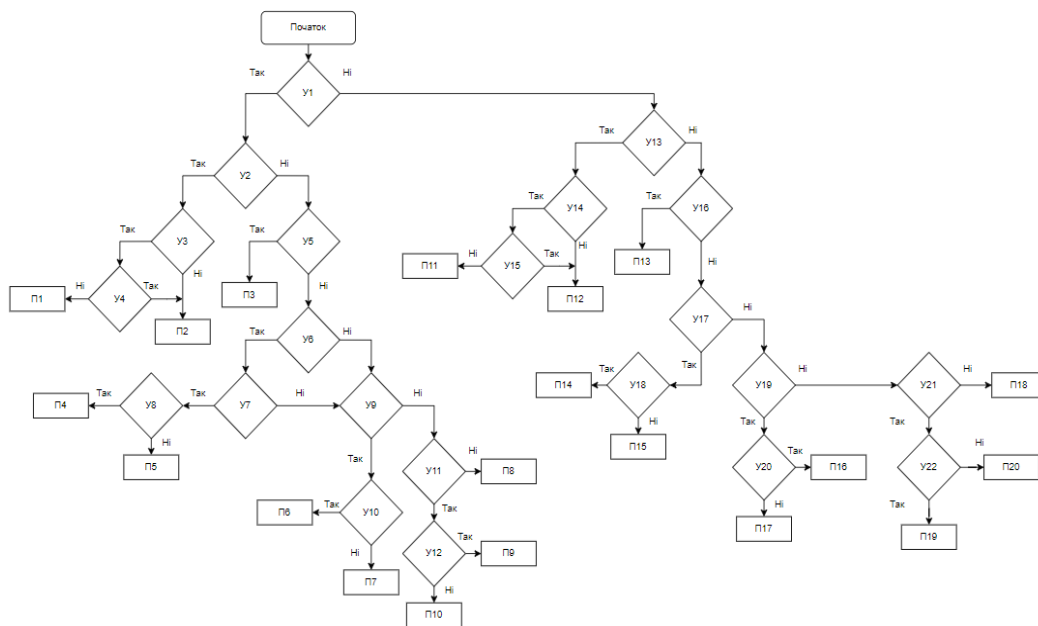


Рисунок 1 – Алгоритм роботи гібридної суднової ЕЕС

Умові позначення на рис. 1 (Y - умова; П - Процес):  
Y1 – Судно знаходиться в порту?

- У2; У13 – Суднове навантаження менше ніж потужність, що можуть забезпечити сонячні панелі?
- У3; У8; У10; У12; У14; У18; У20; У22 – Залишкової енергії достатньо, щоб заряджати АКБ?
- У4; У15 – АКБ заряджені повністю?
- У5; У16 – Суднове навантаження менше ніж потужність, що можуть забезпечити АКБ ?
- У6 – Суднова ЕЕС під'єднана до живлення з берега?
- У7 – Потужності живлення з берега достатньо для забезпечення потреб ЕЕС?
- У9; У19 – Потужності основних ДГ достатньо для потреб ЕЕС?
- У17 – Потужності валогенератора достатньо для потреб ЕЕС?
- У11; У21 – Потужності аварійного ДГ достатньо, щоб забезпечити потреби ЕЕС?
- П1; П11 – Живлення ЕЕС судна від сонячних панелей та зарядка АКБ;
- П2; П12 – Живлення ЕЕС судна від сонячних панелей без зарядки АКБ;
- П3; П13 – Живлення ЕЕС судна від АКБ;
- П4 – Живлення ЕЕС судна від електропостачання з берега, та зарядка АКБ;
- П5 - Живлення ЕЕС судна від електропостачання з берега без зарядки АКБ;
- П6; П16 – Живлення ЕЕС судна від основних ДГ, та зарядка АКБ;
- П14 – Живлення ЕЕС судна від валогенератора, та зарядка АКБ;
- П15 - Живлення ЕЕС судна від валогенератора без зарядки АКБ;
- П7; П17 - Живлення ЕЕС судна від основних ДГ без зарядки АКБ;
- П8; П18 – Повне знеструмлення мережі ЕЕС судна (Blackout);
- П9; П19 - Живлення ЕЕС судна від аварійного ДГ, та зарядка АКБ;
- П10; П20 - Живлення ЕЕС судна від аварійного ДГ без зарядки АКБ;

У підсумку можна зазначити, що основною метою досліджень в цьому напрямку є розробка та впровадження гібридних СЕЕС для підвищення ефективності використання палива, зниження викидів шкідливих речовин у відповідності до екологічних стандартів, з акцентом на економічну доцільність та надійність системи.

Одним з основних недоліків впровадження гібридних СЕЕС є їх висока вартість та необхідність оптимізації їхньої ефективності для кожного з типів суден. В контексті досягнення мети, основні шляхи усунення недоліків або зменшення їх вагомості, є вирішення наступних задач:

- розробка більш надійних, енергоефективних та доступних АКБ та сонячних панелей;
- розробка універсальних рішень для різних типів суден.

З точки зору впровадження результатів наведених досліджень, можна констатувати, що впровадження гібридних СЕЕС у виробництво є можливим, але його ефективність залежить від економічної доцільності та можливостей судноплавних компаній здійснювати довгострокові інвестиції. Системи гібридного живлення потребують значних капіталовкладень, але окупність проекту в межах 4-5 років може бути привабливою для підприємств [9-14].

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку алгоритмів автоматизації роботи гібридних СЕЕС [15, 16] пошук економічно ефективних технологій виробництва та накопичення електроенергії, а також вивчення можливостей оптимального використання сонячних панелей на суднах різного розміру [17, 18].

Основною метою досліджень в цьому напрямку є розробка та впровадження гібридних СЕЕС для підвищення ефективності використання палива, зниження викидів шкідливих речовин у відповідності до екологічних стандартів, з акцентом на економічну доцільність та надійність системи.

Одним з основних недоліків впровадження гібридних СЕЕС є їх висока вартість та необхідність оптимізації їхньої ефективності для кожного з типів суден.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Meng, L. Ship allocation considering energy type and transportation preference: A variational inequality approach / L. Meng, X. Wang, J. He, C. Han // *Advanced Engineering Informatics*. – 2024. – V. 59. – 102291. ISSN 1474-0346. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102291>.
2. Jang, H. Safety evaluation on ammonia-fueled ship: Gas dispersion analysis through vent mast / H. Jang, M.P. Mujeeb-Ahmed, H. Wang, C. Park, I. Hwang, B. Jeong, P. Zhou, A. Papadakis, A. Giannakis, K. Sykaras // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2024. – V. 83. – P. 1060-1077. ISSN 0360-3199. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.08.027>.
3. Ganjian, M. Optimal design strategy for fuel cell-based hybrid power system of all-electric ships / M. Ganjian, H. B. Farahabadi, M. A. Alirezapouri, M. R. Firuzjaei // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2024. – V. 50, Part B. – P. 1558-1571. ISSN 0360-3199. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.258>.
4. Ципа, А. В. Шляхи підвищення показників ефективності, надійності та економічності роботи суднової електроенергетичної системи / А.В.Ципа, І.М. Гвоздева // *Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроніка, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023*. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.72-76 <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>.
5. Courtesy of Cadex, Choi et al. (2002), B. Xu, A. Oudalov, A. Ulbig, G. Andersson and D. Kirschen, "Modeling of Lithium-Ion Battery Degradation for Cell Life Assessment," June 2016 Doi: <https://batteryuniversity.com/article/bu-808-how-to-prolong-lithium-based-batteries>
6. Акумуляторні батареї «Megapack» компанії «Tesla» Doi:<https://www.tesla.com/megapack/design>
7. High Voltage System on Ships, Doi:<https://marineengineeringonline.com/high-voltage-system-ships/>
8. Бічев В.І. Дослідження якості електроенергії вітрогенераторної установки / В.І. Бічев, В.О. Артюх, В.В. Будашко / *III науково-технічна конференція молодих вчених «Інновації та технології на морському та внутрішньому водному транспорті», 22.11.2023-23.11.2023* – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.15-20. <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/IandTMIWT-2023.22.11.23.pdf>.
9. LEROY SOMER Marine Solutions/Proven solutions for Marine applications Propulsion & Power Grid 6097 en - 2022.06 / а. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://www.leroy-somer.com/documentation\\_pdf/6097\\_en.pdf](https://www.leroy-somer.com/documentation_pdf/6097_en.pdf)
10. Budashko, V. V. **Increasing the efficiency of hybrid propulsion complexes for multipurpose vessels by different criteria of the energy management strategies [Text]** / V. V. Budashko // *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*. – 2019. – V. 10 (50). – P. 53-62. Режим доступу: \WWW/ URL: [https://eesa-journal.com/wp-content/uploads/EESA\\_1050\\_oct\\_2019\\_part\\_4.pdf](https://eesa-journal.com/wp-content/uploads/EESA_1050_oct_2019_part_4.pdf). – 5.11.2024 р. – Загол. з екрану.
11. Hvozdeva, I. Problems of Improving the Diagnostic Systems of Marine Diesel Generator Sets [Text] / I. Hvozdeva, V. Myrhorod, V. Budashko, V. Shevchenko // *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavske, 25-29 Feb. 2020, Ukraine: IEEE*. – P. 350-354. Doi: [10.1109/TCSET49122.2020.235453](https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235453).
12. Budashko, V. [Thrusters physical model formalization with regard to situational and identification factors of motion modes \[Text\]](https://doi.org/10.46300/91012.2020.14.2) / V. Budashko // *International journal of energy and environment*. – 2020. – V. 14. – P. 5-8, ISSN: 2308-1007. Doi: [10.46300/91012.2020.14.2](https://doi.org/10.46300/91012.2020.14.2).
13. Budashko, V. Thrusters physical model formalization with regard to situational and identification factors of motion modes [Text] / V. Budashko // *2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE), Istanbul, 12-13 June 2020, Turkey: IEEE*. Pp. 1-6. Doi: [10.1109/ICECCE49384.2020.9179301](https://doi.org/10.1109/ICECCE49384.2020.9179301).
14. Швидкий О.С. Валогенератор-двигун з широтно-імпульсною модуляцією / О.С. Швидкий, К.В. Кардіако, В.В. Будашко / *III науково-технічна конференція молодих вчених «Інновації та технології на морському та внутрішньому водному транспорті», 22.11.2023-23.11.2023* – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С. 6-13. <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/IandTMIWT-2023.22.11.23.pdf>

15. Myrhorod, V. Multi-parameter Diagnostic Model of the Technical Conditions Changes of Ship Diesel Generator Sets [Text] / V. Myrhorod, I. Hvozdeva, V. Budashko // 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP), Kremenchuk, 21-25 Sept. 2020, Ukraine: IEEE. Pp. 1-5. Doi: [10.1109/PAEP49887.2020.9240905](https://doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240905).

16. SIEMENS Low Voltage Engineering manual Version 6.7 – June 2020, Supplement to Catalogs D 11 and D 21.3., 2020. [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/185/83180185/att\\_1026522/v1/G130\\_G150\\_S120\\_S150\\_ext\\_config\\_man\\_0620\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/185/83180185/att_1026522/v1/G130_G150_S120_S150_ext_config_man_0620_en-US.pdf)

17. Будашко, В. В. Високовольтні технології в морській електроінженерії: монографія [Текст] / В. В. Будашко, О. М. Піпченко, В. В. Пономаренко, В. А. Шевченко // Одеса: НУ «ОМА», 2020. – 398 с. ISBN 978-617-7857-02-9.

18. Budashko, V. Power plant, propulsion complex and control system of autonomous dual-purpose underwater vehicle [Text] / V.V. Budashko // 15<sup>th</sup> International Naval Engineering Conference and Exhibition (INEC/iSCSS 2020), 5-9 October 2020, Virtual online conference. Pp. 1-9. Available at: <https://events.rdmobile.com/Lists/Details/1071014>.

УДК 629.1

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕЛЕКТРОЛІЗЕРІВ

**А.В. Ципа**, здобувач другого рівня вищої освіти

**І.М. Гвоздева**, д.т.н., професор

Національний університет «Одеська морська академія»

**Анотація:** У статті досліджено можливості підвищення енергоефективності фотоелектричних систем для суднових установок, а також використання твердооксидних електролізерів (SOEC) у якості енергоефективних утворювачів водню. Розглянуто проблеми інсоляції, вплив затінення та можливості зберігання надлишкової енергії у вигляді водню. Також впровадження даних технологій сприятиме підвищенню екологічності морських суден.

**Ключові слова:** фотоелектричні системи, інсоляція, сонячні концентратори, твердооксидні електролізери, водень, суднові енергосистеми, енергоефективність, екологічність.

## WAYS OF INCREASING THE EFFICIENCY INDICATORS OF THE SHIP ELECTRICAL ENERGY SYSTEM THROUGH THE USE OF PHOTOELECTRIC SYSTEMS AND ELECTROLYSER

**A.Tsypa**, second-level graduate of higher education

**I.Hvozdeva**, Dr. of Science, Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

**Abstract:** The article explores the potential for enhancing the energy efficiency of photovoltaic systems in marine installations and the use of solid oxide electrolyzers (SOEC) as energy-efficient hydrogen generators. It examines issues related to insolation, the impact of shading, and the possibilities of storing excess energy as hydrogen. Additionally, the implementation of these technologies will contribute to improving the environmental sustainability of marine vessels.

**Keywords:** photovoltaic systems, insolation, solar concentrators, solid oxide electrolyzers, hydrogen, marine energy systems, energy efficiency, sustainability.



**Актуальність.** Сучасні проблеми ефективного використання і накопичення енергії та потреба в скороченні шкідливих викидів вимагають розвитку альтернативних джерел енергії. Системи, що використовують енергію сонця є одним із найперспективніших джерел «зеленої» енергії, проте їх функціонування залежить від умов освітленості, що знижує їхню ефективність при частковому затіненні або недостатньому рівні інсоляції. Особливо актуальним є пошук способів підвищення стабільності та надійності роботи фотоелектричних систем за різних кліматичних умов, а також ефективного накопичення отриманої енергії та застосування таких систем на морських судах для зменшення їхнього вуглецевого сліду.

**Метою** дослідження є аналіз використання сонячних панелей та сонячних концентраторів у поєднанні з іншими технологіями, такими, як твердооксидні електролізери (SOEC), для підвищення ефективності морських електроенергетичних установок.

**Основна частина.** Одними з основних джерел «зеленої» енергії на сьогодні є сонячні панелі, але основними проблемами, з якими стикаються такі системи, є інсоляція та часткове затінення. Інсоляція або рівень сонячного випромінювання також має прямий вплив на продуктивність сонячних панелей. При зменшенні інсоляції, наприклад, від 1000 до 500 Вт/м<sup>2</sup>, падає струм короткого замикання ( $I_{sc}$ ) і потужність у точці максимальної потужності (MPP). Це явище більш виражене для полікристалічних панелей, де зниження інсоляції призводить до значніших втрат потужності в порівнянні з монокристалічними. Отже, панелі краще працюють за високої інсоляції, але будь-яке зменшення освітлення значно знижує виробництво електричної енергії. Часткове затінення — це одна з найсерйозніших проблем для фотоелектричних систем, зокрема для тих, що встановлені на відкритих площах, де є багато джерел затінення (будівлі, погодні умови тощо). Коли одна або кілька клітин панелі зазнають затінення, загальна потужність системи суттєво знижується. Це викликано тим, що сонячні панелі з'єднані в послідовний ланцюг і навіть часткове затінення однієї клітини знижує вихідну потужність всієї панелі. Затінені частини панелі можуть працювати як зворотні діоди, спричиняючи утворення «гарячих точок», що може призвести до значних пошкоджень і навіть виходу з ладу панелі. Для мінімізації таких втрат часто застосовують обхідні діоди, які дозволяють струму обходити затінені ділянки та зменшують втрати потужності, проте ця проблема залишається критичною для загальної ефективності системи [1]. Математична модель сонячної панелі зазвичай описується за допомогою **рівняння струм-напруга (I-U)** для фотоелектричної комірки, заснованого на однодіодній моделі:

$$I = I_{ph} - I_0 \left( \exp \left( \frac{q(U + I \cdot R_s)}{n \cdot k \cdot T} \right) - 1 \right) - \frac{U + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

$I_{ph}$  — фотоелектричний струм;  $I_0$  — струм насичення діода;  $q$  — заряд електрона;  $U$  — напруга на сонячній панелі;  $R_s$  — послідовний опір;  $R_{sh}$  — шунтовий опір;  $n$  — ідеальність діода;  $k$  — константа Больцмана;  $T$  — температура комірки (в Кельвінах).

Одним з можливих шляхів вирішення проблеми низького рівня інсоляції може бути використання лінз Френеля, які концентруватимуть сонячні промені на затіненіх панелях або на всіх панелях, але такий спосіб також має й певні недоліки. По-перше, площа, яку займатимуть ці панелі має прямо пропорційну залежність до відстані між лінзою та об'єктом, яким в даному випадку слугує сонячна панель. Навіть при двохкратному збільшенні рівня інсоляції розмір такої лінзи матиме площу, двохкратну від тієї, що займають сонячні панелі. По-друге, збільшення концентрації сонячних променів викличе й збільшення температури, яка має негативний вплив на підсумкове значення вихідної потужності, як монокристалічних, так і полікристалічних панелей (рис. 1), але така ідея може використовуватися для суден, що працюють у регіонах з низькою температурою зовнішнього середовища.

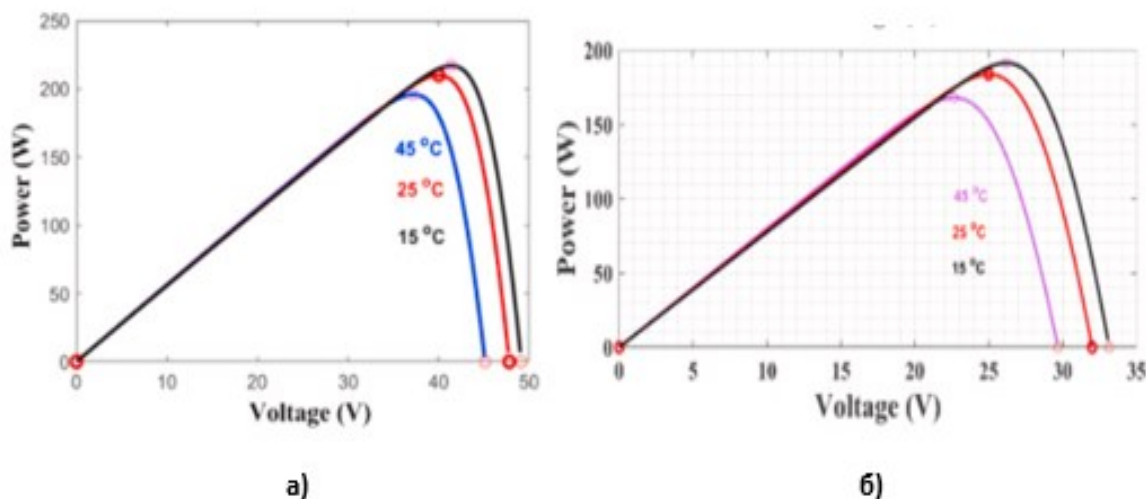


Рисунок 1 – Графіки залежності напруги та вихідної потужності сонячних панелей від температури зовнішнього середовища (а – полікристалічні, б - монокристалічні).

Одним з наступних можливих вирішень вказаної проблеми є використання сонячних концентраторів у якості джерел електричної енергії на судні. Концентровані сонячні системи (CSP) ефективно використовуються для виробництва електроенергії завдяки високій ефективності та можливості зберігання тепла для забезпечення постійного електропостачання. Основні види таких систем включають параболічні дзеркала, сонячні вежі та технологію «тарілка/двигун». Ефективність CSP варіюється від 20% до 35%, залежно від технології. Наприклад, система на основі параболічних дзеркал досягає приблизно 30% ККД, а вежі та тарілки—близько 34% за найсприятливіших умов. Але також слід враховувати й економічні показники, так як середня вартість виробництва концентрованої сонячної теплової енергії набагато вища, ніж інші відновлювані ресурси. Хоча за останні кілька років середня вартість впала до \$0,20/кВт-год. Тим не менш, витрати високі, для порівняння: середня вартість виробництва сонячної фотоелектричної енергії становить від 0,05 до 0,10 доларів США/кВт-год. Середня вартість виробництва фотоелектричних сонячних батарей у майбутньому впаде ще більше через великий попит та інтенсивну роботу науковців у цій галузі [2].

Прикладом вже існуючої такої системи є система **Ivanpah (США)**. Станція **Ivanpah** розташована в пустелі Мохаве в Каліфорнії, займає площу приблизно 14,2 км<sup>2</sup> (або близько 3471 акр) і має номінальну потужність 392 МВт. Ivanpah щороку виробляє близько 1079 ГВт-год, що в середньому становить приблизно 2,96 ГВт-год на день [3].

Система «тарілка/двигун» використовує дзеркальну антену, схожу на дуже велику супутникову антену, хоча для мінімізації витрат дзеркальна тарілка зазвичай складається з багатьох менших плоских дзеркал, сформованих у форму тарілки. Поверхня у формі тарілки спрямовує та концентрує сонячне світло на теплоприймач, який поглинає та збирає тепло та передає його до двигуна. Найпоширенішим типом теплового двигуна, який сьогодні використовується в системах «тарілка/двигун», є двигун Стірлінга. Ця система використовує рідину, нагріту ресивером, для переміщення поршнів і створення механічної енергії. Потім механічна потужність може використовуватися для роботи головного рушія судна чи роботи генератора та виробництва електроенергії [4].

Враховуючи останні тенденції у зміні енергоефективності двигунів можна вважати, що для таких систем буде більш практичним використання не типових дизельних установок, а газової турбіни комбінованого циклу (рис. 2), що дозволяє отримати, як високий ККД так і низьку вартість установки, тому що, дана технологія вже є досить відомою та розповсюдженою [5]. Тобто такі установки могли б працювати використовуючи у якості енергоносія як газ, так і пар, який ми б отримували завдяки сонячним концентраторам, при цьому така система не потребує підігрівання палива перед використанням, на відміну від важкого палива,

що дозволяє уникнути використання систем підігріву палива та його очищення і підвищити енергоефективність і надійність суднової електроенергетичної установки. При використанні таких методів постає питання ефективного накопичення отриманої енергії. Одним із методів, є накопичення електричної енергії у акумуляторних батареях великої ємності. Практичність та економічність цього методу більше детально розглянуто у науковій статті [6]. Іншим же методом є отримання енергоносія (водню) шляхом перетворення надлишкової електроенергії за допомогою електролізера.

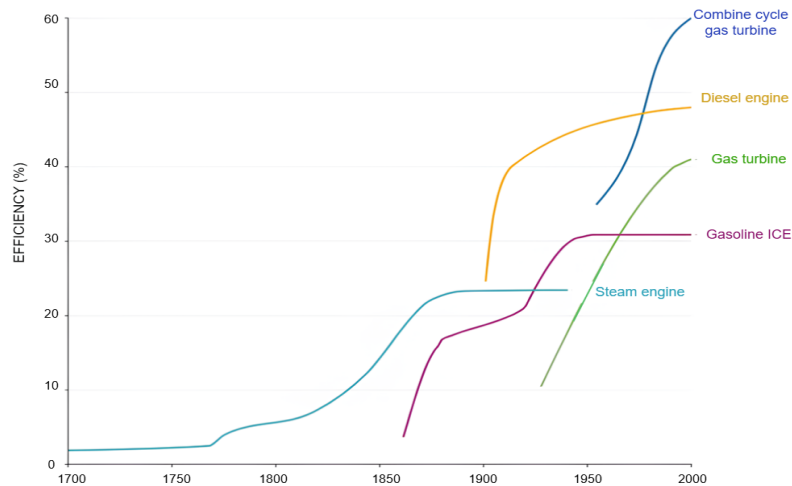


Рисунок 2 – Максимальний ККД двигунів і турбін

Одними з найкращих електролізерів на сьогодні є твердооксидні електролізери (SOEC), які характеризуються здатністю працювати при високих температурах ( $500^{\circ}\text{C}$  –  $850^{\circ}\text{C}$ ), що робить їх найбільш ефективною технологією з усіх. Крім того, вони виготовлені з дешевих та поширених матеріалів (наприклад, оксидів кераміки) [7]. Основною перевагою SOEC перед іншими технологіями електролізу є їх набагато вищий ККД. Вони працюють у термонеутральній точці (1,23 В), внаслідок чого ККД батареї дуже високий. Середнє значення споживання електроенергії під час подачі пари у воду температурою  $150^{\circ}\text{C}$  становить  $40\text{ кВтг/кг}$  і  $45\text{ кВтг/кг}$  з урахуванням підігріву води.

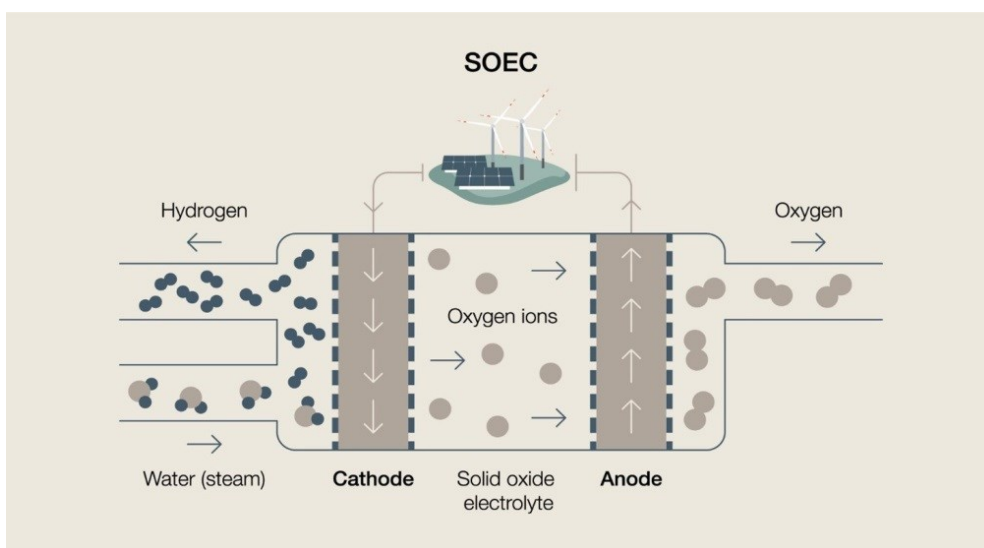


Рисунок 3 – Принцип роботи твердооксидних електролізерів (SOEC)

Така технологія у поєднанні з сонячними панелями дає великі надії, використовуючи сонячну енергію перетворювати її на водень, який у подальшому перетворювати на електроенергію.

нергію. Тобто, наприклад, маючи сонячні панелі потужністю 3 МВт, можна було б виробляти приблизно 66 кг водню на годину, а за умови сприятливої погоди та наявності сонячної енергії впродовж 8 годин – відповідно 528 кг водню, використовуючи технологію твердооксидних електролізерів (SOEC). Окрім того, такі електролізери виробляють не тільки водень, але й кисень, що дозволить більш ефективно перетворювати енергію водню на електричну, а також, використовуючи саме кисень, а не повітря, у якому є присутнім азот, можна також уникнути значних виділень NO<sub>x</sub>, не кажучи про те, що уникаємо й викидів CO<sub>2</sub> та інших токсичних елементів, які присутні у дизельному та інших видах палива.

Вміст енергії водню описується його (нижньою та вищою) теплотворною здатністю. Нижню теплотворну здатність водню можна виразити як 33,33 кВт-год/кг, вища теплотворна здатність становить 39,39 кВт-год/кг [8]. Відповідно маючи ККД у 60% отримуємо близько 20 кВт-год/кг та з 528 кг можна згодом отримати 10560 кВт електроенергії при нижчій теплотворній здатності, або 23,6 кВт-год/кг з 528 кг можна згодом отримати 12460 кВт електроенергії, при вищій теплотворній здатності. Окрім енергії ми отримуємо й пароводяну суміш, яку можна застосувати для безпосереднього використання для твердооксидних електролізерів (SOEC), зменшивши витрати на підігрів води для електролізера. Але відповідно до цього виникає питання зберігання водню. Як і будь який газ, у скрапленому стані, він займає менше місця, що дуже важливо для транспортування. Таке рішення вже існує завдяки судну «Suiso Frontier», яке має резервуар ємністю 1250 м<sup>3</sup> скрапленого водню у вигляді рідини при температурі у -253 °C [9]. У якості рідини водень має щільність 71 кг/м<sup>3</sup> [10]. Відповідно у такому резервуарі зберігається близько 88 750 кг водню. Таким чином, використовуючи газову турбіну комбінованого циклу з урахуванням ККД якої та обчисленими раніше даними, отримуємо, що при значенні у 20 кВт-год/кг з 88 750 кг можна згодом отримати 1 775 МВт електроенергії, при нижчій теплотворній здатності, або ж при 23,6 кВт-год/кг з такої самої маси можна згодом отримати 2 094,5 МВт електроенергії, при вищій теплотворній здатності. Для судна, що споживає 100 МВт на добу, вистачить такого резервуару приблизно на 17 та 20 діб відповідно, без врахування виробництва водню сонячними панелями. Якщо ж врахувати і їх, то за 17 діб додатково буде вироблено приблизно 9000 кг водню, які при перетворенні у електроенергію створять потужність у 180 МВт, чого вистачить приблизно ще на 2 доби ходу судна. Або якщо з урахуванням показника при вищій теплотворній здатності для 20 діб, то отримуємо 10560 кг водню, та 250 МВт електроенергії, чого вистачить, ще на 2,5 доби ходу. При необхідності більшого запасу енергії доведеться встановлювати додаткові резервуари. Беручи до уваги інформацію, стосовно рекордного електролізера з ефективністю у 95%, видання «Newatlas» [11], а також безпосередньо з джерела Австралійської компанії «Hysata» [12], можна спостерігати дуже великі амбіції стосовно використання технології видобутку та використання водню, адже сама компанія заявляє про те, що вже у середині 2020-х років стрибок з виробництва водню буде досить великим, щоб ціна за 1 кг водню сягала 1,5 \$, енергоємність якого втричі більша у порівнянні з дизельним паливом. Для еквівалентного співвідношення потрібно 3 тони дизельного палива загальною вартістю 2700\$, відповідно до 1 тони водню вартістю в 1500\$, тобто вартість за ту саму енергоємність стає меншою у 1,8 разів, окрім цього виграючи й в параметрах екологічності, та з можливістю отримувати енергію з сонячних панелей, що значно підвищує надійність, адже така система живлення є модульною.

**Висновки.** Автори вважають, що при побудові нового судна доцільно використовувати технологію сонячних панелей, також мати на борту судна твердооксидні електролізери (SOEC), які вироблятимуть водень для подальших цілей, та резервуар для нього, зокрема, й використання газової турбіни комбінованого циклу, замість дизельних двигунів внутрішнього згорання, з метою підвищення ККД суднової електроенергетичної системи за рахунок підвищення ККД первинного двигуна.

## ЛІТЕРАТУРА

1. JVG Rama Rao, S. Venkateshwarlu, Shaik Abdul Saleem, Sairaj Arandhakar, Srinu Ruttala, Optimizing solar panel maximum power point tracking and parasitic parameter extraction in partial shading with Enhanced Slime Mold optimization, Measurement: Sensors, Volume 33, 2024, 101163, ISSN 2665-9174, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101163>.
2. Types of Concentrated Solar Collectors and their Advantages & Disadvantages, Doi: <https://www.solarfeeds.com/mag/concentrated-solar-collectors-types-and-their-advantages-disadvantages/>
3. <https://solarpaces.nrel.gov/project/ivanpah-solar-electric-generating-system>
4. <https://www.nrel.gov/research/re-csp.html>
5. <https://visualizingenergy.org/maximum-efficiencies-of-engines-and-turbines-1700-2000/>
6. Ципа, А. В. Шляхи підвищення показників ефективності, надійності та економічності роботи суднової електроенергетичної системи / А.В. Ципа, І.М. Гвоздева // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.72-76. <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>.
7. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2023/ta/d3ta02161k>
8. [https://www.enapter.com/newsroom/kb\\_post/what-is-the-energy-content-of-hydrogen#:~:text=higher\)%20heating%20value,-.The%20lower%20heating%20value%20of%20hydrogen%20can%20be%20expressed%20as,kg%20or%203.54%20kWh%20FNm%C2%B3](https://www.enapter.com/newsroom/kb_post/what-is-the-energy-content-of-hydrogen#:~:text=higher)%20heating%20value,-.The%20lower%20heating%20value%20of%20hydrogen%20can%20be%20expressed%20as,kg%20or%203.54%20kWh%20FNm%C2%B3).
9. <https://www.hydrogenenergysupplychain.com/about-the-pilot/supply-chain/the-suiso-frontier/>
10. <https://demaco-cryogenics.com/blog/energy-density-of-hydrogen/>
11. [https://newatlas.com/energy/hysata-efficient-hydrogen-electrolysis/?itm\\_source=newatlas&itm\\_medium=article-body](https://newatlas.com/energy/hysata-efficient-hydrogen-electrolysis/?itm_source=newatlas&itm_medium=article-body)
12. <http://hysata.com/news/hysatas-electrolyser-breaks-efficiency-records-enabling-world-beating-green-hydrogen-cost/>

УДК 629.12.018

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ РЕЖИМІВ ГОРІННЯ ПАЛИВА В СУДНОВИХ КОТЛАХ

В.С. Михайленко, д.т.н., професор

О.А. Вдовиця, курсант

В.В. Лещенко, ст. викладач

Національний університет “Одеська морська академія”

**Анотація:** Ефективне управління процесами горіння палива в суднових котлах є важливим аспектом для підвищення енергоефективності суден, зменшення витрат палива та зниження рівня шкідливих викидів в атмосферу. Ця доповідь присвячена розробці інтелектуальної системи контролю режимів горіння, яка інтегрує сучасні методи обробки даних та алгоритми машинного навчання для оптимізації процесу горіння. Очікується, що впровадження такої системи підвищить рівень автоматизації та екологічної безпеки на морських суднах.

**Ключові слова:** інтелектуальна система, контроль горіння, судновий котел, енергоефективність, машинне навчання, автоматизація, екологічна безпека.

## INTELLIGENT CONTROL SYSTEM OF FUEL BURNING MODES IN SHIP'S BOILERS

V. Mykhailenko, Dr. of Science, Professor

O. Vdovytsia, Student

V. Leshchenko, Senior Lecturer

National University "Odesa Maritime Academy"

**Abstract:** *Effective management of fuel combustion processes in ship boilers is an important aspect for increasing the energy efficiency of ships, reducing fuel consumption and reducing the level of harmful emissions into the atmosphere. This report is devoted to the development of an intelligent combustion mode control system that integrates modern data processing methods and machine learning algorithms to optimize the combustion process. It is expected that the implementation of such a system will increase the level of automation and environmental safety on sea vessels.*

**Keywords:** *intelligent system, combustion control, marine boiler, energy efficiency, machine learning, automation, environmental safety.*

**Введення:** В сучасній судноплавній галузі енергоефективність є критичним фактором, що впливає на економічну життєздатність суден та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Традиційні системи управління процесами горіння у суднових котлах часто характеризуються недостатньою адаптивністю до змінних умов роботи та потребують значних зусиль для підтримки оптимальних параметрів [1-5]. Саме тому впровадження інтелектуальних систем контролю режимів горіння є важливим кроком на шляху до модернізації суднових енергетичних установок.

**Основні елементи інтелектуальної системи контролю:** інтелектуальна система контролю складається з кількох ключових компонентів, включаючи датчики, програмне забезпечення для аналізу даних та виконавчі механізми. Датчики встановлюються на критичних вузлах котлів та збирають інформацію про такі параметри, як температура палива, рівень кисню в димових газах, тиск та швидкість потоку повітря. Отримані дані надходять до центрального модуля обробки інформації, який використовує алгоритми машинного навчання для аналізу (рис.1).

Основною функцією програмного забезпечення є створення прогнозних моделей зміни контрольованих параметрів. Завдяки машинному навчанню ці моделі можуть бути вдосконалені на основі статистичних даних про експлуатацію суднового парового котла та змінювати свої рішення у відповідь на зміну умов. Це забезпечує адаптивність та точність системи при підтриманні оптимального режиму горіння.

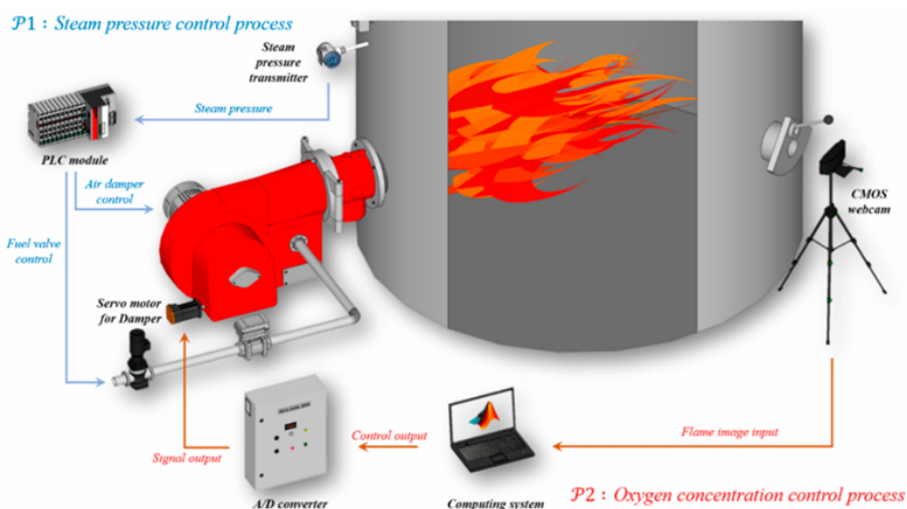


Рисунок 1 - Схема експерименту по збору даних о процесі горіння палива в топці суднового котла.

**Моделі та алгоритми машинного навчання:** для роботи інтелектуальної системи можуть бути використані різні алгоритми, включаючи регресійні моделі, нейронні мережі та методи кластеризації. Наприклад, нейронні мережі здатні аналізувати великі обсяги даних і знаходити складні залежності між параметрами горіння. Використання таких моделей дозволяє передбачити, як зміняться параметри горіння за зміни умов навколишнього середовища або складу палива. Алгоритми кластеризації можуть бути корисні для сегментації даних та виділення патернів у поведінці котлів під час різних робочих режимів [1,6].

**Можливі переваги інтеграції інтелектуальної системи контролю процесу горіння палива.** Впровадження інтелектуальної системи контролю режимів горіння на суднових котлах має низку суттєвих переваг. По-перше, підвищується енергоефективність роботи судна, оскільки система автоматично підтримує оптимальніший режим горіння. Це дозволяє зменшити витрати палива та знизити витрати на експлуатацію судна. По-друге, інтеграція системи автоматизації допомагає зменшити навантаження на обслуговуючий персонал та мінімізувати людський фактор, що знижує ризик помилок.

Значною перевагою є також зниження обсягів шкідливих викидів, таких як оксиди азоту та вуглекислий газ. Згідно з дослідженнями, інтелектуальна система контролю може зменшити викиди на 10-15% у порівнянні з традиційними методами управління [4-6]. Це має важливе значення в умовах посилення міжнародних норм і стандартів щодо викидів шкідливих речовин.

#### **Інтеграція з існуючими системами автоматизації**

Інтелектуальна система контролю режимів горіння має бути сумісною з наявними автоматизованими системами управління судовими установками. Це забезпечить простоту інтеграції без необхідності значної модернізації інших систем. У результаті судовласники отримують можливість впроваджувати новітні технології без значних капіталовкладень.

**Висновки.** Впровадження інтелектуальної системи контролю режимів горіння палива в судових котлах є важливим етапом на шляху до підвищення енергоефективності та екологічної безпеки морських суден. Застосування сучасних методів машинного навчання та автоматизації сприяє зниженню витрат на паливо, підвищенню надійності роботи судових систем та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Mikhailenko V. S., Kharchenko R. Yu. Analysis of Traditional and Neuro Fuzzy Adaptive System of Controlling the Primary Steam Temperature in the Direct Flow Steam Generators in Thermal Power Stations / V. S. Mikhailenko, R. Yu. Kharchenko // *Automatic Control and Computer Sciences*. – 2014. – Vol. 48, No. 6. – P. 334–344. DOI:10.3103/S0146411614060066
2. Wang, Y., & Zhang, L. "Intelligent Control of Marine Boiler Combustion Process Using Machine Learning Algorithms." *Journal of Marine Engineering and Technology*, vol. 25, no. 3, 2021, pp. 115-126.
3. Smith, J. A., & Evans, R. T. *Marine Boiler Combustion Control for Improved Efficiency*. Springer, 2022.
4. Kuo B. S. *Automatic Control Systems* / Benjamin C. Kuo. – 9th ed. – New York : John Wiley & Sons, 2010. – 1104 p.
5. Technical specifications of auxiliary and utilization boilers of the brands: KAV, KUP, Clayton, Zafa, Hitachi, Mitsubishi. URL: <http://shippervice.com.ua/>.
6. Zhang Y., Chen Z. Q., Yang P., Yuan Z. Z. Neural network-based PID predictive control for nonlinear time-delay systems / Y. Zhang, Z. Q. Chen, P. Yang, Z. Z. Yuan // *Proceedings of International Conference on Machine Learning and Cybernetics*. – 26–29 Aug. 2017. – Vol. 2. – P. 1014–1018. doi:10.1109/ICMLC.2004.1382336

УДК 629.5.064:621.314

## ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУДНОВИХ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЄЮ

**С.Ф. Самонов**, к.т.н., доцент,  
**В.О. Дубовик**, ст. викладач,  
**А.А. Кульбацький**, к.т.н., ст. викладач  
Національний університет «Одеська морська академія»  
**С.А. Дудко**, **електромеханік**

***Анотація:** У роботі розглянуті питання підвищення енергоефективності та надійного забезпечення суднових споживачів електроенергією. Представлена функціональна схема гібридного судна-постачання платформи (platform supply vessel - PSV), яке використовує акумуляторні батареї та дизель-генератори в різних режимах роботи суднової електростанції, а також розглянута сучасна гібридна енергосистема.*

***Ключові слова:** азипод, акумуляторні батареї, енергоефективність, енергозабезпечення, гібридні системи, динамічне позиціонування, дизель-генератор.*

## IMPROVING ENERGY EFFICIENCY AND RELIABILITY OF ELECTRICITY SUPPLY TO SHIPPING CONSUMERS

**S. Samonov**, PhD, Assistant Professor  
**V. Dubovyk**, Senior Lecturer  
**A. Kulbatsky**, PhD, Senior Lecturer  
National University Odessa Maritime Academy  
**С.А. Дудко**, Electrical Technical Officer

***Abstract:** The work deals with the issues of increasing energy efficiency and reliable supply of ship consumers with electricity. The functional scheme of the hybrid platform supply vessel, which uses batteries and diesel generators in various operating modes of the ship's power plant, is presented and a modern hybrid energy system is also considered.*

***Key-words:** azipod, batteries, energy efficiency, energy supply, hybrid systems, dynamic positioning, diesel-generator.*

Питання доцільного використання енергоресурсів в галузях промисловості завжди є актуальними, але це стосується також водного транспорту. Крім того, підвищення енергоефективності морського та річкового флоту дає можливість економити паливо-мастильні матеріали та зменшувати викиди шкідливих речовин. Це сприяє покращенню екології навколишнього середовища та збереженню природних копалин.

Потужність суднового електрообладнання на сучасних та спеціалізованих судах зростає завдяки використанню електричного руху як основного, так і допоміжного, збільшенню кількості різноманітних електроприводів з системами управління, систем DP (динамічного позиціонування). Електроенергетична система має оперативне та своєчасно реагувати на будь-які зміни режимів роботи судна, бути надійною та мати високий рівень живучості. В даний час системи розподілу електроенергії переважно використовують для суднових систем живлення змінний струм низької LVAC (low voltage alternating current, до 1000 В) або середньої напруги MVAC (medium voltage alternating current) [1].

Одним зі шляхів підвищення енергоефективності електроенергетичних систем являється спільне використання дизель-генераторів з акумуляторними батареями [2,3,4,5]. Застосування їх спільного використання дає можливість обирати оптимальний режим роботи суднової електростанції (СЕС), а саме від роботи дизель-генераторів, а у разі виникнення додат-



кового навантаження компенсувати за рахунок акумуляторних батарей (АБ). Таким прикладом може служити однолінійна схема системи електричного розподілу, яка застосована на судні «Seacor Demerara» (рис. 1), де потужність АБ складає 300 кВт.

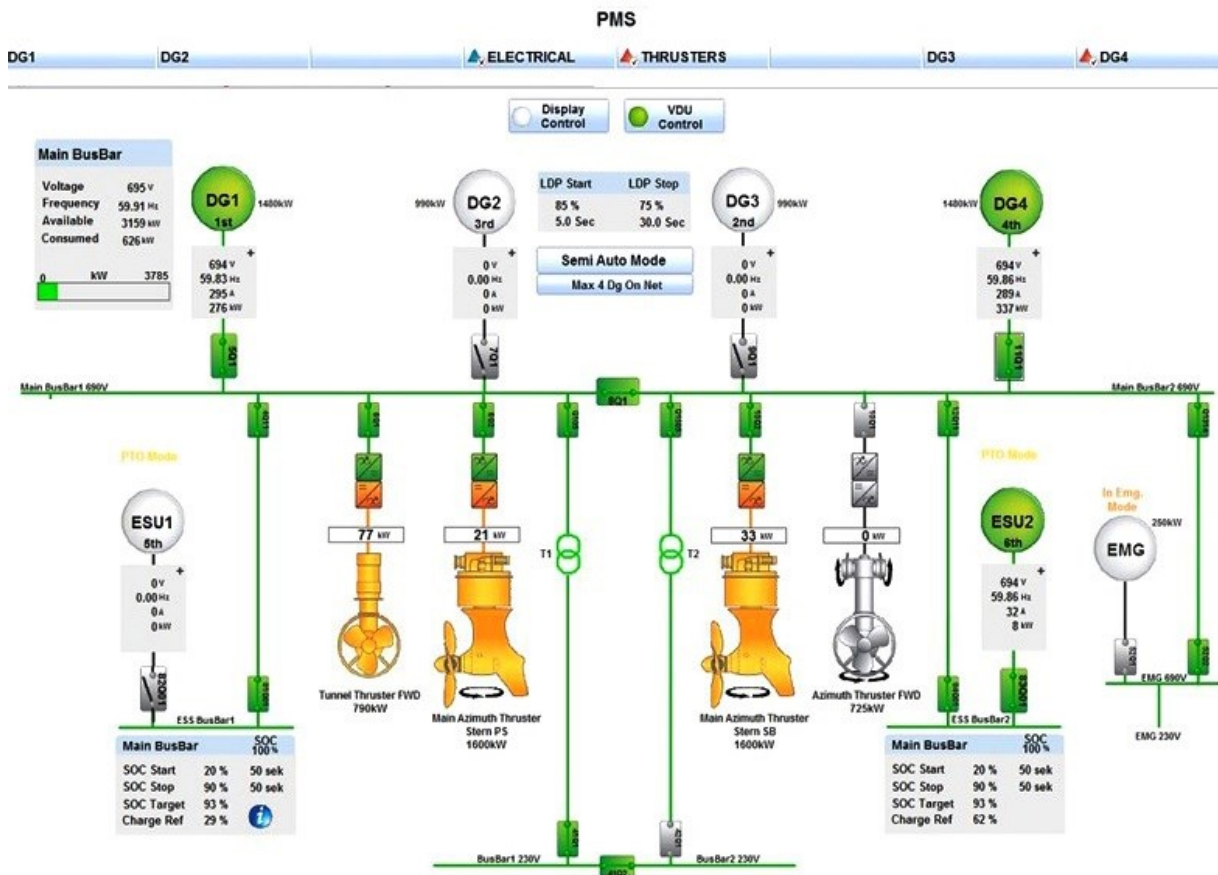


Рисунок 1 – Однолінійна схема гібридної системи електричного розподілу судна-постачання

Крім того, використання АБ дозволяє підвищити надійність живлення суднових відповідальних споживачів електроенергії в період знеструмлення судна. В даному випадку можна передбачити застосування АБ для аварійного живлення електрообладнання, а також спільної роботи з аварійним ДГ.

При натисканні на мнемосхемі позначення «ESU (Energy Storage Unit)», яка зображена на моніторі керування електроенергетичною системою (Power Management System – PMS) відкривається вікно, у якому можливо обирати різні режими використання та накопичення енергії в акумуляторах ESU (рис.2).

Основним режимом ESU, який слід використовувати при динамічному позиціонуванні судна, є PTO (Power Take Off). В цьому режимі PMS буде заряджати акумулятори таким чином, щоб навантаження приводних двигунів працюючих дизель-генераторів (ДГ) було близьким до 80%. Цим, як відомо, забезпечують близьке до мінімуму питоме споживання палива. Якщо навантаження ДГ перевищує 80%, то PMS буде компенсувати надлишок за рахунок енергії акумуляторів. У випадку, коли навантаження СЕС стає низьким, акумулятори будуть заряджатися до 100% і на мнемосхемі монітора буде зображення «Main BusBar – SOC 100%» та батареї будуть знаходитись в режимі «очікування» або готовності (Stand-By) для використання при будь-яких змінах навантаження СЕС.



Рисунок 2 – Режими стану АБ

Завдяки встановленим АБ, які розміщуються в контейнері на судні (рис.3), можна забезпечувати електроенергією суднові споживачі. Розміщення літій-іонних батарей в контейнері представлено на рисунку 4.

Потужність АБ та кількість може залежати від призначення судна, потужності генераторних агрегатів та електрообладнання, а також від потужності аварійного ДГ. Розташування контейнера на судні планується при його проектуванні та обумовлене його розмірами.



Рисунок 3 – Загальний вигляд контейнера з АБ



Рисунок 4 – Розташування АБ в контейнері

Таким чином, застосування АБ в складі гібридної системи електричного розподілу судна дає можливість підвищення ефективності роботи СЕС та надійного забезпечення споживачів електроенергією.

Останні досягнення у вдосконаленні технології АБ та їх безпечного застосування створюють перспективи для використання їх на суднах, як основних та аварійних джерел енергії [5,6].

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Власов В.Б. Перспективи використання постійного струму для електроживлення сучасних об'єктів морської індустрії / В.Б. Власов., О.В. Глазева, С.Ф. Самонов, В.О. Дубовик // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.43-50 <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>
2. <https://www.offshore-energy.biz/new-contract-to-bring-solstad-psv-a-battery-hybrid-system/>
3. <https://www.linkedin.com/pulse/hybrid-platform-supply-vessels-psv-market-research-global-qt4ve>
4. <https://www.danfoss.com/uk-ua/service-and-support/case-studies/dds/battery-retrofit-saves-fuel-and-improves-air-quality/>.
5. Самонов С.Ф. Підвищення надійності енергозабезпечення річкових суден при проходженні мостів / С.Ф. Самонов, В.О. Дубовик, А.А. Кульбацький // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.92-95 <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>
6. С.Ф. Самонов, А.А. Кульбацький, В.А. Дубовик Перспективы использования твердотельных аккумуляторных батарей на судах/ Матеріали науково-методичної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.12.2018 - 06.12.2018. – Одеса: НУ «ОМА», 2018. – С.78-80. <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2018.05.11.18.pdf>

УДК 621.362.2

### ПРИНЦИП ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ МОДУЛІВ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОГО ПРОСТОРУ

**О.В. Кочетков**, к.т.н., доцент

Одеський національний морський університет

**Р.Ю. Харченко**, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

*Анотація:* в роботі представлено принцип використання сонячних модулів в умовах обмеженого простору. Використання даного принципу дозволить будувати гнучкі, системи, компактно розмістивши сонячні модулі в герметичних контейнерах. Це дозволить розширити використання сонячних систем на практиці значно зменшити витрати на обслуговування і зменшити займану площу, розміщуючи контейнери з сонячними модулями в будь-якому зручному місці, в тому числі і під водою, або під землею.

*Ключові слова:* сонячні модулі, модульна сонячна система, фотоелектричні перетворювачі, відновлювані джерела електричної енергії.

### THE PRINCIPLE OF USING SOLAR MODULES IN CONDITIONS OF LIMITED SPACE

**O.V. Kochetkov**, PhD, Assistant Professor

Odessa National Maritime University

**R.Yu. Kharchenko**, PhD, Assistant Professor

National University "Odessa Maritime Academy"

*Abstract:* the paper presents the principle of using solar modules in conditions of limited space. The use of this principle will make it possible to build flexible systems by compactly placing solar modules in air-

*tight containers. This will allow to expand the use of solar systems in practice, significantly reduce maintenance costs and reduce the occupied area, placing containers with solar modules in any convenient place, including underwater or underground.*

**Keywords:** *solar modules, modular solar system, photovoltaic converters, renewable sources of electrical energy.*

Нині, як правило, будь-яка діяльність потребує використання електричної енергії. Основними джерелами електричної енергії, що використовується споживачами є: атомна енергія (АЕС), енергія води (ГЕС) та тепла (ТЕС).

Як відомо, всі перелічені джерела енергії мають свої переваги та недоліки, які ускладнюють або в деяких випадках, навіть не дозволяють їх використовувати як первинні джерела електричної енергії для живлення споживачів, що знаходяться в важко доступних місцях або особливих умовах. Наприклад це стосується ретрансляторів стільникового зв'язку, які споживають незначну потужність переважно у світлий час доби. Тому можна зробити висновок, що в даному випадку використання сонячної енергії дозволяє заощадити паливно-енергетичні ресурси, не завдаючи практично ніякої шкоди навколишньому середовищу. Сонячні установки, як альтернатива, майже не вимагають експлуатаційних витрат, не потребують ремонту та вимагають витрат лише на їх спорудження та підтримання у чистоті. Однак, маючи тривалий термін служби і будучи екологічно чистими, ці сонячні системи мають досить високу вартість виробництва, але їх використання економічно доцільне завдяки тривалому терміну їх експлуатації.

Наприклад, сьогодні великі фірми монтують на дахах виробничих будівель станції потужністю, що покривають потреби підприємства енергії на 50-70 % [1].

Однак на сьогоднішній день існує серйозна проблема реалізації цих проектів. По-перше, за умов густої міської забудови відчувається дефіцит корисних площ, придатних розміщувати сонячних модулів. Деякі споруди зовсім не придатні для встановлення зверху сонячних модулів без спеціальної модернізації, що потребує чималих вкладень. А також періодичне технічне обслуговування (чистка, ремонт та заміна) сонячних панелей на дахах висотних будівель потребує спеціальної підготовки персоналу [2].

Крім того, велику роль у таких системах відіграє довжина струморозподільної мережі постійного струму. І тому, щоб знизити втрати при передачі електричної енергії постійного струму, необхідно зменшити довжину силових кабелів. Для цього доведеться встановлювати перетворювальну техніку (сонячні контролери, акумуляторні батареї та інвертори) якомога ближче до сонячних модулів.

Тому в роботі, для підвищення ефективності використання сонячних модулів в умовах обмеженого простору запропоновано будувати сонячну систему за модульним принципами. Структурна схема модульної сонячної системи приведено на рисунку 1.

Для усунення обмежень простору, що стримують широке використання відновлювальних джерел енергії на базі сонячних модулів запропоновано принципово новий метод організації такої системи (рисунок 1). Суть даного методу полягає в тому, що деяка кількість ( $n$ ) сонячних панелей разом з електроперетворювальним і розподільним обладнанням (контролери сонячних панелей – 8) для заряду і захисту акумуляторних батарей (АБ) можуть компактно розміщуватися в герметичних контейнерах - 7. Такі герметичні контейнери є перетворювальними модулями, можуть бути об'єднані в систему з  $n$  взаємодіючих контейнерів у складі так званої модульної сонячної системи (рис. 1.).

Ця система складається з відносно невеликого світлоприймача сонячного світла, що розташовано у зручному відкритому сонячному місці з максимальною освітленістю сонцем.

Цей світлоприймач 1 збирає сонячне світло та передає його за допомогою оптичної лінії передачі (світловода) 3 до контейнера 5 із сонячними модулями 7. У герметичних контейнерах 5 за допомогою світлорозподільних пристроїв 6 світловий потік ефективно розподіляється між усіма фотоелементами сонячних модулів 7.

Таким чином можна побудувати масштабовану (гнучку) систему з таких контейнерів 5, які можуть підключатися через оптичний вхід 4 до оптичного світловоду 3, що йде від світлоприймача 1.

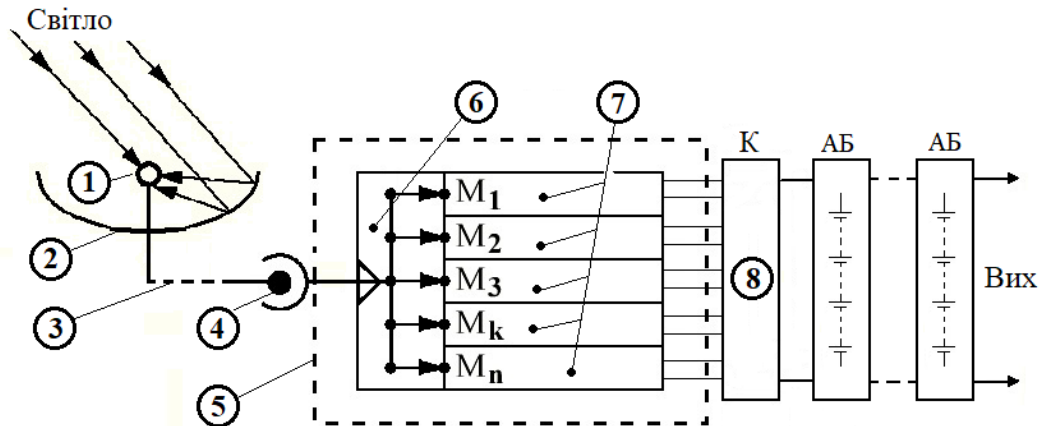


Рисунок 1 – Структурна схема сонячної системи

Завдяки герметичності контейнерів, сонячні модулі не схильні до зовнішніх агресивних умов і не потребують обслуговування. Так само при їх щільному розміщенні можна отримати високу питому потужність, що отримується з одиниці об'єму контейнерів. При цьому контейнери займають відносно мало місця і можуть бути розміщені в будь-якому зручному місці (у тому числі і під землею, або під водою) заощаджуючи корисну площу.

Для підвищення ефективності рекомендується спільно зі світлоприймачем використовувати концентратори сонячної енергії 2 (наприклад, у вигляді рухомих дзеркал), що спрямовують сонячне світло на світлоприймач 1.

**Висновки.** Таким чином можна відзначити, що вирішення питань побудови сонячних систем в умовах обмеженого простору сприятиме широкому їх використанню на практиці. Сприятиме вирішенню питань економічності сонячної енергетики, використовуючи технологію перетворення енергії сонця, що швидко дешевшає, в електрику можна здешевити частку енергії у вартості послуг (продукції), при цьому покращити екологічну обстановку.

Економічність цього виду енергоресурсів має порівнюватися з тими видами енергії, які використовуватимуться в тих же масштабах у майбутньому. Спостерігаючи за динамікою цін за минулі роки, видно, що вартість фотоелектричних перетворювачів (сонячних модулів) знижується. Також нині спостерігається тенденція зниження споживаної потужності сучасним електронним обладнанням [3]. Це все також сприятиме подальшому розвитку технологій відновлюваних джерел електричної енергії і їх широкому застосуванню на практиці.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Олійник М. Й., Лисяк В. Г., Дудурич О. Б. Енергоощадність та альтернативні джерела енергії. Навчальний посібник / Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. 184 с.
2. Kharchenko R. Efficiency increasing of the ergatic control systems on ships / Kharchenko R., Kochetkov O. // The X th International scientific and practical conference «Trends in the development of modern scientific thought» November 23-26, – Vancouver, Canada, 2020, p. 682
3. Kharchenko, R. Y., Kochetkov, A. V., & Mikhaylenko, V. S. (2022). Analysis of methods for automated research of DC voltage converters of modular structure. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (3), 7. P. 7-21.

## Секція 4. СУЧАСНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, КОМПОНЕНТИ ТА ДІАГНОСТИКА

УДК 629.56.064.5+620.9+629.5

### РОЗВИТОК СИСТЕМ ПРОГНОЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ МОРСЬКОГО БАЗУВАННЯ

**Д.А. Філімонов**, здобувач другого рівня вищої освіти  
**В.В. Будашко**, д.т.н., професор  
Національний університет «Одеська морська академія»

**Анотація:** Автоматизоване маневрування суден в стиснутих умовах зазвичай вимагають стовідсоткового резервування підруючих пристроїв (ПП) різних модифікацій та розташування. Ієрархія системи керування рухом (СКР) зазвичай розділена на кілька рівнів за допомогою високорівневого контролера руху та алгоритму розподілу управління двигунами ПП. Це дозволяє створити модульну конструкцію програмного забезпечення, де контролер високого рівня (КВР) можна спроектувати без використання вичерпної інформації про двигуни ПП, а питання розгалуження вхідного сигналу та обмеження швидкості обробляються СКР. Для певного набору конфігурацій ПП таке від'єднання може призвести до зниження продуктивності керування через обмеженість даних КВР щодо фізичних обмежень судна та поведінку СКР.

У статті досліджуються різні підходи до покращення продуктивності керування з використанням нелінійного прогнозованого керування моделлю (МРС) як основи для розроблених контролерів руху через його оптимізоване рішення та здатність враховувати обмеження. По-перше, реалізується відокремлена система та надаються результати для двох простих рухових завдань, що показують проблеми, пов'язані з роз'єднанням. Після цього застосовуються два різні підходи для усунення виявлених недоліків. Розроблено нелінійний контролер МРС, який поєднує контролер руху та розподілу управління двигунами ПП, що призводить до більш надійної системи керування. Потім, для збереження модульності системи керування, проводиться дослідження можливих шляхів розширення відокремленої системи для досягнення адекватної продуктивності, на кшталт комбінованих систем. Одним із запропонованих рішень є нелінійний контролер МРС із змінними в часі обмеженнями, які враховують поточні обмеження системи управління ПП, що дозволить збільшити точність управління та зменшити час відгуку системи на 10 %.

**Ключові слова:** судновий пропульсивний комплекс, прогнозне керування, підруючі пристрої, діагностика, диспетчер високого рівня.

### DEVELOPMENT OF PREDICTIVE CONTROL SYSTEMS FOR MARINE-BASED VEHICLES

**D.A. Filimonov**, second-level graduate of higher education  
**V. Budashko**, Dr. of Science, Professor  
National University "Odessa Maritime Academy"

**Abstract:** Automation of ship maneuvering in limited sailing conditions usually requires 100% redundancy of thrusters (THR) of various modifications and their locations in accordance with the matrix. The hierarchy of the motion control system is branched by levels using high-level motion controllers and THR control distribution algorithms, which allows for a modular design with software, where the high-level controller (HLC) can be designed without comprehensive information about the thruster motors, and the input signal branching and speed limits are handled by the motion controller. But, for certain THR configurations, this branching leads to the decrease in control efficiency due to the limitation of data on the physical characteristics of the ships and the operation of the motion controller.

This research examines different approaches to improving control efficiency using methods of nonlinear predictive control models as a basis for developing motion controllers with decision optimization based on relevant constraints. The implemented branched system is the result of solving two simple problems of

ship's motion, which highlight the related problems. The use of different approaches to eliminate the identified shortcomings made it possible to develop the nonlinear controller that combines the motion controller with distributed control of the THR and ensuring the certain level of system reliability. The modularity of the control system is provided by the expansion of the closed system, which made it possible to achieve an increase in efficiency during the combined mode of operation. The obtained solution of nonlinear control with time-varying constraints made it possible to increase the accuracy of the control with a decrease in the duration of the pause in response to the change of the disturbance within 10%.

**Keywords:** ship propulsion complex, predictive control, thrusters, diagnostics, high-level controller.

Методологія застосування нелінійного прогнозованого управління (англ. *Model Predictive Control – MPC*) все більше використовуються як основа в системах управління рухом комбінованих пропульсивних комплексів (КПК) морських суден з підрулючими пристроями [1-3].

Основні аспекти сучасного стану розвитку нелінійного прогнозованого управління включають:

- актуальні тематичні дослідження та робочі приклади, які демонструють методи застосувати моделювання та керування дизайном щодо власних проєктів;
- репозиторій *GitHub* зі *MatLab*-сценаріями та набором інструментів відповідних інструментів, сумісним з останніми версіями програмного забезпечення від *Mathworks*;
- новий вміст математичного моделювання, включаючи моделі для суден і підводних апаратів, гідродинаміки, керуючих сил та моментів;
- нові методи орієнтації та навігації, включаючи закони навігації прямої видимості (англ. *line of sight – LOS*), сенсорні системи, навігаційні системи на основі моделей та інерційні навігаційні системи.

Судна, працюючи в режимі *DP*, для утримання позиції застосовують найбільшу кількість ПП, що призводить до перевантаження суднової електроенергетичної системи або її неефективного використання. Це відбувається, з одного боку, внаслідок забезпечення точного позиціонування, а з іншого – за рахунок надмірного резервування потужності на випадок відмови одного чи кількох ПП [4-8].

Розширюючи робочий простір традиційних *DP*-систем, наприклад, щоб включити автоматизоване швартування та постановку у док для танкерів або низьку швидкість руху пасажирських поромів, необхідно адаптувати ці системи для нового переліку суден. Ці судна, як правило, розробляються без надлишкової енергооснащеності і можуть бути не такими маневровими, на відміну від суден, що підтримують *DP*. Це означає, що система керування має краще використовувати доступну енергоефективність, забезпечуючи як вищий рівень автоматизації для широкого спектру суден, так і підвищення енергоефективності судна із системою *DP* [9-12].

Основною проблемою на сьогодні залишається забезпечення енергоефективного управління рухом судна на низькій швидкості в горизонтальній площині із використанням контролера прогнозованого управління високого рівня [13-15].

Об'єктом дослідження є транспортний засіб морського базування (ТЗМБ) із 6-ма ступенями свободи, що рухається у відповідності до законів, описаних наведено у таблиці 1. На рис. 1 показано огляд загальної ієрархії для автоматизованих суден.

Основною гіпотезою дослідження є припущення покращення точності утримання ТЗМБ, який працює в режимі динамічного позиціонування, за рахунок застосування методів та інструментів прогнозованого управління із використанням контролера високого рівня.

Для дослідження режиму динамічного позиціонування, загальна модель, що описує динаміку судна представлена виразами:

$$\dot{\eta} = v \quad (1)$$

$$M\dot{v} + D(v)v + g(\eta) = \tau, \quad (2)$$

де (1) описує кінематику ТЗМБ, а (2) описує кінетику. Матриця  $J(\eta) \in \mathbf{R}^{6 \times 6}$  є матрицею

перетворення, тоді як матриці  $M \in R^{6 \times 6}$ ,  $C(v) \in R^{6 \times 6}$  та  $D(v) \in R^{6 \times 6}$  описують інерційність приєднаних мас, сили Коріоліса та демпфування транспортного засобу відповідно. Вектор  $g(\eta) \in R^6$  описує відновні сили, що діють на транспортний засіб за рахунок плавучості та гравітації. У правій частині (2)  $\tau \in R^6$  є вектором сил і моментів, що створюються виконавчими механізмами підрулюючих пристроїв та факторами зовнішнього середовища (вітер, хвилі, течія) та діють на ТЗМБ впродовж певного експлуатаційного режиму [16-18]:

$$\tau = \tau_c + \tau_{env}, \quad (3)$$

де  $\tau_c$  – керуючі сили та моменти, а  $\tau_{env}$  – сили та моменти, що виникають внаслідок збурень довкілля.

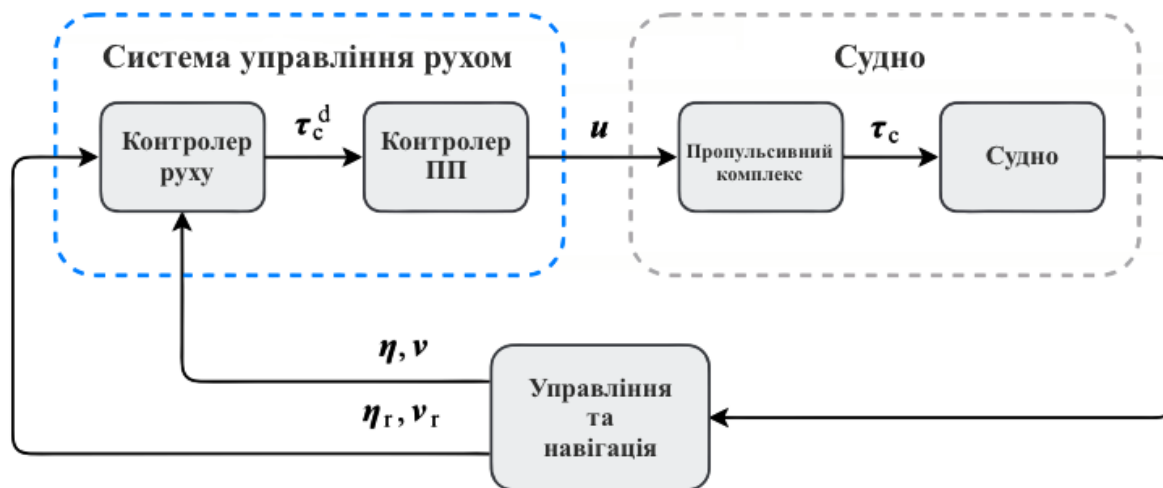


Рисунок 1 – Ієрархічна структура суднової автоматизованої системи управління рухом

Таблиця 1 – Система параметрів або змінних для різних DOF судна або підводного апарату

№ з/п	DOF	Визначення параметра або змінної	Опис
1	6	$\eta = [xyz\phi\Theta\psi]^T \in R^6$	Орієнтація ТЗМБ за 6 ступенями свободи, заданим положенням і кутами Ейлера в інерційній системі
2		$v = [xyzpqr]^T \in R^6$	Лінійна та кутова швидкості в нерухомій системі координат тіла
3		$\tau = [XYZKMN]^T \in R^6$	Декомпозиція сил і моментів для нерухомої системи координат тіла
4	3	$\eta = [xy\psi]^T \in R^3$	Горизонтальна орієнтація із 3 ступенями свободи, задана декартовою позицією $(x, y)$ і курсового кута $\psi$
5		$v = [uvr]^T \in R^3$	Швидкості судна в нерухомій системі координат під час прямолінійного руху $(u)$ , хитавиці $(v)$ і нишпоренні $(r)$ відповідно
6		$\tau = [XYN]^T \in R^3$	Сили та моменти в системі координат, закріпленій за тілом, під час прискорень $(X)$ , коливань $(Y)$ та поворотів $(N)$ відповідно.

Положення та курс  $\eta$  судна вимірюється в  $\{n\}$ , тоді як швидкості  $v$  і сили  $\tau$  будуть розкладені в  $\{b\}$  (рис. 2). Це є підставою для суто геометричних перетворення матриць у (2), які в результаті зводиться до:



(4)

у 3-DOF, де  $R(\psi) \in \mathbf{R}^{3 \times 3}$  є матрицею, що обертається, заданою

$$R(\psi) \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Кінетика описує рух тіла під дією сил і моментів. Модель кінетичного руху ТЗМБ можна вивести за допомогою механіки твердого тіла та теорії гідродинаміки [19, 20]. При розгляді руху ТЗМБ у 3-DOF, (2) разом із (3) зводиться до:

$$M\dot{v} + D(v)v = \tau_c + \tau_{env}, \quad (6)$$

де  $M, C(v)$  і  $D(v) \in \mathbf{R}^{3 \times 3}$ .

З метою проектування контролера часто зручно працювати з лінійними моделями [21, 22]. Для обмежень щодо низьких швидкостей і з урахуванням квадратичної залежності непостійних членів у  $C(v)$  і  $D(v)$ , рівняння (6) можна спростити до лінійного динамічного рівняння:

$$M\dot{v} = \tau_c + \tau_{env}. \quad (7)$$

Якщо припустити, що ТЗМБ є симетричним у площині  $x_b z_b$  із початком координат  $\{b\}$ , що співпадає із центром тяжіння, то відповідні матриці, як правило, мають наступну структуру [23-25]:

$$M = \begin{bmatrix} \times & 0 & 0 \\ 0 & \times & \times \\ 0 & \times & \times \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} \times & 0 & 0 \\ 0 & \times & \times \\ 0 & \times & \times \end{bmatrix} \quad (8)$$

таким чином, що поступальний рух відокремлюється від хитавиці та нишпорення. Матричні елементи в  $M$  впливають з механічних властивостей конкретного ТЗМБ, таких як маса та інерція, а також з гідродинаміки, яка описує поведінку приєднаних мас води, тоді як елементи в  $D$  є чисто похідними від гідродинаміки [26, 27].

Об'єднавши динамічну модель (6) та (7) з (8) разом із обмеженнями, нелінійний безперервний час закону оптимального управління сформулюється наступним чином:

$$\begin{aligned} \min_{u_\tau} \int_0^{T_s N} & \left( \|\eta - \eta_r\|_{Q_\eta}^2 + \|v - v_r\|_{Q_v}^2 + \|\tau_c^d\|_{Q_\tau}^2 + \|u_r\|_{Q_{dt}}^2 \right) dt \\ \text{s.t.} & \quad \cdot \\ M \cdot & \quad \cdot \\ \cdot & \quad \tau_c^d + \tau_a \\ \cdot & \quad \cdot \\ \underline{\tau}_c^d \leq \tau_c^d \leq \bar{\tau}_c^d & \\ \underline{u}_\tau \leq u_\tau \leq \bar{u}_\tau, & \end{aligned} \quad (9)$$

де отримання кінцевого значення передбачає ті ж самі умови, що й проміжні.

Проміжні функції у (9) дозволяють змінювати час на  $\eta$  і  $\nu$ , тоді як величина узагальненої сили та її швидкість відповідно корегуються. Вагові матриці  $Q_x$  можуть бути змінені в залежності від стратегії управління [28]. Наприклад, якщо потрібно рухатися за траєкторією, курс  $\psi$  і повздовжній рух  $u$  можуть бути точніше скореговані, одночасно корегуючи вагові коефіцієнти  $\tau_c^d$  за відповідними висями  $(x, y)$ . Обмеження у (9) визначають динамічну модель і обмежують величину та швидкість узагальненої сили  $\tau_c^d$ .

Ефективність керування перевіряється в моделюванні з використанням відповідної моделі багатофункціонального пропульсивного комплексу для варіанту роботи двох ПП типу *Azipod*<sup>®</sup>, максимально рознесеними відносно діаметральної площини судна (рис. 2). Результати підсумовані на рис. 6, де візуалізовано рух моделі у двох напрямків [29].

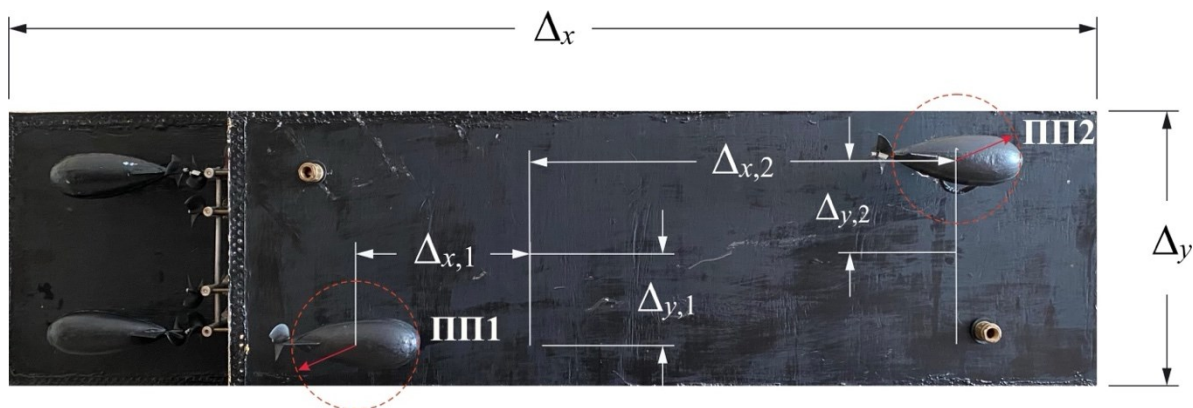


Рисунок 2 – Модель багатофункціонального пропульсивного комплексу

Параметри фізичної моделі, зображеної на рис. 2, наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Параметри фізичної моделі багатофункціонального пропульсивного комплексу та ініціалізованих підрулюючих пристроїв

№ з/п	Параметр	Значення	
1	Довжина, $\Delta_x$	140 см	
2	Ширина, $\Delta_y$	40 см	
3	Осадка	20 см	
4	Водотоннажність	243 кг	
		ПП1	ПП2
5	$ \Delta_x $	38 см	64 см
6	$ \Delta_y $	16 см	16 см
7	Час азимутального обертання	22 с	22 с
8	Максимальна частота обертання гвинта	$\pm 145$ об/хвил	$\pm 145$ об/хвил
9	Максимальне прискорення частоти обертання гвинта	$\pm 0,06$ об/с <sup>2</sup>	$\pm 0,06$ об/с <sup>2</sup>

Таблиця 3 – Зведені дані процедури параметризації ініціалізованих підрулюючих пристроїв

№ з/п	Початкове положення моделі	Початковий кут розташування ПП	Крок еталонної позиції $\eta_r$	Постійна часу $T_s$ , с	Горизонт прогнозування $N$ , с
1	$[-50, 0, 0]^T$	$[0, 0]^T$	$[80, 0, 0]^T$	1	80
2	$[-10, 40, 0]^T$	$[\pi/2, \pi/2]^T$	$[0, -50, 0]^T$	1	80

Відмінності між моделюваннями полягають у еталонній позиції та початковій орієнтації ініціалізованих двигунів ПП (див. таблицю 3). Параметри налаштування

залишаються постійними продовж моделювання, під час якого здійснюються відхиляючі дії для провокування відхилення параметрів ПП від заданих. Збурення навколишнього середовища  $\tau_{env}$  у всіх симуляціях не застосовувалося, щоб підкреслити поведінку судна для відокремленої (автономної) природи MCS [30].

## ЛІТЕРАТУРА

1. Budashko, V. Formalization of design for physical model of the azimuth thruster with two degrees of freedom by computational fluid dynamics methods [Text] / V., Budashko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – V. 3. – № 7(87). – P. 40–49. Doi:[10.15587/1729-4061.2017.101298](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101298).
2. Fossen, T. (2021) Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. 2nd edn. Wiley. Available at: <https://www.perlego.com/book/2761053/handbook-of-marine-craft-hydrodynamics-and-motion-control-pdf> (Accessed: 12 January 2024).
3. Goor, van P. Constructive Equivariant Observer Design for Inertial Navigation / P. van Goor, T. Hamel, R. Mahony // IFAC-PapersOnLine. – 2023. – V. 56. – I. 2. – P. 2494-2499. ISSN 2405-8963. Doi: [10.1016/j.ifacol.2023.10.1229](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.1229).
4. Maidana, R. G. Risk-based path planning for preventing collisions and groundings of maritime autonomous surface ships [Text] / R. G. Maidana, S. D. Kristensen, I. B. Utne, A. J. Sørensen // Ocean Engineering. – 2023. – V. 290. – P. 116417. ISSN 0029-8018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116417>.
5. Bekker, J. R. A Packaged System Approach to DP Vessel Conversion [Text] / J. R. Bekker, S. X. Dou // Dynamic positioning conference: Workboats. – 2002 (September 17–18). – 22 p. Режим доступу: [\www/ URL: http://dynamic-positioning.com/proceedings/dp2002/workboats\\_packaged\\_system.pdf](http://www.dynamic-positioning.com/proceedings/dp2002/workboats_packaged_system.pdf). – 13.05.2024 г. – Загол. з екрану.
6. Cozijn, H. Analysis of the velocities in the wake of an azimuthing thruster, using PIV measurements and CFD calculations [Text] / H. Cozijn, R. Hallmann, A. Koop // Dynamic positioning conference: thrusters session. – October 12–13, 2010. – Houston: Maritime Research Institute Netherlands (MARIN). – 25 p. Режим доступу: [\www/ URL: http://www.refresco.org/wp-content/uploads/2015/05/2010-MTS-DP-Cozijn-Hallmann-Koop.pdf](http://www.refresco.org/wp-content/uploads/2015/05/2010-MTS-DP-Cozijn-Hallmann-Koop.pdf). – 24.08.2024 р. – Загол. з екрану.
7. Furmanik, M. Low-Speed Sensorless Control for Six-Phase PMSM Based on Magnetic Anisotropy / M. Furmanik, D. Konvičný, P. Rafajdus // Transportation Research Procedia. – 2023. – V. 74. – P. 892-899. ISSN 2352-1465. Doi: [10.1016/j.trpro.2023.11.222](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.222).
8. Hemalatha, N. Sensorless speed and position control of permanent magnet BLDC motor using particle swarm optimization and ANFIS [Text] / N. Hemalatha, S. Venkatesan, R. Kannan, S. Kannan, A. Bhuvanesh, A.S. Kamaraja // Measurement: Sensors. – 2024. – V. 31. – P. 100960. ISSN 2665-9174. Doi: [10.1016/j.measen.2023.100960](https://doi.org/10.1016/j.measen.2023.100960).
9. Sun, L. Low speed sensorless control method of brushless DC motor based on pulse high frequency voltage injection [Text] / L. Sun // Alexandria Engineering Journal. – 2022. – V. 61, I. 8. – P. 6457-6463. ISSN 1110-0168. Doi: [10.1016/j.aej.2021.12.005](https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.12.005).
10. Budashko, V., Sandler, A., & Khniunin, S. (2023). Improving the method of linear-quadratic control over a physical model of vessel with azimuthal thrusters. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(2 (121)), 49–71. Doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273934>.
11. Fernandes, Daniel de A. Trajectory Tracking Motion Control System for Observation Class ROVs [Text] / D. de A. Fernandes, A. J. Sorensen, D. C. Donha // IFAC Proceedings Volumes. – 2013. – V. 46, I. 33. – P. 251-256. ISSN 1474-6670, ISBN 9783902823526. Doi: <https://doi.org/10.3182/20130918-4-JP-3022.00025>.
12. Houska, B. ACADO Toolkit – An Open Source Framework for Automatic Control and Dynamic Optimization [Text] / B. Houska, H. Ferreau, Diehl, M. // Optimal Control Applications and Methods. – 2011. – V. 32(3). – P. 298–312. Doi: <https://doi.org/10.1002/oca.939>.
13. Johansen, T. A. Control allocation – A survey. [Text] / T. A. Johansen, T. I. Fossen // Automatica. – 2013. – V. 49, I. 5. – P. 1087-1103. ISSN 0005-1098. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2013.01.035>.
14. Yari, E. Hydrodynamic analysis of the surface-piercing propeller in unsteady open water condition using boundary element method [Text] / E. Yari, H. Ghassemi // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. – 2016. – V. 8, I. 1. – P. 22–37. Doi:[10.1016/j.ijnaoe.2015.09.002](https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2015.09.002).

15. Budashko, V. Formalization of design for physical model of the azimuth thruster with two degrees of freedom by computational fluid dynamics methods [Text] / V., Budashko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – V. 3. – № 7(87). – P. 40–49. Doi:[10.15587/1729-4061.2017.101298](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101298).
16. Glad, T., & Ljung, L. (2000). *Control Theory* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315274737>.
17. Budashko, V. Thrusters physical model formalization with regard to situational and identification factors of motion modes [Text] / V. Budashko // 2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE), Istanbul, 12-13 June 2020, Turkey: IEEE. Pp. 1-6. Doi: [10.1109/ICECCE49384.2020.9179301](https://doi.org/10.1109/ICECCE49384.2020.9179301).
18. Brezina, A. J. Measurement of Static and Dynamic Performance Characteristics of Electric Propulsion Systems [Text] / A. J. Brezina, S. K. Thomas; American Institute of Aeronautics and Astronautics // 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition. – Grapevine (Dallas/Ft. Worth Region), Texas, 2013 (07 – 10 January). Doi:[10.2514/6.2013-500](https://doi.org/10.2514/6.2013-500).
19. Bucknall, R. W. G. On the Conceptual Design and Performance of a Matrix Converter for Marine Electric Propulsion [Text] / R. W. G. Bucknall, K. M. Ciaramella // *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2010. – V. 25, I. 6. – P. 1497–1508. Doi:[10.1109/TPEL.2009.2037961](https://doi.org/10.1109/TPEL.2009.2037961).
20. Zhong, Y. Diving dynamics identification and motion prediction for marine crafts using field data [Text] / *Journal of Ocean Engineering and Science* // Y. Zhong, C. Yu, Y. Bai, Z. Zeng, L. Lian. – 2023. ISSN 2468-0133. Doi: [10.1016/j.joes.2023.12.001](https://doi.org/10.1016/j.joes.2023.12.001).
21. Abdessameud, A. Motion coordination of thrust-propelled under actuated vehicles with intermittent and delayed communications [Text] // A. Abdessameud, I.G. Polushin, A. Tayebi // *Systems & Control Letters*. – 2015. – V. 79. – P. 15–22. Doi:[10.1016/j.sysconle.2015.02.006](https://doi.org/10.1016/j.sysconle.2015.02.006).
22. Babadi, M. K. Effect of hull form coefficients on the vessel sea-keeping performance [Text] / M. K. Babadi, H. Ghassemi; Department of Ocean Engineering, AmirKabir University of Technology // *Journal of Marine Science and Technology*. – 2013. – 11 p. Doi:[10.6119/JMST-013-0117-2](https://doi.org/10.6119/JMST-013-0117-2).
23. Budashko, V. Optimization of the control system for an electric power system operating on a constant power hyperbole [Text] / V. Budashko, A. Sandler, V. Shevchenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2022. – V. 1. – № 8(115). – P. 6-17. ISSN 1729-3774. Doi: [10.15587/1729-4061.2022.252172](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252172).
24. Carrera, A. Cognitive system for autonomous underwater intervention [Text] / A. Carrera, N. Palomeras, N. Hurtós, P. Kormushev, M. Carreras // *Pattern Recognition Letters*. – 2015. – V. 67(1). – P. 91–99. Doi:[10.1016/j.patrec.2015.06.010](https://doi.org/10.1016/j.patrec.2015.06.010).
25. Budashko, V. Diagnosis of the Technical Condition of High-tech Complexes by Probabilistic Methods [Text] / V. Budashko, A. Sandler, V. Shevchenko // *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav)*. – 2022. – V. 16. – № 1. – P. 105-111. ISSN 2083-6473, ISSN 2083-6481 (electronic version). Doi: [10.12716/1001.16.01.11](https://doi.org/10.12716/1001.16.01.11).
26. Budashko, V., Sandler, A., & Khniunin, S. (2023). Improving the method of linear-quadratic control over a physical model of vessel with azimuthal thrusters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(2 (121)), 49–71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273934>.
27. 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).
28. 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).
29. Sandler, A. Improving tools for diagnosing technical condition of ship electric power installations [Text] / A. Sandler, V. Budashko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2022. – V. 5. – № 5(119). – P. 25-33. ISSN 1729-3774. Doi: [10.15587/1729-4061.2022.266267](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266267).
30. Sandler, A., Budashko, V., Khniunin, S., Bogach, V. (2023). Improving the mathematical model of a fiber-optic inclinometer for vibration diagnostics of elements in the propulsion system with sliding bearings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Applied physics*, 5 (5(125)), 24-31. Doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289773>.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ СТРУМОМ НАМАГНІЧУВАННЯ В СУЧАСНИХ VFD

А. І. Шестака<sup>1</sup>, ст. викладач

Л.М. Мельнікова<sup>2</sup>, к.т.н., доцент

<sup>1</sup>Національний університет "Одеська Морська Академія"

<sup>2</sup>Національний університет "Одеська Політехніка"

*Анотація:* розглянуто можливості сучасних частотних електроприводів в режимах оптимального керування струмом намагнічування для зменшення споживання електроенергії.

*Ключові слова:* енергозбереження, частотний електропривод, оптимальне управління, струм намагнічування.

## POSSIBILITIES OF OPTIMUM EXCITATION CONTROL IN MODERN VFD

A. Shestaka<sup>1</sup>, Senior lecturer

L. Melnikova<sup>2</sup>, Ph.D., Assistant Professor

<sup>1</sup>National University "Odessa Maritime Academy"

<sup>2</sup>Odesa Polytechnic National University

*Abstract:* the possibilities of modern variable frequency drives in optimum excitation current control modes to reduce electricity consumption are considered.

*Key-words:* energy saving, variable frequency drive, optimal control, excitation current.

В серпні поточного року журналом [Control Engineering Magazine](#) було проведено дослідження "Control Engineering 2024 Motors and Drives", що надає інформацію від професіоналів з автоматизації стосовно наявних вимог до двигунів і приводів, проблем при їх впровадженні, експлуатації, заміні і обслуговуванні, бажаних першочергових функцій двигунів і приводів, а також поточних і майбутніх тенденцій, пов'язаних з двигунами та приводами [1]. Зокрема, при відповіді на питання "Яких майбутніх інновацій в двигунах і приводах ви найбільше очікуєте?" перші чотири позиції (рис.1) були:

- енергозберігаючі технології;
- покращені функції довговічності;
- розширені алгоритми управління;
- рішення для зменшення гармонік.

Запит до зменшення глобального споживання енергії за допомогою технології електроприводу кілька років тому стимулював новий приплив розробки технологій електроприводів. В результаті ми спостерігаємо вражаючий прогрес у розробках двигунів з постійними магнітами ти приводів для них, а також у впровадженні напівпровідникових елементів з карбиду кремнію (SiC) паралельно з підвищенням продуктивності "традиційних" біполярних транзисторів з ізольованим затвором (IGBT) на високих частотах перемикання, що робить технологію приводів більш ефективною.

Сьогодні вже стали звичними функції енергозбереження сучасних VFD, що базуються на точному регулюванні, наприклад, повітряного або рідинного потоку шляхом управління швидкістю двигуна, а не перекриттям засувки або байпасу. При цьому споживана потужність навантаження зі змінним крутним моментом (вентиляторів, насосів, гребних гвинтів) пропорційна кубу швидкості обертання. Таким чином, зменшення швидкості вентилятора або насоса на 15 % призводить до зменшення споживаної потужності на 39,5 %.

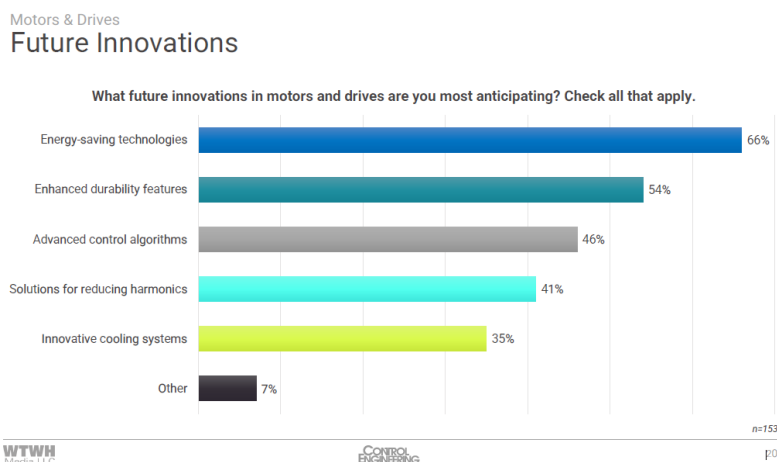


Рисунок 1 – Найбільш очікувані інновації в двигунах і приводах (за результатами опитування журналу Control Engineering)

Крім таких "технологічних" методів енергозбереження, сьогодні активно впроваджується "математичний" підхід до оптимального керування струмом намагнічування асинхронного двигуна. При цьому для виділення з загального струму обмотки статора саме струму намагнічування використовується, як правило, T-подібна схема заміщення асинхронного двигуна вкупі з досить складними алгоритмами управління положенням просторового вектору магнітного потоку двигуна. Тому, зрозуміло, проведення процедури "автотюнінгу", тобто визначення приводом параметрів конкретного двигуна для використання їх в схемі заміщення є необхідним. Оскільки при малих навантаженнях, тобто при малих значеннях активної складової струму статора, відносна частка струму намагнічування стає більш відчутною, то саме в таких режимах оптимальне керування [2] дозволяє підвищити енергоефективність системи шляхом покрокового зменшення струму намагнічування до певного граничного значення, як це показано на рис. 2.

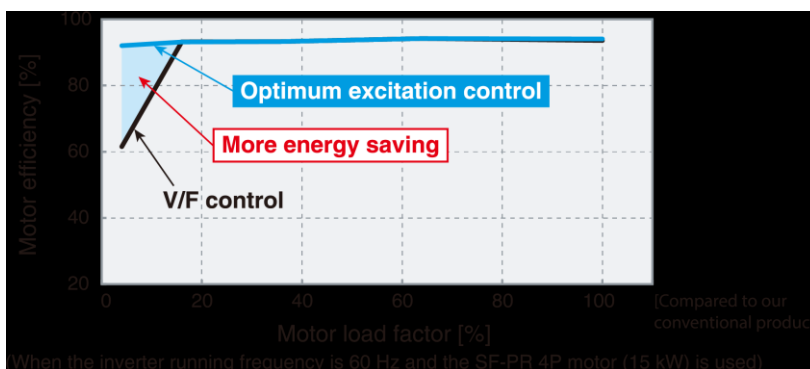


Рисунок 2 – Використання функції оптимального контролю збудження для двигуна потужністю 15 kW (за матеріалами досліджень Mitsubishi Electric)

Як бачимо, оптимальний контроль збудження безперервно регулює струм збудження до оптимального рівня для забезпечення найвищої ефективності двигуна. При невеликому крутному моменті навантаження можна досягти значної економії енергії. Наприклад, при крутному моменті навантаження двигуна 4% для двигуна загального призначення ефективність двигуна за оптимального керування збудженням приблизно на 30% вища, ніж ефективність двигуна при керуванні за законом  $U/f = \text{const}$ .

Для дослідження режимів управління струмом намагнічування був використаний учбово-навчальний стенд Лабораторії електромеханічних систем кафедри електричної інженерії та електроніки з VFD Mitsubishi FR-F840-00052-E2-60 в якості привода, що досліджувався, і з

VFD Mitsubishi FR-A740-00083-EC в якості привода навантажувальної машини. Кожен з VFD керував двигуном AIP80B4 потужністю 1,5 kW з номінальною швидкістю 1410 rpm.

Було розглянуто два режими управління [3]:

1) Energy saving operation (Pr.60 = "4"), коли VFD автоматично контролює вихідну напругу, і тому вихідна потужність інвертора під час роботи на постійній швидкості стає мінімальною. Цей режим можливий при керуванні за законом  $U/f = \text{const}$ ;

2) Optimum excitation control (Pr.60 = "9"), коли вихідна напруга визначається шляхом контролю струму збудження, щоб максимізувати ефективність двигуна. Цей режим можливий при керуванні за законом  $U/f = \text{const}$ , а також обраному методі управління "Advanced magnetic flux vector control".

Необхідно зазначити, що в енергозберігаючому режимі роботи ефект економії енергії не є відчутним при високому моменті навантаження, а також при частих прискореннях та гальмуваннях механізму, а також коли потужність двигуна надзвичайно мала порівняно з потужністю інвертора або коли кілька двигунів підключено до одного інвертора.

Коли вибрано енергозберігаючий режим роботи або оптимальний режим керування збудженням, можливо буде потрібним збільшити час гальмування порівняно аби уникнути перенапруги в ланці постійного струму. Так само, якщо двигун стає нестабільним під час розгону потрібно буде збільшити час прискорення.

Крім цього, було розглянуто також "Удосконалений оптимальний контроль збудження", який був нещодавно розроблений Mitsubishi Electric. Цей режим забезпечує великий пусковий момент, зберігаючи при цьому ККД двигуна за алгоритмом традиційного оптимального управління струмом збудження.

Без необхідності клопітких (див. вище) додаткових налаштувань параметрів (час розгону/гальмування, підвищення крутного моменту тощо), прискорення здійснюється за короткий час. Крім того, енергозберігаюча робота з максимально покращеною ефективністю двигуна виконується під час роботи з постійною швидкістю. Цей режим і доступним лише у розширеному векторному керуванні магнітним потоком.

**Висновки.** Таким чином, застосування режимів енергозберігаючого управління струмом намагнічування в сучасних VFD є відчутним фактором в подальшому зменшенні споживання електроенергії електроприводами, що відповідає вимогам і запитам споживачів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. 2024 Motors and Drives Audience Research Report  
[https://www.controleng.com/articles/motor-and-drives-research-on-purchasing-challenges-future/?utm\\_source=CE+Motors+%26+Drives&utm\\_medium=Newsletter&utm\\_campaign=CFECD241209007&oly\\_enc\\_id=5012I9510389G3Z](https://www.controleng.com/articles/motor-and-drives-research-on-purchasing-challenges-future/?utm_source=CE+Motors+%26+Drives&utm_medium=Newsletter&utm_campaign=CFECD241209007&oly_enc_id=5012I9510389G3Z)
2. [https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/drv/inv/pmerit/fr\\_f/fr\\_f800/f801.html](https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/drv/inv/pmerit/fr_f/fr_f800/f801.html)
3. FR-F800 INSTRUCTION MANUAL (DETAILED) - IB(NA)-0600547ENG-F(2111)MEE  
<https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/inv/ib0600547eng/ib0600547engf.pdf>
4. Energy Saving with Variable Frequency Drives  
<https://www.invertexdrives.com/support/iknow/energy-saving/energy-saving-with-variable-frequency-drives-8>
5. Deana Fu – How VFD Technology Results in Energy Savings – Mitsubishi Electric – 04.07.2021  
[https://www.pumpsandsystems.com/how-vfd-technology-results-energy-savings?oly\\_enc\\_id=3903H0444678J5H](https://www.pumpsandsystems.com/how-vfd-technology-results-energy-savings?oly_enc_id=3903H0444678J5H)

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

УДК 629.XXX

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ТІЛАХ, ЩО МІСТЯТЬ ТОНКІ ЖОРСТКІ ВКЛЮЧЕННЯ

**В.Г. Попов**, д.ф.-м.н, професор

**О.І. Кирилова**, к.ф.-м.н, доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

*Запропоновано математичну модель двовимірного напруженого стану в пружному тілі з довільною системою тонких жорстких включень при динамічному навантаженні. Навантаження моделюється дією на включення сил і моментів, що змінюються за часом. Математична модель ґрунтується на приведенні граничної задачі для рівняння руху пружного середовища в умовах плоскої деформації до системи інтегральних рівнянь, яка розв'язується наближено. Спроможність моделі досліджувати особливості поля напружень в околі включень демонструється числовими прикладами.*

**Ключові слова:** тонкі включення, динамічне навантаження, інтегральні рівняння, коефіцієнти інтенсивності напружень

### MATHEMATICAL MODELING OF DYNAMIC STRESS STATE IN BODIES CONTAINING THIN RIGID INCLUSIONS

**V. Popov**, Dr. of Science, Professor

**O. Kyrylova**, Ph.D, Assistant Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

*A mathematical model of a two-dimensional stress state in an elastic body with an arbitrary system of thin rigid inclusions under dynamic loading is proposed. The loading is modeled by the action of time-varying forces and moments on the inclusion. The mathematical model is based on the reduction of the boundary value problem for the equation of motion of an elastic medium under conditions of plane deformation to a system of integral equations, which is solved approximately. The ability of the model to investigate the features of the stress field in the vicinity of the inclusions is demonstrated by numerical examples.*

**Keywords:** thin inclusions, dynamic loading, integral equations, stress intensity factors

В деталях енергетичних установок, суднових конструкцій, портових споруд досить часто присутні технологічні дефекти у вигляді тонких включень великої жорсткості [1-3]. При створенні сучасних композитних матеріалів також використовуються жорсткі вставки у вигляді тонких включень. Такі жорсткі підкріплення з одного боку підсилюють загальну міцність конструкції, а з іншого спричиняють значну концентрацію напружень, що може призвести до появи тріщин та руйнування [1,2]. Тому створення математичних моделей локального напруженого стану в околі тонких жорстких включень необхідно для оцінки працездатності та прогнозування руйнування елементів споруд. Особливо актуально це в умовах динамічного навантаження, зокрема вібрації. Аналіз сучасної літератури, зокрема детальний огляд, наведений в [1], показує, що існує різноманіття наукових робіт, де розглядаються тіла з одним окремим включенням. Робіт, де здійснюється моделювання напруженого стану в тілах під дією динамічного навантаження з системами включень, значно менше. В даній роботі формулюється і розв'язується задача математичного моделювання напруженого стану в тілі з системою довільно розміщених включень, на які діють сили і моменти, що гармонічно змінюються за часом.



1. Постановка задачі і приведення її до систем інтегральних рівнянь.

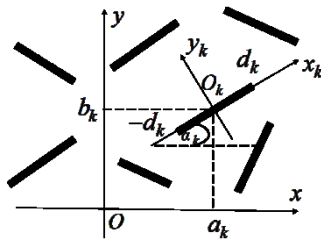


Рис.1

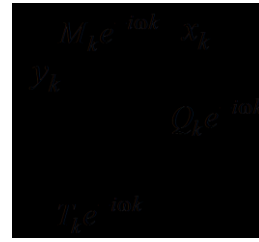


Рис. 2

Розглядається пружне ізотропне тіло, що знаходиться у стані плоскої деформації та містить  $N$  тонких жорстких включень. Включення в координатній площині  $Oxy$  розміщуються на відрізках довжиною  $2d_k$  з центрами у точках  $O_k(a_k, b_k), k=1, 2, \dots, N$  і мають товщину  $s_k \ll h_k$  (Рис. 1). Включення знаходяться під дією нормальних і зсувних сил  $Q_k e^{-i\omega t}, T_k e^{-i\omega t}$ , а також моменту  $M_k e^{-i\omega t}$  (Рис. 2).

Нехай  $u(x, y), v(x, y)$  – переміщення, викликані рухом включень. За умов плоскої деформації вони мають задовольняти рівняння руху:

$$(\lambda + 2\mu) \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \mu \Delta u = -\rho \omega^2 u; \quad (\lambda + 2\mu) \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \mu \Delta v = -\rho \omega^2 v, \quad (1)$$

де  $\lambda, \mu, \rho$  – коефіцієнти Ламе і густина пружного середовища. В рівняннях (1) і далі часовий множник  $e^{-i\omega t}$  відкинуто.

Для формулювання граничних умов з кожним включенням пов’язується локальна система координат  $O_k x_k y_k$  (Рис.1). Позначимо  $u^k(x_k, y_k), v^k(x_k, y_k), \sigma_x^k(x_k, y_k), \sigma_y^k(x_k, y_k), \tau_{yx}^k(x_k, y_k)$  – переміщення і напруження у системі  $O_k x_k y_k$ . Тоді, за умов повного зчеплення включень з матрицею, мають виконуватись рівності:

$$v^k(x_k, 0) = h_{1k} + \beta_k x_k; \quad u^k(x_k, 0) = h_{2k}, \quad -d_k < x_k < d_k, \quad k=1, 2, \dots, N. \quad (2)$$

Окрім того, наявність включень спричиняє розриви напружень, стрибки яких позначено

$$\sigma_y^k(x_k, +0) - \sigma_y^k(x_k, -0) = \chi_{1k}(y); \quad \tau_{yx}^k(x_k, +0) - \tau_{yx}^k(x_k, -0) = \chi_{2k}(y); \quad -d_k < x < d_k; \quad k=1, 2, \dots, N. \quad (3)$$

Невідомі амплітуди коливань включення, що входять у (2), визначаються з рівнянь руху. Метод розв’язання ґрунтується на поданні поля переміщень у вигляді суперпозиції розривних розв’язків [4, 5] рівнянь (1) зі стрибками (3), що побудовані для кожного включення у пов’язаній з ним системі координат. В результаті після реалізації граничних умов (2) приходимо до системи  $2N$  інтегральних рівнянь відносно невідомих стрибків напружень:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_{1k}(\tau) \left[ \frac{\gamma_k(1+\xi^2)}{2} \ln|\tau-\zeta| + R_{kk}^{31}(\tau, \zeta) \right] d\tau + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^N \frac{1}{2\pi} \left[ \int_{-1}^1 \varphi_{1l}(\tau) R_{kl}^{31}(\tau, \zeta) d\tau + \int_{-1}^1 \varphi_{2l}(\tau) R_{kl}^{32}(\tau, \zeta) d\tau \right] &= \delta_{1k} + \beta_k \gamma_k \zeta \\ \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_{2k}(\tau) \left[ \frac{\gamma_k(1+\xi^2)}{2} \ln|\tau-\zeta| + R_{kk}^{41}(\tau, \zeta) \right] d\tau + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^N \frac{1}{2\pi} \left[ \int_{-1}^1 \varphi_{1l}(\tau) R_{kl}^{41}(\tau, \zeta) d\tau + \int_{-1}^1 \varphi_{2l}(\tau) R_{kl}^{42}(\tau, \zeta) d\tau \right] &= \delta_{2k}; \quad k = \overline{1, N}. \end{aligned} \quad (4)$$

В системі (4) прийнято позначення  $\varphi_{jk}(\tau) = \mu^{-1} \chi_{jk}(d_k \tau), \quad \gamma_k = d^{-1} d_k, \quad d = \max(d_1, d_2, \dots, d_N);$

$d_{jk} = d^{-1} h_{jk},$  функції  $R_{kl}^{js}, \quad j=3, 4; \quad s=1, 2; \quad l, k=1, 2, \dots, N$  неперервні при  $-1 \leq \zeta, \tau \leq 1$ .

2. Числове розв’язання та аналіз результатів. Для наближеного розв’язання системи (4) застосовано метод [4], який полягає у поданні невідомої функції у вигляді

$$\varphi_{sk}(\tau) = (1 - \tau^2)^{-0,5} \psi_{sk}(\tau), \quad k=1, 2, \dots, N; \quad s=1, 2, \quad (5)$$

де функції  $\psi_{sk}(\tau)$  вважаються такими, що задовольняють умови Гельдера і  $\psi_{sk}(\pm 1) \neq 0$ . Далі здійснюється наближення цих функцій інтерполяційним многочленом з коренями многочлен Чебишева  $T_n(\tau)$  в якості вузлів інтерполяції. Для визначення значень невідомих функцій в вузлах інтерполяції так само, як у [5] з (4) методом механічних квадратур отримана система лінійних алгебраїчних рівнянь.

Важливою характеристикою локального поля напружень в околі тонких включень є коефіцієнти інтенсивності напружень (КІН) [1], [3]. Після числового розв'язання системи (4) їх безрозмірні значення знаходяться за формулами [5]:

$$k_{sl}^{\pm} = \pm \frac{(-1)^s}{16(1-\nu)} \psi_{sl}(\pm 1), \quad s = 1, 2; \quad l = 1, 2, \dots, N. \quad (6)$$

На прикладі системи чотирьох включень однакової довжини (Рис. 3) здійснена реалізація запропонованої математичної моделі. Включення припускаються сталевими, а матеріалом зовнішнього середовища є алюміній. Всі включення завантажені однаковими нормальними, зсувними силами і моментами,  $h/d = 0,25$ , кут  $\beta$  змінювався

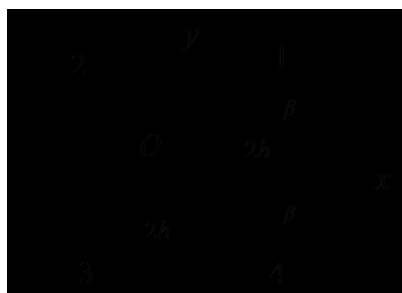


Рис.3

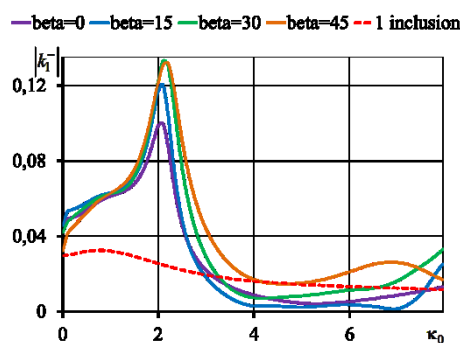


Рис. 4

Результати розрахунків КІН за формулами (6) при різному навантаженні включень наведено у вигляді залежності КІН від безрозмірного хвильового числа  $\kappa_0 = \kappa_2 d$  на Рис.4-6.

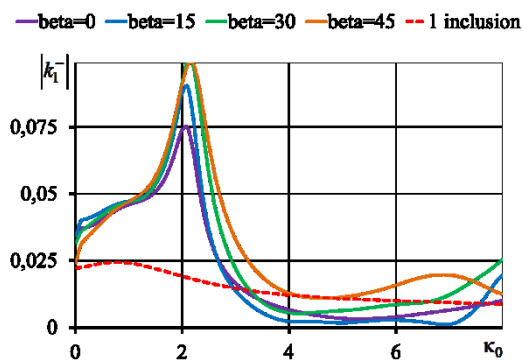


Рис.5

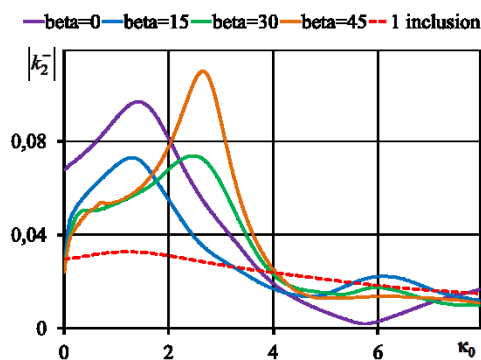


Рис. 6

На Рис. 4, 5 побудовано графіки коефіцієнтів інтенсивності нормальних напружень при навантаженні включень нормальними силами або моментом. Графіки на Рис.6 відповідають навантаженню включень зсувними силами. Криві на всіх рисунках відповідають вказаному значенню кута  $\beta$ . Штрихова крива показує значення КІН для одиночного включення.

Аналіз розрахунків дозволяє зробити наступні **висновки**:

1. При наявності в тілі системи включень взаємодія між ними приводить до збільшення інтенсивності напружень в порівнянні з одним окремим включенням.
2. Показано існування частоти, при якій абсолютні значення КІН сягають суттєвого максимуму. Ці максимальні значення до декількох разів перевищують статичні аналоги і зна-

чення КІН для окремого включення. При цих частотах тріщиноутворення і руйнування конструкції є найбільш вірогідним.

3. На величину максимальних значень КІН суттєво впливає спосіб навантаження і взаємне розміщення включень. Так, при навантаженні нормальними силами або моментами найбільші значення спостерігаються при взаємно перпендикулярних включеннях  $\beta = 45^0$  (Рис.4, 5), а при дії зсувними силами при малих кутах  $\beta$  (Рис. 6).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Під заг. ред.. Кушніра Р.М. Руйнування пружних тіл із включеннями та його діагностування. Теоретичні основи динамічних процесів у пружних тілах з включеннями. Т.1. Львів: НАН України, ІППММ ім. Я.С. Підстригача (2023).-280 с.
2. Під заг. ред.. Кушніра Р.М. Руйнування пружних тіл із включеннями та його діагностування. Акустико-емісійне діагностування руйнування включень. Т.2. Львів: НАН України, ІППММ ім. Я.С. Підстригача (2023).-402 с.
3. Sulym, H.T. Foundations of the Mathematical theory of thermoelastic equilibrium of deformed bodies with thin inclusions [in Ukrainian]. Doslidno-Vydavnychiy Tsent NTSh, Lviv (2007)
4. Popov V.G., Ulanovskii A.E. Comparative study of diffraction fields generated by elastic waves passing through imperfections of various nature // Mech. of Solids. – 1995. –30, № 4. – P. 93-102.
5. Lytvyn O.V., Popov V.H. Interaction of plane harmonic waves with inclusions in the elastic space // Mater. Sci. – 2007. – 43, No. 3. – P. 361–369 <https://doi.org/10.1007/s11003-007-0041-0>

УДК 621.436

## КРИТЕРІЙ ЗАСТОСОВНОСТІ НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ МАСТИЛ В ПІДШИПНИКАХ КОВЗАННЯХ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

**М. О. Кривий**, аспірант

Національний Університет «Одеська Морська Академія»

***Анотація:** Запропоновано критерій роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу в режимі рідинного тертя-ковзання, який враховує неньютонівський характер поведінки мастил. Критерій отриманий за допомогою точних розв'язків диференціального рівняння Рейнольдса для мастильного шару пари ковзання і спирається на градієнт в'язкості мастил.*

***Ключові слова:** Критерій рідинного тертя-ковзання, підшипник ковзання, рівняння Рейнольдса, градієнт в'язкості.*

## CRITERIA FOR THE APPLICABILITY OF NON-NEWTONIAN LUBRICANTS IN THE SLIDING BEARINGS OF SHIP POWER PLANTS

**Kryvyi M. O.**, graduate student

National University "Odesa Maritime Academy"

***Abstract:** A criterion for the operation of the sliding bearings of the ship's propulsion complex in the liquid friction-sliding mode is proposed, which takes into account the non-Newtonian nature of the behavior of lubricants. The criterion is obtained using exact solutions of the Reynolds differential equation for the lubricating layer of the sliding pair and is based on the viscosity gradient of lubricants.*

***Key words:** Fluid friction-sliding criterion, sliding bearing, Reynolds equation, viscosity gradient.*

В роботах [1 - 6] для розподілу відносного питомого гідродинамічно тиску  $\tilde{p}$  в робочому шарі пари ковзання для неньютонівських мастил, в'язкість яких змінюється за законом Баруса:  $\mu = \mu_0 e^{\xi \tilde{p}}$ , отримано наступне подання:

$$\tilde{p} = \frac{1}{\xi} \ln \left( 1 + \frac{6 \tilde{\mu}}{\mu_0} \int_{\varphi}^{\psi} \frac{1 - \cos \varphi_n}{\tilde{r}^3} d\psi \right) \quad (1)$$

Тут наведенні позначення

$$q(\varphi) = 1 + 6 \tilde{\mu} \int_{\varphi}^{\psi} \frac{1 - \cos \varphi_n}{\tilde{r}^3} d\psi; \quad \tilde{\mu} = \mu_0 \cos \varphi; \quad \tilde{\xi} = \xi \delta_0^{-1};$$

$\varepsilon_0$  – відносний ексцентриситет в парі ковзання;  $\delta_0 = \frac{\delta}{R_1}$  – відносний радіальний зазор підшипника ковзання,  $\delta = (R_2 - R_1)$  – радіальний зазор підшипника ковзання;  $\omega_0 [c^{-1}]$  – кутова швидкість;  $\xi [Pa^{-1}]$  – п'єзокоефіцієнт в'язкості мастил,  $\mu_0 \left[ \frac{H \cdot c}{M^2} \right]$  – динамічна в'язкість при атмосферному тиску.

Отриманий розподіл питомого тиску мастильного шару для неньютонівських мастил крім відносного ексцентриситету  $\varepsilon_0$  містять також безрозмірний параметр  $\tilde{\xi} \delta_0^{-1} \geq 0$ .

Зауважим, що при  $\tilde{\xi} \delta_0^{-1} = 0$  отриманий розв'язок (11) прямує до розподілу відносного питомого гідродинамічно тиску для ньютонівського мастила.

Обмеженість питомого тиску (1) і наявність мастильного шару в парі ковзання залежить від значення параметру  $\tilde{\xi} \delta_0^{-1}$ . Дійсно, отриманий розв'язок (9) може вважатись коректним лише при виконанні умови  $0 < q(\varphi) \leq 1$ , що приводить до необхідності виконання наступної умови:

$$0 \leq \tilde{\xi} \delta_0^{-1} \leq \frac{1}{\xi \delta_0^{-1}}, \quad \tilde{\xi} \delta_0^{-1} \leq \frac{1}{\xi \delta_0^{-1}} \quad (2)$$

Враховуючи, що функція  $q(\varphi)$  в тоці  $\varphi_0$  досягає мінімуму, а в точках  $\varphi_1, \varphi_2$  максимуму, причому  $q(\varphi_1) = q(\varphi_2) = 1$ , то функція  $\tilde{p}$  в точках  $\varphi_1, \varphi_2$  буде досягати мінімуму, причому  $\tilde{p}(\varphi_1) = \tilde{p}(\varphi_2) = \tilde{p}_0$ , а в точці  $\varphi_0$  буде досягати максимуму:  $q_0(\varepsilon_0) = \tilde{p}(\varphi_0)$ . Отже, умовою застосовності мастил для заданих режимів роботи пари ковзання є виконання критерію:

$$\tilde{\xi} \delta_0^{-1} \leq K_\mu, \quad K_\mu = (q_0(\varepsilon_0))^{-1}. \quad (3)$$

В таблиці 1 наведені значення  $K_\mu$  для деяких значень відносного ексцентриситету  $\varepsilon_0$ , які показують, що критерій  $K_\mu$  задовольняє умові

$$9.2 \cdot 10^{-4} \leq K_\mu < 15, \quad (4)$$

Таблиця 1 – Значення критерію  $K_\mu$  для деяких значень відносного ексцентриситет  $\varepsilon_0$

$\varepsilon_0$	0.01	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.75	0.80	0.90	0.95	0.99
$K_\mu$	14.18	1.48	0.57	0.396	0.28	0.20	0.13	0.10	0.07	$2.7 \cdot 10^{-2}$	$9.9 \cdot 10^{-3}$	$9.2 \cdot 10^{-4}$

Критерій (3) дає можливість оцінити коректність використання конкретних неньютонівських олив при заданих технічних параметрах підшипника і заданій швидкості обертання цапфи. Це означає, що не врахування залежності динамічної в'язкості від тиску і температури, може спотворити прогноз безаварійної роботи пари ковзання.

Характер поведінки в'язкості мастил при зміні тиску в підшипнику ковзання визначає градієнт в'язкості [7]:  $G_{\mu}(p) = \frac{d\mu}{dp}$ , який запишемо так  $G_{\mu}(p) = \xi\mu_0 \cdot e^{\xi p(\varphi)}$ . Звідси витікає, що градієнт в'язкості при атмосферному тиску дорівнює:  $G_{\mu 0} = \xi\mu_0$ . З іншого боку, із подання  $\tilde{\delta}_0$ , знайдемо  $\xi\mu_0 = \frac{\zeta}{\omega_0}$ , це дає можливість критерій (3) подати так

$$0 \leq G_{\mu 0} < \frac{K_{\mu} \delta_0^2}{\omega_0} \quad (5)$$

Умови (5) дозволяють визначити максимальне можлива значення градієнту в'язкості  $G_{\mu 0}^*$ , тобто максимально можливі значення добутку  $\xi\mu_0$ , для різних режимів роботи пари ковзання при яких зберігається масляний шар, зокрема, в таблиці 2 наведенні такі значення для пар ковзання низько і середньо обертових СЕУ при відносному ексцентриситеті  $\varepsilon_0 = 0.5$ .

Таблиця 2 – Максимально можливі значення градієнта в'язкості  $G_{\mu 0}^* \cdot 10^8$  при  $\varepsilon_0 = 0.5$

$\delta_0 \cdot 10^8$	$\omega_0$ [1/c ;(об/хв)]							
	3.14 (30)	6.28 (60)	8.34 (80)	10.47 (100)	12.57 (120)	14.66(140)	18.85 (180)	28.27(270)
0.93	7.82	3.91	2.94	2.35	1.95	1.68	1.3	0.87
1.0	9.04	4.52	3.40	2.71	2.26	1.94	1.51	1.0
1.23	13.68	6.84	5.15	4.10	3.41	2.93	2.28	1.52
1.63	24.02	12.01	9.04	7.20	6.00	5.14	4.00	2.67
2.0	36.16	18.08	13.61	10.84	9.03	7.74	6.02	4.02
2.64	63.00	31.99	23.72	18.89	15.74	13.49	10.49	7.00
3.0	81.35	40.07	30.63	24.40	20.32	17.43	13.55	9.04
3.5	110.73	55.36	41.69	33.21	27.66	23.72	18.45	12.30
5.0	225.97	112.99	85.08	67.77	56.49	48.40	37.64	25.10

За допомогою таблиці 2 можна визначити, чи підходять в'язкісні параметри вибраного мастила для заданих режимів роботи підшипника ковзання суднового пропульсивного комплексу. Аналогічні таблиці можуть бути отримані для інших значень відносного ексцентриситету  $\varepsilon_0$  при різних режимах експлуатації. Слід відмітити, що оскільки для ньютонівських мастил  $\tilde{\zeta}$  то нерівність (3) для ньютонівських мастил буде виконуватись завжди.

**Висновки.** Отримані результати мають особливо велике значення для моніторингу безаварійної роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу, які постійно перебувають в екстремальних режимах роботи. Це пов'язано з тим, що градієнт в'язкості  $G_{\mu 0}$  судових мастил в процесі експлуатації постійно змінюється [1, 2, 8, 9], або за рахунок забруднення, або за рахунок застосування різних домішок. Тому, на наш погляд, при довготривалій експлуатації суднового пропульсивного комплексу, необхідно проводити наступний моніторинг:

- Визначати, через певний проміжок часу експлуатації  $T_*$ , градієнт в'язкості  $G_{\mu 0}$  судових мастил і перевіряти виконання критерія (5).
- Перед застосуванням домішок визначати градієнт в'язкості  $G_{\mu 0}$  суміші суднового мастила і домішок і перевіряти виконання критерія (5).

Вказаний моніторинг, на наш погляд, доцільно виконувати в межах суднохідної компанії в спеціалізованих лабораторіях, за допомогою, наприклад, методики робіт [1 -3].

часу  $T_*$  може бути визначений експериментальним шляхом для кожного типу двигунів, для різних умов експлуатації.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кривий М. О. Визначення характерних кутів пар ковзання суднових енергетичних установок. *Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник*. Одеса: НУ «ОМА». **2023**, 47, 32-45. DOI: 10.31653/smf47.2023. 32-45
2. Kryvyi, O.; Miyusov, M. V.; Kryvyi, M. New mathematical models for the load factor of slip pairs in the ship propulsion system for non-Newtonian lubricants. *Pomorstvo*. **2024**, 38(1), 114–125. <https://doi.org/10.31217/p.38.1.9>
3. Сагін С. В., Кривий М. О. Визначення розподілу тиску в шарі неньютонівських мастил у суднових енергетичних установках. *Вісник Одеського національного морського університету: Зб. Наук. праць*. **2020**, 2(62), 160-170. DOI 10.47049/2226-1893-2020-1-160-170.
4. Сагін С. В., Кривий М. О. Розрахунок контактної тиску та зони контакту в парах ковзання судових дизелів. *Автоматизація судових технічних засобів: наук. -техн. зб.* Одеса: НУ "ОМА". **2021**, 27, 84 – 92. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-84-92
5. Кривий М. О., Сагін С. В. Визначення впливу властивостей моторних мастил на розподіл тиску в парах ковзання суднових дизелів. *Суднові енергетичні установки*. **2021**, 43, 18-23. DOI: 10.31653/smf343.2021.18-24
6. 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»*. Одеса, НУ «ОМА». **2019**, 144 - 148. [dx.doi.org/10.31653/2706-7874](https://doi.org/10.31653/2706-7874).
7. Коровчинский М.В. Теоретические основы подшипников скольжения. М: ГНТИМЛ, **1959**.
8. Kryvyi, O.; Miyusov M.; Kryvyi M. Construction and Analysis of New Mathematical Models of the Operation of Ship Propellers in Different Maneuvering Modes. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. **2023**, 17 (1), 95-102. doi:10.12716/1001.17.01.09
9. Kryvyi, O.; Miyusov, M. V.; Kryvyi, M. Analysis of Known and Construction of New Mathematical Models of Forces on a Ship's Rudder in an Unbounded Flow. Analysis. *Trans Nav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. **2023**, 17(4), 831-839. DOI:10.12716/1001.17.04.09

УДК 539.3

#### УЗАГАЛЬНЕНИЙ МЕТОД ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ЗАДАЧАХ ПРО МІЖФАЗНІ ДЕФЕКТИ

**О. Ф. Кривий**, доктор фіз-мат. наук, професор  
Національний Університет «Одеська Морська Академія»  
**Ю. О. Морозов**, кандидат фіз-мат. наук, доцент  
Національний Університет «Одеська Політехніка»

**Анотація:** Проведено чисельний аналіз розподілу нормального напруження поза включенням за допомогою узагальненого методу граничних елементів. Запропонований підхід може бути застосований для будь яких міжфазних включень при різних типах контактної взаємодії із неоднорідним трансверсально-ізотропним простором.

**Ключові слова:** неоднорідний трансверсально-ізотропний простір, міжфазне включення, метод граничних елементів.

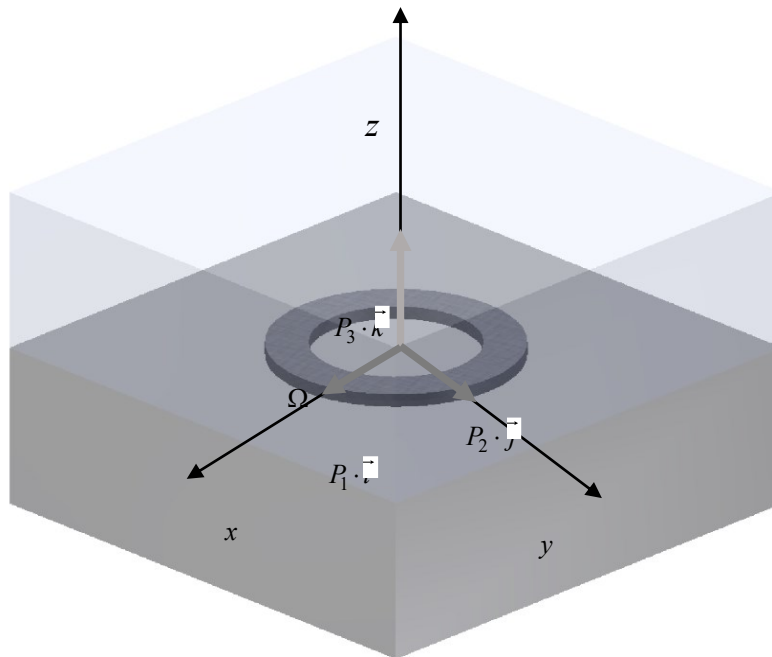
GENERALIZED BOUNDARY ELEMENT METHOD IN PROBLEMS OF INTERFACIAL DEFECTS

Kryvyi O. F., Dr. of Science, Professor  
National University «Odessa Maritime Academy»  
Morozov Yu. O., Ph.D, Assistant Professor  
Odessa Polytechnic National University

**Abstract:** A numerical analysis of the distribution of normal stress outside the inclusion is carried out using a generalized boundary element method. The proposed approach can be applied to any interfacial inclusions with different types of contact interaction with a heterogeneous transversally isotropic space.

**Key-words:** inhomogeneous transversally isotropic space, circular inclusion, stress intensity factor.

Нехай у площині  $z = 0$  з'єднання двох різних трансверсально-ізотропних півпросторів розташовано абсолютно жорстке включення, що займає область  $\Omega$ .



Розташування граней включення після деформації описують функції

$$\zeta_6^\pm = \zeta_6^0 + \mathcal{G}_0^\pm(x_1, x_2), \quad \zeta_k^\pm = \zeta_k^0, \quad k = 4, 5, \quad (x_1, x_2) \in \Omega$$

$$\zeta_4^0 = \delta_1 - \varphi_3 x_3, \quad \zeta_5^0 = \delta_2 + \varphi_3 x_1, \quad \zeta_6^0 = \delta_3 + \varphi_2 x_2 + \varphi_1 x_2, \tag{1}$$

де

$$\{\zeta_k^\pm\}_{k=1}^8 = \{\sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, u_1, u_2, u_3\}_{x_3=\pm 0},$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \{\sigma_k\}_{k=1}^6 = \{\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{xz}, \tau_{xy}\}, \quad \mathbf{u} = \{u_k\}_{k=1}^3 = \{u, v, w\}.$$

Для подання граничних умов на включенні, введемо позначення

$$\xi_k^\pm(x, y) = w_k(x, y, \pm 0); \quad \mathbf{w} = \{w_k(x, y, z)\}_{k=1,6} = \{\sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{xz}, u, v, w\}$$

Грані включення знаходяться в умовах повного зчеплення з півпросторами. Відомими будуть стрибки та суми переміщень.

$$\xi_4^\pm(x, y) = (1 \pm 1)\zeta_4^0, \quad \xi_5^\pm(x, y) = (1 \pm 1)\zeta_5^0, \quad \xi_6^\pm(x, y) = \mathcal{G}^\pm(x, y) + (1 \pm 1)\zeta_6^0, \quad \mathcal{G}^\pm = \mathcal{G}_0^\pm \pm \mathcal{G}_0^\mp \tag{2}$$

Поза включенням вважаються виконаними умови ідеального контакту:

$$\xi_k^-(x, y) = \xi_k^+(x, y), k = \overline{1, 6}, (x, y) \notin \Omega \quad (3)$$

Стрибки і суми  $\vec{\chi}_k$  компонент вектора  $\mathbf{w}$  в площині  $z = 0$  позначимо так:

$$\vec{\chi}_k(x, y) = \langle w_k(x, y) \rangle_{k=\overline{1,6}}^\pm; \quad \chi_k^\pm(x, y) = \langle w_k(x, y) \rangle^\pm = \xi_k^+(x, y) \pm \xi_k^-(x, y), \quad k = \overline{1, 6}$$

тоді умови ідеального контакту різних трансверсально-ізотропних півпросторів поза областю  $\Omega$  запишемо у вигляді  $\chi_k^-(x, y) = 0, k = \overline{1, 6}, (x, y) \notin \Omega$  з урахуванням яких, відносно невідомих функцій  $\chi_k^-(x, y), k = 1, 2, 3, (x, y) \in \Omega$ , за допомогою співвідношень [1, 2], отримано систему трьох двовимірних СІР, застосувавши до якої скінченне перетворення Фур'є відносно трансформант  $V_n^j, j = 1, 2$  шуканих функцій

$$v_1^-(\rho, \varphi) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} V_n^j(\rho) e^{in\varphi}, j = 1, 2, V_n^{j,-}(\rho) = \Phi_n[v_j^-] \equiv \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} v_j^-(\rho, \varphi) e^{-in\varphi} d\varphi, j = 1, 2$$

$$V_{-n}^{1,-}(\rho) = \bar{V}_n^{1,-}(\rho), \quad \bar{V}_n^{2,-}(\rho) = \Phi_n[\bar{v}_2^-]$$

отримаємо систему інтегральних рівнянь:

$$a_{\mu,\nu}^0 \int_a^b V_n^-(\rho) \ln|\rho-r| d\rho + \int_a^b V_n^-(\rho) \tilde{\Gamma} \quad \rho = \mathbf{Q}_n(r), \quad (4)$$

$$\tilde{\Gamma} = \begin{pmatrix} -2q_{31}K_{n+1,n}(\rho, r) & -2q_{31}K_{n-1,n}(r, \rho) & 2q_{41}K_{n,n}(r, \rho) \\ q_{32}^+K_{n+1,n+1}(r, \rho) & -q_{32}^-K_{n-1,n+1}(r, \rho) & -q_{42}K_{n,n+1}(r, \rho) \\ -q_{32}^-K_{n+1,n-1}(r, \rho) & q_{32}^+K_{n-1,n-1}(r, \rho) & q_{42}K_{n,n-1}(r, \rho) \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Q}_n(r) = \{q_{jn}\}_{j=\overline{1,3}}$$

Параметри переміщення включення в середовищі:  $\delta_k, \phi_k, k = 1, 2, 3$ ; визначимо з чотирьох рівнянь рівноваги:

$$2\pi \int_a^b V_{-1}^2(\rho) \rho d\rho = P_1 + iP_2$$

$$\frac{\pi}{2} \int_a^b \left( V_{-1}^1(\rho) + V_1^1(\rho) \right) \rho^2 d\rho = \begin{pmatrix} M_2 \\ iM_1 \end{pmatrix}; \quad \frac{\pi}{i} \int_a^b (V_0^{2,-}(\rho) - \bar{V}_0^{2,-}(\rho)) \rho^2 d\rho = M_3 \quad (5)$$

Якщо контур, який обмежує область є гладким, то характер поведінки розв'язків на краю включення буде визначатись типом контактної взаємодії включення із середовищем, отже, якщо скористатись результатами роботи [1 - 4], при  $\rho = \sqrt{x^2 + y^2} \rightarrow a$  мають степеневі особливості із показниками  $-0,5 \pm i\alpha_0$  і  $-0,5$ . Пружні сталі  $-\alpha_0$  виражаються [2] через комбінації коефіцієнтів узагальненого закону Гука і задовольняють умовам  $0 < \alpha_0 < 1/2$

Це дає можливість до розв'язання системи (4) застосовано узагальнений метод граничних елементів. Подамо розв'язки системи так



$$V_n^{k,-}(\xi) = \sum_{j=1}^N v_j^{k,-}, v_j^{k,-} = \begin{cases} \sum_{l=1}^3 C_{n,l,j}^k (\xi - a)^{-1/2-\gamma_l} & j = 1 \\ C_{n,j}^k (\xi - a)^{-1/2} & j = 2 \dots \\ C_{n,j}^k (b - \xi)^{-1/2} & j = N/2 \dots \\ \sum_{l=1}^3 C_{n,l,j}^k (b - \xi)^{-1/2-\gamma_l} & j = N \end{cases} \quad (6)$$

$$\gamma_1 = 0, \gamma_2 = i\alpha_0, \gamma_3 = -i\alpha_0$$

$$[a, b] = \bigcup [\rho_j, \rho_{j+1}], j = 0 \dots \dots$$

Підставивши (6) в систему (4) та рівняння рівноваги (5) і розглядаючи отриману систему в точках  $r_q, q = 1 \dots$  які є серединами відрізків розбиття  $\Delta_j$  для визначення  $C_{n,l,j}^k$  отримаємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь.

На рис. 2, а, б наведено розподіл відносного нормального напруження  $\sigma_z a^2 / |\mathbf{P}|$  відповідно для комбінації матеріалів **m1-m3** і **m2-m4** при  $\mathbf{P}^* = (1/\sqrt{3}, 1/\sqrt{3}, 1/\sqrt{3})$ ,  $\mathbf{M}^* = (1/\sqrt{3}, 1/\sqrt{3}, 1/\sqrt{3})$ . На рис. 3, а, б наведено розподіл  $\sigma_z a^2 / |\mathbf{P}|$  відповідно для комбінації матеріалів **m1-m3** і **m2-m4** при  $\mathbf{P}^* = (\sqrt{2/3}, 1/2, 1/2\sqrt{3})$ ,  $\mathbf{M}^* = (\sqrt{2/3}, 1/2, 1/2\sqrt{3})$

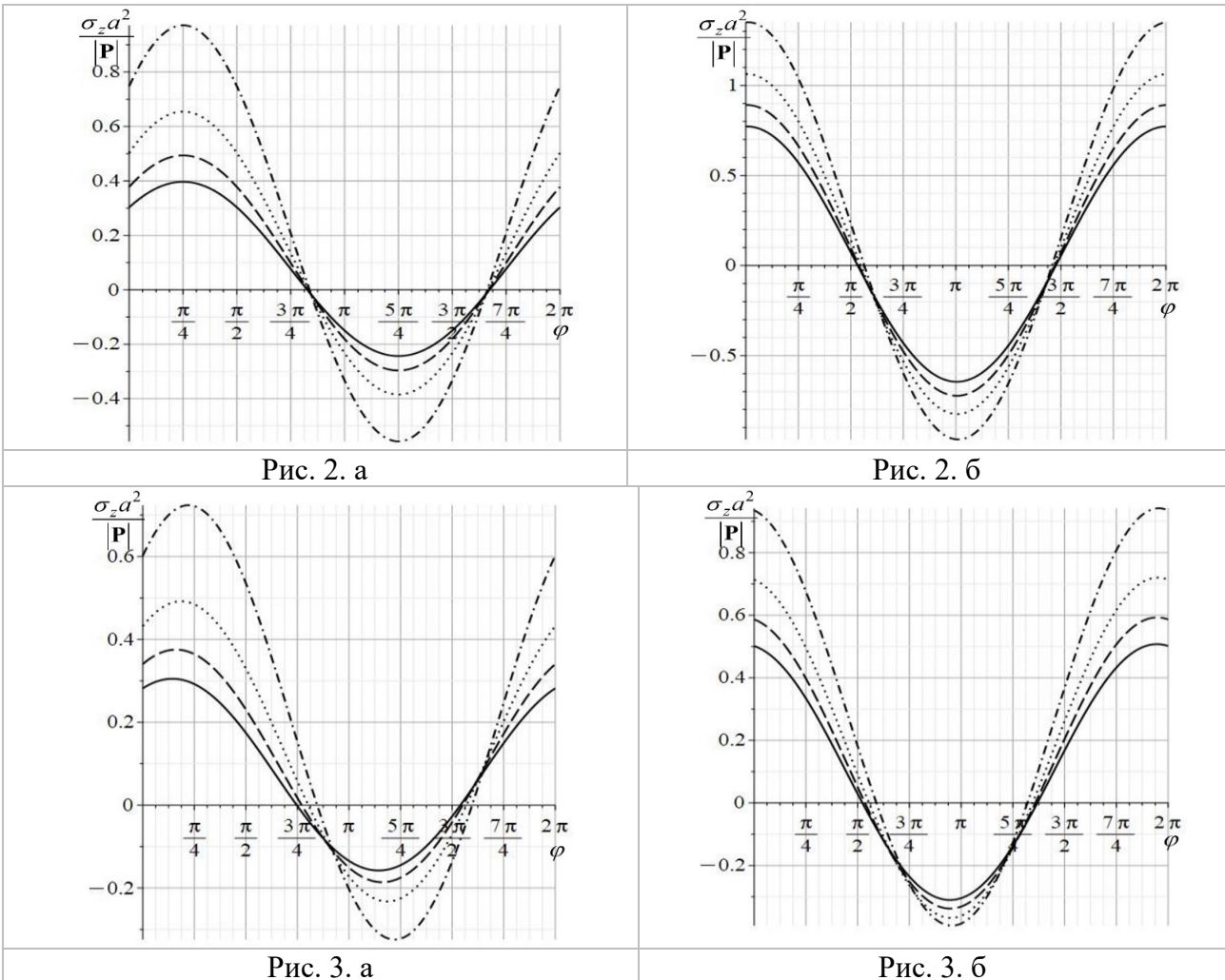


Рис. 2. а

Рис. 2. б

Рис. 3. а

Рис. 3. б

**Висновки.** Результати обчислень показують, що відносні нормальні напруження є не осесиметричними, суттєво залежать від полярного кута і можуть змінювати свій знак. Лінії зміни знаку залежать від комбінацій матеріалів і від напрямку векторів  $P^*$  і  $M^*$ .

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Kryvyi, O. The discontinuous solution for the piece-homogeneous transversal iso-tropic medium. *Modern Analysis and Applications. – Ser. Operator Theory: Advances and Applications.* **2009**, 191, 395–406. [https://doi.org/10.1007/978-3-7643-9921-4\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-7643-9921-4_25).
2. Кривий, О. Ф. Міжфазні кругові включення в кусково-однорідному трансверсально-ізотропному просторі. *Прикл. проблеми механіки і математики.* **2010**, 8, 173–183.
3. Кривий, О.; Морозов, Ю. Термоактивне міжфазне включення в умовах гладкого контакту з трансверсально-ізотропними півпросторами. *Frattura Ed Integrità Strutturale.* **2020**, 14 (52), 33–50. <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.52.04>.
4. Kryvyi, O. F.; Morozov, Yu. O. Solution of the problem of heat conduction for the transversely isotropic piecewise-homogeneous space with two circular inclusions. *J. Math. Sci.* **2019**, 243(1), 162–182. <https://doi.org/10.1007/s10958-019-04533-1>.
5. Kryvyi, O. F.; Morozov, Yu. O. The fundamental solution of the problem of thermo-elasticity for a piecewise homogeneous transversely isotropic elastic space. *Дослідження в математиці і механіці.* **2020**, 25, 1(35), 16–30. [https://doi.org/10.18524/2519-206x.2020.1\(35\).222294](https://doi.org/10.18524/2519-206x.2020.1(35).222294).
6. Kryvyi, O. F. Tunnel inclusions in a piecewise homogeneous anisotropic space. *Mat. Met. Fiz.-Mekh. Polya.* **2007**;50(2), 55–65.
7. Кривой, А. Ф., & Радиолло, М. В. Особенности поля напряжений возле включений в составной анизотропной плоскости. *Изв. АН СССР. Механика твёрдого тела.* **1984**, 3, 84–92.

УДК 539.3

### МІЖФАЗНІ ВКЛЮЧЕННЯ ПРИ ЗМІШАНИХ УМОВАХ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ІЗ КУСКОВО-ОДНОРІДНОЮ АНІЗОТРОПНОЮ ПЛОЩИНОЮ

**К.М. Архипенко**, кандидат ф.-м. наук, доцент  
**О.Ф. Кривий**, доктор ф.-м. наук, професор  
Національний університет «Одеська морська академія»

**Анотація:** Розглянуто задачу про два міжфазних включення у кусково-однорідній анізотропній площині. На берегах включень реалізовано умови гладкого контакту та змішанні умови контактної взаємодії. Задачу за допомогою системи фундаментальних розв'язків зведено до системи сингулярних інтегральних рівнянь, розв'язок якої отримано методом ортогональних многочленів. Отримано формули для коефіцієнтів інтенсивності напружень у вершинах включень.

**Ключові слова:** міжфазні включення, гладкий контакт, змішанні умови контактної взаємодії, анізотропна площина, коефіцієнт інтенсивності напружень.

### INTERPHASE INCLUSIONS UNDER THE MIXED CONDITIONS OF CONTACT INTERACTION WITH PIECEWISE-HOMOGENEOUS ANISOTROPIC PLANE

**K. Arkhynenko**, Ph.D., Assistant Professor  
**O. Kryvyi**, Dr. of Science, Professor  
National University «Odessa Maritime Academy»

**Abstract:** The problem about two interphase inclusions in a piecewise-homogeneous anisotropic plane has been considered. On the shores of the inclusions, the conditions of smooth contact and the mixed conditions of contact interaction are implemented. Applying the system of fundamental solutions, the problem has

been reduced to a system of singular integral equations, the solution of which has been obtained by the method of orthogonal polynomials. The formulas for the stress intensity factors at the tops of the inclusions have been obtained.

**Key-words:** interphase inclusions, smooth contact, mixed conditions of contact interaction, anisotropic plane, stress intensity factor.

Розглянуто задачу про міжфазні тонкі включення, розташовані на лінії з'єднання (вісь  $Oy$ ) двох різних анізотропних півплощин. На берегах включень  $L_j = \{x=0, y \in [a_j; b_j]\}$ ,  $j=1,2$  реалізовані змішанні умови гладкого контакту та повного зчеплення для  $L_1$  і гладкого контакту для  $L_2$ . Сили, прикладені на нескінченості, призводять до виникнення напружень на включеннях, що зводяться до результуючих сил  $P^{(j)} = (P_1^{(j)}, P_2^{(j)})$ ,  $j=1,2$  з моментами сил  $P_0^{(j)}$ ,  $j=1,2$  відносно центрів включень.

За зазначених умов контактної взаємодії включень з анізотропними півплощинами на включенні  $L_1$  нульовими є дотичне напруження на лівому березі і дотичне переміщення на правому березі та нормальне переміщення на обох берегах, а невідомими є нормальне напруження, дотичне переміщення на правому березі та дотичне переміщення на лівому березі. На включенні  $L_2$  відомі дотичне напруження та нормальне переміщення, а невідомими є нормальне напруження та дотичне переміщення. Використовуючи систему фундаментальних розв'язків [1], поставлену задачу зведено до системи сингулярних інтегральних рівнянь (СІР) відносно невідомих стрибків нормального напруження  $H_{1j}^-(y)$ ,  $y \in L_j$ ,  $j=1,2$  та дотичного напруження  $H_{21}^-(y)$ ,  $y \in L_1$  і стрибків похідної дотичного переміщення  $H_{31}^-(y)$ ,  $y \in L_1$  та  $H_{32}^-(y)$ ,  $y \in L_2$ :

$$\begin{cases} b_{21}H_{11}^-(y) + (b_{22} - l) \cdot H_{21}^-(y) + \sum_{k=1}^3 c_{2k} \cdot \Gamma[H_k^-](y) = 0, \\ b_{31}H_{11}^-(y) + (b_{33} + l) \cdot H_{31}^-(y) + \sum_{k=1}^3 c_{3k} \cdot \Gamma[H_k^-](y) = 0, \quad y \in L_1, \\ -b_{31}H_{21}^-(y) - b_{21}H_{31}^-(y) + \sum_{k=1}^3 c_{4k} \cdot \Gamma[H_k^-](y) = 2l\delta_1, \end{cases} \quad (1a)$$

$$\begin{cases} b_{21}H_{12}^-(y) + \sum_{k=1}^3 c_{2k} \cdot \Gamma[H_k^-](y) = 0 \\ -b_{21}H_{32}^-(y) + \sum_{k=1}^3 c_{4k} \cdot \Gamma[H_k^-](y) = 2l\delta_2 \end{cases} \quad y \in L_2, \quad (1b)$$

$$\Gamma[f](y) = \frac{1}{\pi} \int_L \frac{f(t)}{t-y} dt, \quad L = L_1 \cup L_2$$

де  $b_{kj}, c_{kj}, l$  – сталі, що залежать від пружних властивостей анізотропних півплощин, а  $\delta_j, j=1,2$  – невідомі кути повороту включень. Постановку задачі завершують додаткові умови, що описують умови рівноваги включень:

$$\int_{L_1} H_{11}^-(y) dy = P_0^{(1)}, \int_{L_1} H_{11}^-(y) dy = P_1^{(1)}, \int_{L_1} H_{21}^-(y) dy = P_2^{(1)}, \int_{L_1} H_{31}^-(y) dy = 0, \quad (2a)$$

$$\int_{L_2} H_{1j}^-(y) dy = P_0^{(2)}, \int_{L_2} H_{12}^-(y) dy = P_1^{(2)}, \int_{L_2} H_{32}^-(y) dy = 0. \quad (2b)$$

Застосовуючи метод, використаний у роботах [2-4], системи СІР (1) зведено до систем СІР, які наведемо у матричній формі:

$$\mathbf{J}^{(j)} \cdot \mathbf{G}^{(j)}(y) + \Gamma[\mathbf{G}](y) = \mathbf{F}^{(j)}, \quad y \in L_j, \quad j=1,2, \quad (3)$$

$$\mathbf{G}^{(1)}(y) = (g_1^{(1)}(y), g_2^{(1)}(y), g_3^{(1)}(y))^T, \quad y \in L_1, \quad \mathbf{G}^{(2)}(y) = (g_1^{(2)}(y), g_2^{(2)}(y))^T, \quad y \in L_2,$$

де  $\mathbf{J}^{(j)}$  – жорданові матриці, а  $\mathbf{G}^{(j)}(y)$ ,  $j=1,2$  – матриці лінійних комбінацій невідомих стрибків напружень і переміщень. Аналіз розв'язків матричних рівнянь (3) дозволив встановити, що невідомі функції  $\mathbf{G}^{(1)}(y)$  мають у вершинах включень кореневу особливість підсилену степенною, а саме  $g_k^{(1)}(y) = O\left((y-a_1)^{-\gamma_k^{(1)}}(b_1-y)^{-1+\gamma_k^{(1)}}\right)$ ,  $k = \overline{0,2}$ , де  $\gamma_0^{(1)} = \frac{1}{2}$ ,  $\gamma_k^{(1)} = \frac{1}{2} + (-1)^k \alpha_{01}$ ,  $k=1,2$ . Невідомі функції  $\mathbf{G}^{(2)}(y)$  мають у вершинах включень степеневу особливість, а саме  $g_k^{(2)}(y) = O\left((y-a_2)^{-\gamma_k^{(2)}}(b_2-y)^{-1+\gamma_k^{(2)}}\right)$ ,  $k=1,2$ , де  $\gamma_k^{(2)} = \frac{1}{2} + (-1)^k \alpha_{02}$ ,  $k=1,2$ . Останнє дозволяє шукати невідомі функції у вигляді рядів за многочленами Якобі:

$$g_k^{(j)}(t) = (1-t)^{-\gamma_k^{(j)}} (1+t)^{-1+\gamma_k^{(j)}} \sum_{n=0}^{\infty} q_{kn}^{(j)} P_n^{-\gamma_k^{(j)}, -1+\gamma_k^{(j)}}(t), \quad k=1, j=\overline{0,2}, \quad k=2, j=1,2. \quad (4)$$

Застосовуючи до систем СІР (3) метод ортогональних многочленів, відносно невідомих коефіцієнтів  $q_{jn}^{(k)}$  отримаємо нескінчену систему лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} q_{jm+1}^{(1)} + \frac{((m+1)!)^2 \sin^2 \pi \gamma_j^{(1)}}{\pi^2 \gamma_j^{(1)} (1-\gamma_j^{(1)})} \sum_{l=1}^3 M_{jl}^{(1)} \sum_{k=1}^2 \sum_{n=0}^{\infty} q_{ln}^{(k)} J_{jlnm}^{(k)} = F_{jm}^{(1)}, \quad j = \overline{0,2}, \quad m = \overline{0, \infty} \\ q_{jm+1}^{(2)} + \frac{((m+1)!)^2 \sin^2 \pi \gamma_j^{(2)}}{\pi^2 \gamma_j^{(2)} (1-\gamma_j^{(2)})} \sum_{l=1}^2 M_{jl}^{(2)} \sum_{k=1}^2 \sum_{n=0}^{\infty} q_{ln}^{(k)} J_{jlnm}^{(k)} = F_{jm}^{(2)}, \quad j = 1,2, \quad m = \overline{0, \infty} \end{cases} \quad (5)$$

Наближений розв'язок системи (5) отримано методом редукції.

Представлення (4) дозволяє отримати формули для узагальненого коефіцієнта інтенсивності напружень (УКІН) нормального розриву у вершинах включень:

$$\begin{aligned} K1_1^{\pm} &= \frac{\sqrt{b_1-a_1}}{2l} \left| \sum_{j=0}^2 c_{1j+1} \cdot S_{j+1,1}^{(1)} \left( \sqrt{1-(\alpha_{0j}^{(1)})^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{q_{jn}^{(1)} (0.5 \mp)}{(\pm 1)^n n!} \pm \frac{2P_1^{(1)}}{\pi(b_1-a_1)} \right) \right|, \\ K2_1^{\pm} &= \frac{\sqrt{b_1-a_1}}{2l} \left| \sum_{j=0}^2 c_{2j+1} \cdot S_{j+1,2}^{(1)} \left( \sqrt{1-(\alpha_{0j}^{(1)})^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{q_{jn}^{(1)} (0.5 \mp)}{(\pm 1)^n n!} \pm \frac{2P_2^{(1)}}{\pi(b_1-a_1)} \right) \right|, \\ K1_2^{\pm} &= \frac{\sqrt{b_2-a_2}}{2l} \left| \sum_{j=1}^2 c_{2j} \cdot S_{j1}^{(2)} \left( \sqrt{1-(\alpha_{0j}^{(2)})^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{q_{jn}^{(2)} (0.5 \mp)}{(\pm 1)^n n!} \pm \frac{2P_1^{(2)}}{\pi(b_2-a_2)} \right) \right|, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $K1_j^{\pm}$ ,  $j=1,2$  – УКІН нормального розриву на включенні  $L_j$  у верхній і нижній вершині відповідно,  $K2_1^{\pm}$  – УКІН дотичного розриву на включенні  $L_1$  у верхній і нижній вершині відповідно.

Формули (6) дозволяють дослідити залежність узагальненого коефіцієнта інтенсивності напружень нормального розриву від анізотропних сталей півплощин, прикладених зовнішніх сил і відстані між включеннями.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кривой А.Ф., Радиолло М.В. Особенности поля напряжений в составной анизотропной плоскости // Изв. Ан СССР, МТТ. 1984.– С.84-92.
2. Кривий О.Ф., Архипенко К.М. Тріщина, що виходить на лінію з'єднання двох різних анізотропних півплощин // Мат. методи та фіз.-мех. поля. 2005. Т. 48. №3.С. 110-116.
3. Кривой А.Ф., Попов Г.Я. Особенности поля напряжений возле туннельных включений в неоднородном анизотропном пространстве//Прикл. механика. 2008. Т. 44, №6. С.36-45.
4. Arkhupenko K., Kryvyi O.: Arbitrary Oriented Defects in Anisotropic Quarter Plane. In: Gdoutos E. (eds) Proceedings of the First International Conference on Theoretical, Applied and Experimental Mechanics. ICTAEM 2018. Structural Integrity, vol 5, pp. 392-393. Springer, Cham (2019). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91989-8\\_93](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91989-8_93)

УДК 519.87:629.5.064.5

**НЕЧІТКА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОРУШІЄМ МАЛОГО  
БЕЗПЛОТНОГО НАДВОДНОГО СУДНА**

**С. М. Галаган**, старший науковий співробітник  
**Г. В. Налева**, к.т.н., доцент  
**О. А. Онищенко**, д.т.н., професор  
Національний університет "Одеська морська академія"

***Анотація.** З аналізу джерел встановлено, що електромеханічні системи ефективні в системах стабілізації руху суден, наприклад, у системах автопілоту. При технічній реалізації автопілотів і електрорушійів використовують різного типу контролери. Показані основні принципи створення ефективних математичних моделей електромеханічних систем, побудованих на основі електричних двигунів. Ця побудова проходить за допомогою спрощення математичного опису двигунів і використання при моделюванні структурних схем. Наведена послідовність побудови моделі електромеханічної системи, яка регулює швидкість асинхронного двигуна. Запропоновано використання спрощеного нечіткого контролера, який відрізняється симетричною побудовою процедур фазіфікації. Наведені результати моделювання електрорушійної системи малого безпілотного судна при використанні нечіткого контролера.*

***Ключові слова:** електропривод, асинхронний двигун, електрорушій, безпілотний плавальний апарат, математичне моделювання, структурні схеми, нечіткий контролер.*

**FUZZY ELECTRIC MOTOR CONTROL SYSTEM SMALL  
UNMANNED SURFACE VESSEL**

**S. Halahan**, Senior Research Associate  
**G. Naleva**, Ph.D., Assistant Professor  
**O. Onishchenko**, Doctor of Technical Sciences, Professor  
National University "Odesa Maritime Academy", Ukraine

***Abstract.** Based on the analysis of sources, it has been established that these systems are effective in ship motion stabilization, particularly in autopilot systems. Various types of controllers are employed in the technical implementation of autopilots and electric thrusters. The paper outlines key principles for developing effective mathematical models of electromechanical systems based on electric motors. This development is achieved by simplifying the mathematical descriptions of motors and using block diagrams in*

*modeling. The model-building sequence for an electromechanical system regulating asynchronous motor speed is presented. The use of a simplified fuzzy controller with a symmetrical fuzzification process is proposed. The results of modeling the electric propulsion system for a small unmanned vessel using a fuzzy controller are provided.*

**Key words:** *electric drive, asynchronous motor, electric motor, unmanned floating device, mathematical modeling, structural diagrams, fuzzy controller.*

На маневрені характеристики автономних суден малої водотонажності безпосередньо впливають не тільки якість алгоритмів роботи суднового автопілоту, а і його електромеханічні системи – рульова та електрорушійна. У обох випадках головними елементами цих систем є контролери і виконавчі механізми (ВМ). Основними ВМ у більшості малих безпілотних надводних суден (МБНС) є електричні машини та засоби автоматизації різних його механізмів [1-3]. Загалом, саме вони, їх властивості та параметри, насамперед, визначають основний експлуатаційний процес МБНС та надійність виконання ним необхідних завдань. Найпростішим способом підвищення комплексної результуючої ефективності створеного судна є проведення попередніх "оптимізаційних" наукових досліджень. Метою таких досліджень є оптимізація за заданими критеріями техніко-експлуатаційних характеристик судна, зокрема – підвищення загальної ефективності використаних у механізмах суден електроприводів (наприклад, з безщітковими двигунами). Це здійснено на основі застосування відомих загально-теоретичних (фізичних) принципів функціонування електричних двигунів одночасно з математичним моделюванням. Саме тому такі дослідження є актуальними.

Метою дослідження є представлення можливостей нечітких контролерів (НК) при використанні трифазних асинхронних електричних двигунів (АД) у електромеханічних системах МБНС у режимах регулювання швидкості при змінах напруги при постійній частоті мережі живлення, визначення принципів побудови математичних моделей таких систем на основі структурних схем.

При деякому спрощенні електричні машини змінного струму уявляють собою електромеханічні динамічні системи-перетворювачі із зосередженими параметрами, процеси в яких у загальному випадку описуються звичайними нелінійними диференціальними рівняннями [2, 3]. При реалізації технічних проєктів електромеханічних систем (рульових, електрорушійних, допоміжних тощо) МБНС не має особливої необхідності у використанні найбільш точних методів, що одночасно описують електромагнітні і електромеханічні процеси.

Як відомо, опір руху будь-якого морського судна збільшується при збільшенні швидкості судна ("вентиляторна" механічна характеристика). Також відомо, що найбільш технічно проста схема регулювання швидкості АД заснована на принципі змінювання напруги живлення двигуна при незмінній (постійній) частоті мережі. У такому режимі регулювання суттєво змінюється критичне ковзання і за рахунок цього змінюється нахил механічної характеристики АД при різних напругах перетворювача при постійній частоті  $f$  живлення. За рахунок накладання цих двох характеристик досягається ефект регулювання швидкості, що дозволяє будувати досить прості розімкнені і замкнені за швидкістю системи керування електрорушійними. При цьому можна використовувати найбільш простий і поширений математичний опис електромеханічних процесів АД (формули Клоса, зв'язок між моментом, струмом і напругою живлення тощо). У спрощеному вигляді структурна модель електрорушійної з АД може бути представлена у вигляді, як наведено на рис. 1.

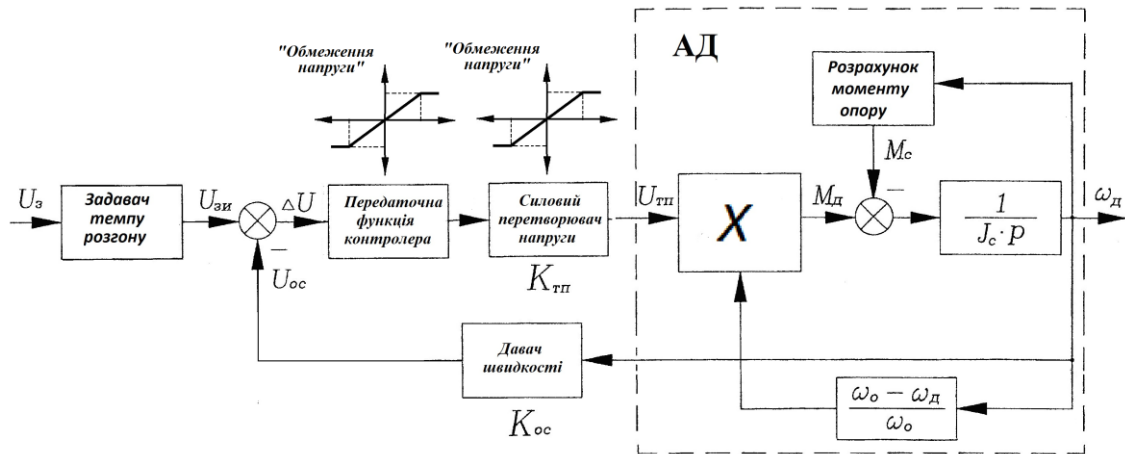


Рисунок 1 – Спрощена структурна схема системи управління електрорушієм МБНС

Тут позначено:  $\omega_0$  та  $\omega_d$  – швидкість ідеального холостого ходу та швидкість ротору АД, рад/с;  $J_c$  – сумарний момент інерції, кг·м<sup>2</sup>; "X" – блок множення;  $p$  – оператор Лапласа;  $M_d$ ,  $M_c$  – момент двигуна і момент опору руху, Нм;  $K_{ТП}$  – коефіцієнт передачі силового перетворювача напруги;  $K_{OC}$  – коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю, В·с/рад;  $U_{ТП}$  – напруга на виході перетворювача, В;  $U_{OC}$  – напруга на виході давача швидкості, В;  $\Delta U$  – сигнал помилки регулювання швидкості, В;  $U_3$ ,  $U_{зи}$  – сигнали завдання швидкості, В.

Вже такого представлення (рис. 1) достатньо для синтезу за необхідними критеріями контролера керування перетворювачем. У [2] наведено послідовність розрахунку моменту  $M_d$  двигуна (1) за формулою Клоса і моменту  $M_c$  опору (2):

$$M_d = \frac{M_{k1}(2as_k + 1)}{s_k / s + s / s_k + 2as_k}, \quad (1)$$

де  $s$  – поточне значення ковзання, розраховане на основі виміру швидкості ротору АД, в.о.;

$s_k$  – критичне ковзання при номінальній напрузі, в.о.;

$a$  – конструктивний коефіцієнт АД, в.о..

$$M_c = M_{ид} \text{sign}(\omega_d), \quad (2)$$

де  $M_{ид}$  – розрахункове значення моменту опору, у якому нескладно додатково урахувати квадратичну (або іншого вигляду) залежність моменту опору від швидкості АД електрорушія.

На основі рівняння руху електроприводу

$$M_d - M_c = J_c \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

визначаємо швидкість АД.

Аналіз динаміки роботи схеми (рис. 1, налаштування на "модульний оптимум") і моделювання системи стабілізації швидкості з класичними ПІ- та ПІД-контролерами показали, що при наявних нелінійних елементах така система підтримує належну якість процесів лише у вузькому діапазоні змін параметрів об'єкту регулювання. Саме тому пропонується використання нечіткого контролера (НК), побудованого за правилами, що наведені у [4-6]. Нечітке керування має властивості робастності, а поєднання кількох нечітких контролерів (НК) для окремих складових (П, І, Д) дозволило одержати добрі динамічні властивості судна.

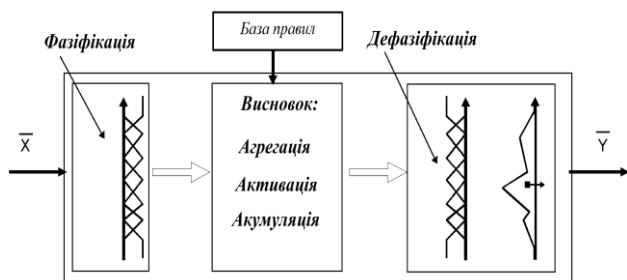


Рисунок 2 – Функціональні елементи НК

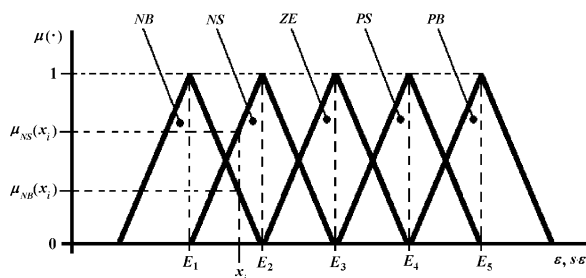


Рисунок 3 – Обрані функції приналежності НК

Зв'язок функцій приналежності і таблиці правил НК (рис. 2 та рис. 3) наведені у [4-6]. Для асинхронного двигуна з параметрами 15,5 кВт, 380 В, 50 Гц, 1404 об/хв, 106 Нм синтезовано схему стабілізації швидкості з ПІ-контролером. Силовий перетворювач – найпростіший регулятор напруги з загальною інерційною частиною близько до 0,03 с, давач швидкості – імпульсний тахогенератор з фільтром інерційністю 0,015 с. Використовувався ПІ-контролер швидкості, налаштований при лінеаризації системи на "симетричний" оптимум, який працює з задавачем інтенсивності на вході. У систему вносилося періодичне збурення (5 Нм, 200 рад/с). Навантаження несе характер квадратичної залежності. Система суттєво нелінійна (регулятор напруги має обмеження на рівні 380 В, регулятор швидкості на рівні  $\pm 10$  В, навантаження "вентиляторного характеру", АД – згідно наведеної вище послідовності розрахунку моделі АД). До того ж, необхідно взяти до уваги, що малі морські безпілотні судна з позицій керування їх рухом є нелінійними системами.

На рис. 4 і 5 наведені результати моделювання системи з НК при її роботі без задавача інтенсивності, де позначено: 1 – напруга на виході перетворювача, В; 2 – момент двигуна, Нм; 3 – швидкість, рад/с; 4 – момент навантаження, Нм.

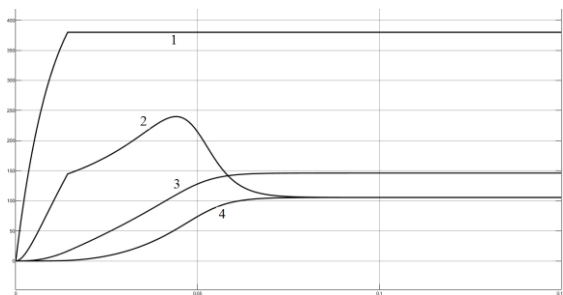


Рисунок 5 – Пуск у системі з НК при номінальних умовах експлуатації і відсутності збурення

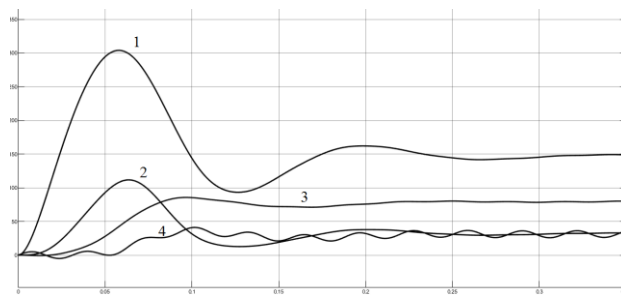


Рисунок 6 – Пуск у системі з НК на середню швидкість і дії періодичного збурення

**Висновки.** Спрощене структурне уявлення електрорушійного пристрою МБНС на основі АД з перетворювачем напруги та з урахуванням обґрунтованих припущень дозволяє легко реалізувати його математичну модель і подальший синтез контролерів. Швидкість побудови і дослідження математичних моделей електрорушійів МБМС на основі структурних перетворень та урахування лише найголовніших факторів і параметрів АД та силового перетворювача є основною перевагою при практичній реалізації МБНС, при багатоваріантному пошуку найкращого технічного рішення з його побудови. Пропоноване рішення системи стабілізації руху МБНС з НК і регулятором напруги живлення АД є дієвим, що підтверджується моделюванням основних процесів, та дозволяє подальший синтез аналогічних систем стабілізації.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Волянський С. М., Волянська Я. Б., Онищенко О. А. Тренди розвитку багатоцільових автономних плавальних апаратів подвійного призначення. Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах: збірник XX науково-технічної конференції, 03-04 вересня 2020 р. – С. 52-54. ДНДІ ВС ОБТ. – Чернігів: Видавець Брагинець О. В., 2020. – 295 с.
2. Налева Г. В., Онищенко О. А. Спрощена математична модель асинхронного електрорушії морських безпілотних суден. XIII міжнародна науково-технічна конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика" (SEIEA-2023), 22-23 листопада 2023 р. – С. 133-138. <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEIEA-2023.22.11.23.pdf>.
3. Onishchenko O., Melnyk O., Onyshchenko S., etc. Development of simplified mathematical models of asynchronous electric motor systems for multipurpose unmanned vessels. The 1st Trunojoyo Madura International Conference of Science and echnology, 29 November 2023, Indonesia. – P. 456-460. [https://lppm.trunojoyo.ac.id/rushmore\\_event/1st-tmic-trunojoyo-madura-international-conf/](https://lppm.trunojoyo.ac.id/rushmore_event/1st-tmic-trunojoyo-madura-international-conf/) ; <https://tmic.ptti.info/#topic>.
4. Melnyk O., Onishchenko O. Onyshchenko S. etc. Application of fuzzy controllers in automatic ship motion control systems. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol. 13, No. 4, August 2023, pp. 3948~3957. ISSN: 2088-8708. DOI: 10.11591/ijece.v13i4.pp3948-395.
5. Volyanskyu S., Vorokhobin Ig., Volyanskaya Ya., Mazur O., Onishchenko O. Marine ship's course stabilization based on an autopilot with a simple fuzzy controller. Scientific Bulletin of Naval Academy, 2022, Vol. XXV, Iss. 1, pp. 23 -35. (Series B: Electrical Engineering, Automation and Computer Sciences). DOI:10.21279/1454-864X-22-11-003.
6. Голіков В. А., Налева Г. В., Мазур О. М., Онищенко О. А. Нечіткій регулятор автостерна малого безпілотного морського судна. Мат. наук.-техн. конф. «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 2024. – С. 11-15. – Одеса: НУ "ОМА", 2024. – 306 с.

## Секція 6. РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА

УДК 004.056.5/946.5:656.61

### ПОТЕНЦІЙНІ ЗАГРОЗИ У СУДНОВОМУ КІБЕРПРОСТОРИ

**А. В. Ципа**, здобувач другого рівня вищої освіти  
**Д.Д. Дмухайлов**, здобувач другого рівня вищої освіти  
**С.А. Михайлов**, д.т.н., професор  
Національний Університет «Одеська Морська Академія»

***Анотація:** У статті досліджуються потенційні загрози в судновому кіберпросторі, зокрема ризики, пов'язані з інформаційною безпекою на борту суден. Описуються різновиди загроз, їхні джерела та наслідки для конфіденційності, цілісності й доступності інформації. Акцентується увага на технічних вразливостях, людських помилках та природних чинниках, що можуть сприяти успішним кібератакам. Також висвітлюється мотивація потенційних зловмисників та класифікація загроз за різними критеріями.*

***Ключові слова:** кібербезпека, інформаційна загроза, судновий кіберпростір, зловмисники, кібератаки, вразливості, мотивація загроз.*

### POTENTIAL THREATS IN MARITIME CYBERSPACE

**A.V. Tsypa**, second-level graduate of higher education  
**D.D. Dmukhailov**, second-level graduate of higher education  
**S.A. Mikhailov**, Dr. of Science, Professor  
National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract:** This article explores potential threats in maritime cyberspace, particularly risks associated with information security onboard vessels. It describes the types of threats, their sources, and the consequences for the confidentiality, integrity, and availability of information. The focus is on technical vulnerabilities, human errors, and natural factors that can contribute to successful cyberattacks. Additionally, the motivation of potential attackers and the classification of threats based on various criteria are highlighted.*

***Keywords:** cybersecurity, information threat, maritime cyberspace, attackers, cyberattacks, vulnerabilities, threat motivation.*

Сучасна література поняття "інформаційна загроза" розглядає як потенційну можливість певним чином порушити інформаційну безпеку, чи ступінь імовірності виникнення такого явища (події), наслідком якого можуть бути небажані впливи на інформацію, тоді як намагання реалізувати загрозу розглядається атакою, а той, хто починає таку спробу, — як зловмисник. Потенційні зловмисники називаються джерелами загрози. Успішність атаки може приводити до втрати інформацією однієї з критичних особливостей (конфіденційності, цілісності чи доступу до інформації).

Зазвичай загроза є наслідком наявності вразливих місць у захисті інформаційних систем (таких, наприклад, як можливість доступу сторонніх осіб до критично важливого устаткування або помилки у програмному забезпеченні). Загроза інформації, що циркулює в інформаційній системі, залежить від її структури та конфігурації, технології оброблення інформації в ній, стану навколишнього фізичного середовища, а також дій персоналу.

Варто наголосити, що ряд загроз не слід вважати наслідком якихось помилок, прорахунків чи злого умислу, адже вони існують внаслідок самої природи інформаційних систем (загроза відключення електрики чи її параметрів за допустимі межі існує через залежність апаратного забезпечення інформаційної системи від якісного електроживлення). Часто існують

загрози заподіяння шкоди системам оброблення даних через фізичний вплив стихійних природних явищ, що не залежать від людини.

Загрози інформаційній безпеці можна класифікувати за такими критеріями:

– за аспектом інформаційної безпеки (доступність, цілісність, конфіденційність), на що спрямовані загрози передусім;

– за компонентами інформаційних систем, на які спрямовані загрози (дані, програми, апаратура, підтримуюча інфраструктура);

– за способом здійснення (випадкові/навмисні дії природного/ техногенного характеру);

– за розміщенням джерела загроз (всередині/ззовні інформаційної системи).

Найбільш розповсюдженими і небезпечними загрозами доступності є ненавмисні помилки постійних користувачів, операторів, системних адміністраторів та інших осіб, що обслуговують інформаційні системи. Саме такі помилки зазвичай і стають загрозами (неправильно введені дані чи помилка в програмі, що призвела до краху системи), іноді вони створюють слабкі місця, якими можуть скористатися зловмисники. Статистика свідчить, що близько 65 % втрат — наслідок ненавмисних помилок. Виходячи з цього, найбільш радикальний спосіб боротьби з ненавмисними помилками — максимальна автоматизація і строгий контроль.



Рисунок 1 - Мотивація суб'єктів загрози кібербезпеки

Мотивація кібератаки на суднову систему, як це показано на рис. 1, може бути для однієї з наступних шести цілей:

– кібернетичне використання - це включає злочинну діяльність низького рівня, включаючи вандалізм зрив систем, вилучення веб-сайтів та несанкціонований доступ до системи. Дії можуть здійснюватися сценаристами через посередницьку діяльність невдоволеним персоналом і підрядниками. Дослідники отримують доступ до системи без повноважень власника системи, їх дії можуть не бути шкідливими, але однак, це вважається злочином, регламентоване законом про комп'ютерне зловживання;

– активістські групи (також відомі як "хакери") - шукають реклами чи створення тиску на користь конкретної мети чи причини, наприклад, для запобігання поведінки з конкрет-

ними вантажами або порушення роботи судна. Метою може бути саме судно, оператор судна або третя сторона, така як постачальник або одержувач вантажу.

– шпигунство - пошук несанкціонованого доступу до конфіденційної інформації (інтелектуальна власність, комерційна інформація, корпоративні стратегії, особисті дані, шаблон життя) і зрив у державних або комерційних цілях.

– організована злочинність - в основному обумовлена фінансовою вигодою, це може включати злочинні пошкодження, викрадення вантажу, контрабанда товарів і людей, і прагнення ухилитися від податків та акцизні зборів.

– тероризм - використання судна для заподіяння страху та фізичного та економічного зриву;

– війна - конфлікт між національними державами, де метою є зрив перевантаження системи / інфраструктури, щоб відмовитися від оперативного використання або відключення конкретних суден, таких як танкери з продуктом.

Учасники загрози можуть бути розділені на одну з семи категорій:

- особистості, наприклад, інсайдери;
- активістські групи, також відомі як "хактивісти";
- комерційні конкуренти;
- кіберзлочинність;
- терористи;
- національні держави та субсидії, що фінансуються державою.

**Висновки.** Загрози інформаційній безпеці на судах є різноманітними та складними, охоплюючи як навмисні атаки, так і випадкові помилки. Успішна кібератака може призвести до втрати конфіденційності, цілісності або доступності інформації, що робить критично важливим ефективний захист кіберпростору судна. Вразливі місця можуть виникати через помилки в програмному забезпеченні, неналежну кібергігієну або недостатній контроль над сторонніми ІТ-пристроями на борту. Класифікація загроз за критеріями допомагає краще розуміти можливі джерела атак та типи впливу. Найбільш розповсюдженими є ненавмисні помилки користувачів, тому максимальна автоматизація і контроль є ключовими для зменшення таких ризиків. Регулярне оновлення стратегій кібербезпеки та впровадження нових підходів до захисту є необхідним у боротьбі з постійно зростаючими кібератаками.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Михайлов С.А., Шевцов Ю. С., Сочинський Д.Р. Конфігурація системи кібербезпеки судна та бортового персоналу. [Текст] / Михайлов С.А., Шевцов Ю. С., Сочинський Д.Р. // Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.2021 - 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 120-123.

2. Структура защиты информации в международной географической организации / Михайлов С.А., Шевцов Ю.С // Інформаційні управляючі системи та технології: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції / відп. ред. В.В. Вичужанін ; Одеса:изд-во “Екологія”, 2019 нац. політех. ун-т.

3. Захист цифрових даних в судовому сегменті морської інфраструктури Ю.С. Шевцов, Н.С. Михайлов, Д. Д. Дмухайлов Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика // Матеріали науково-методичної конференції: Одеса, Національний університет «Одеська морська академія» 2020. – с.134-136.

## ЙМОВІРНІСТЬ ВИЯВЛЕННЯ ЦІЛІ СУДНОВОЮ НАВІГАЦІЙНОЮ РЛС

В.І. Купровський, к.т.н., доцент

Національного університету «Одеська морська академія»

**Анотація:** розглянуто спосіб оцінки ймовірності виявлення цілей навігаційною РЛС Х-діапазону, коли пошукову ситуацію можна уявити у вигляді випадкового процесу марківського типу з безперервним часом та дискретними станами. Наведено сімейство кривих для визначення часу виявлення цілі із заданою ймовірністю на різних шкалах дальності

**Ключові слова:** ймовірність виявлення, марківський випадковий процес, пуассоновський потік, потенціал виявлення, пошукова ситуація, шкала дальності

## PROBABILITY OF TARGET DETECTION BY SHIP NAVIGATION RADAR

V. Kuprovskiy, Ph.D., Assistant Professor

National University "Odesa Maritime Academy"

**Abstract:** a method for estimating the probability of detecting targets of an X-band navigation radar is considered, when the search situation can be represented as a Markov-type random process with continuous time and discrete states. A family of curves is presented to determine the time of target detection with a given probability at various range scales

**Key-words:** detection probability, Markov random process, Poisson flow, detection potential, search situation, range scale

Однією з важливих характеристик навігаційної суднової РЛС (НРЛС) є ймовірність виявлення цілі за задане число циклів огляду. Але в технічній та експлуатаційній документації для більшості суднових станцій ця характеристика, як правило, не вказується. Це обумовлено складною залежністю згаданої ймовірності від умов пошуку, характеристик цілей, а також від характеристик та параметрів самої станції. Однак можна навести відносно простий спосіб оцінки ймовірності виявлення, коли пошукову ситуацію можна уявити у вигляді випадкового процесу марківського типу і обмежитися при цьому основними технічними та експлуатаційними характеристиками НРЛС.

У статті розглянуто алгоритм розрахунку ймовірності виявлення цілі для суднової НРЛС Х-діапазону FURUNO (FR-8122/FR-8062). Основні характеристики зазначеної станції, необхідні для розрахунку, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики НРЛС FURUNO (FR-8122/FR-8062)

Шкала дальності (nm)	Тривалість імпульсу $\tau$ , мкс	Частота зондування $F$ , Гц	Швидкість обертання антени $\Omega$ , об/хв	Ширина діаграми спрямованості антени $\theta$ , град	Потужність в імпульсі, кВт
0,125 – 1,5	0,08	2100	48	1,9	12
1,5 – 3,0	0,3	1200	36	1,9	12
3,0 – 72,0	0,8	600	24	1,9	12

Пошук об'єкта з метою виявлення або пошукову ситуацію будемо розглядати як випадковий процес, хід і результат якого залежить від ряду випадкових факторів. Для кількісного опису процесу пошуку представимо його у вигляді марківського випадкового процесу з безперервним часом та дискретними станами. Реальні процеси пошуку можуть бути і немарків-

ськими, проте складність їх аналізу, з одного боку, і неповнота інформації про них – з іншого, змушують зробити припущення про їх марківність, тобто знехтувати залежністю ймовірності виявлення від передісторій процесу.

При розгляді випадкових марківських процесів з безперервним часом і дискретними станами вводиться поняття потоку подій. Що стосується процесу пошуку, потік подій – це послідовність чи потік виявлень. У більшості пошукових завдань потік виявлень має такі властивості, як відсутність післядії, ординарність і стаціонарність, тобто є стаціонарним пуассонівським чи найпростішим потоком.

Скористаємося формулою розподілу Пуассона стосовно задачі пошуку та визначимо ймовірність  $P_m$  отримання заданого числа виявлень  $m$  за час пошуку  $t_{\Pi}$ . Інтенсивність потоку виявлень  $\gamma$  (середнє число виявлень за одиницю часу) для стаціонарного пуассонівського потоку – величина постійна:  $\gamma = const$ .

Якщо розділити час пошуку  $t_{\Pi}$  на  $k$  елементарних ділянок  $\Delta t = t_{\Pi}/k$ , то математичне очікування числа виявлень на відрізок часу  $\Delta t$  дорівнює  $\gamma \Delta t = \gamma t_{\Pi}/k$ . Враховуючи ординарність потоку, можна вважати, що ймовірність хоча б одного виявлення за час  $\Delta t$  приблизно дорівнює  $P = \gamma t_{\Pi}/k$ .

Оскільки згідно з умовною відсутністю післядії число виявлень на інтервалах часу, що не перетинаються, незалежно, то виявлення на  $k$  ділянках можна розглядати як результат  $k$  незалежних дослідів і застосувати на цій підставі теорему про повторення дослідів. Відповідно до зазначеної теореми ймовірність  $P_{m,k}$  того, що серед  $k$  інтервалів часу подія «виявлення цілі» матиме місце в  $m$  випадках, дорівнює

$$P_{m,k} = C_k^m \left(\frac{\gamma t_{\Pi}}{k}\right)^m \left(1 - \frac{\gamma t_{\Pi}}{k}\right)^{k-m}. \quad (1)$$

При  $\Delta t \rightarrow 0$  ( $k \rightarrow \infty$ ) ймовірність  $P_{m,k}$  стає приблизно рівною шуканій ймовірності  $P_m$  отримання заданого числа виявлень  $m$  за час пошуку  $t_{\Pi}$

$$P_m = (\gamma t_{\Pi})^m e^{-\gamma t_{\Pi}} / m!. \quad (2)$$

У виразі (2) величина  $\gamma t_{\Pi}$  – середня кількість виявлень за час пошуку  $t_{\Pi}$  або потенціал виявлення  $U$ . Тоді

$$P_m = \frac{U^m}{m!} e^{-U}. \quad (3)$$

У багатьох випадках для задачі пошуку цілі досить єдиного виявлення, тобто важливо розрахувати ймовірність хоча б одного (не менше одного) виявлення протягом часу пошуку  $P_1 = P_{m \geq 1}$ :

$$P_1 = 1 - P_0, \text{ где } P_0 = \frac{U^0}{0!} e^{-U}, \text{ т.е. } P_1 = 1 - e^{-U}.$$

Таким чином, ймовірність одного виявлення для стаціонарного пуассонівського потоку дорівнює

$$P_1 = 1 - e^{-U} = 1 - e^{-\gamma t_{\Pi}}. \quad (4)$$

З даних таблиці 1 можна визначити час одного циклу огляду  $t_{\Pi} = \frac{\theta}{\Omega}$  та кількість випромінюваних імпульсів за один цикл огляду  $N = \frac{\theta F}{\Omega}$ . У разі можна вважати, що  $N = \gamma$ .

У таблиці 2 наведено розрахункові значення необхідних параметрів для НРЛС FURUNO (FR-8122/FR-8062): час одного циклу огляду  $t_n$ , кількість зондуєчих імпульсів за цикл огляду  $N$  для різних частот повторення, потенціал виявлення  $U$ , енергетичний потенціал радіолінії за один цикл огляду  $E$  та ймовірність одного виявлення  $P_1$  для різних шкал дальностей.

Таблиця 2 – Розрахункові значення основних параметрів НРЛС FURUNO (FR- 8122/FR-8062)

Шкала дальності (nm)	$t_n$ (мс)	$N$	$E$ (мДж)	$U$	$P_1$
0,125 – 1,5	6,6	14	13,4	0,092	0,096
1,5 – 3,0	8,8	11	38,6	0,097	0,102
3,0 – 72,0	13,2	8	76,8	0,106	0,112

Знаючи ймовірність одного виявлення за цикл огляду  $P_1$ , враховуючи незалежність виявлень у кожному наступному циклі, можна визначити ймовірність виявлення цілей за  $n$  циклів огляду  $P_n$

$$P_n = 1 - (1 - P_1)^n. \quad (5)$$

З графіків для  $P_n$  (рис.1) видно, що можливості виявлення цілей на різних шкалах дальностей приблизно збігаються. Це досягається з допомогою того, що зі збільшенням шкали дальності підвищується енергетичний потенціал радіолінії, т.к. зростає тривалість імпульсу та зменшується частота повторення. Розрахунок енергетичних характеристик радіолінії та оцінка їх впливу на ймовірність виявлення є досить складними. У наведеній методиці їх вплив враховується в оцінці потенціалу виявлення.

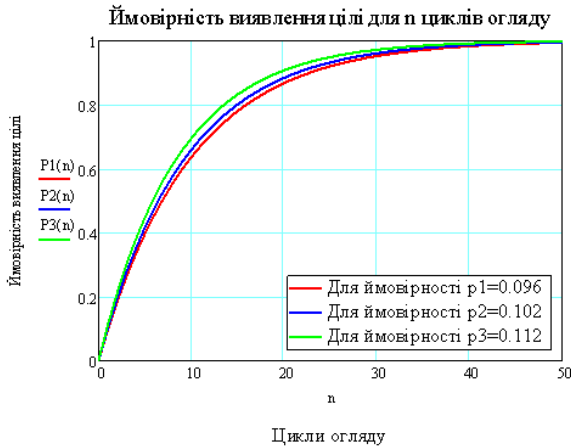


Рисунок 1 – Ймовірність виявлення цілей  $P_n$  за  $n$  циклів огляду НРЛС FURUNO (FR- 8122/FR-8062)

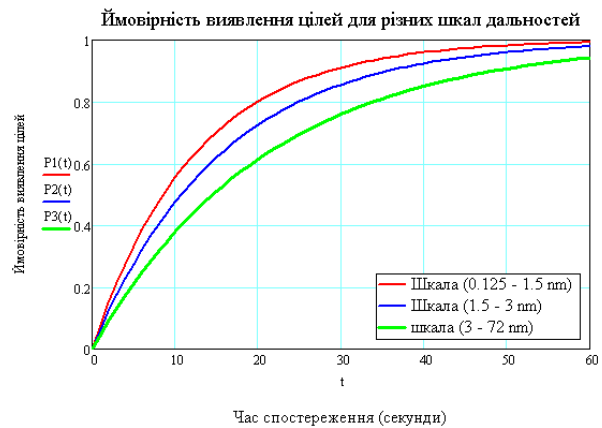


Рисунок 2 – Ймовірності виявлення цілей на різних шкалах дальностей НРЛС FURUNO (FR- 8122/FR-8062) залежно від часу спостереження

На рис.2 представлені ймовірності виявлення цілей під час роботи на різних шкалах дальностей залежно від часу спостереження. Так, за допомогою представлених кривих можна оцінити часовий інтервал, після якого ймовірність виявлення буде не менш заданої.

**Висновки:**

1. Оцінку ймовірності виявлення цілі можна суттєво спростити, якщо пошукову ситуацію подати у вигляді випадкового процесу марковського типу з безперервним часом та дискретними станами.
2. Враховуючи такі властивості потоку виявлення цілей, як відсутність післядії, ординарність і стаціонарність, можна застосувати розподіл Пуассона для розрахунку ймовірності виявлення цілі за один цикл огляду.

3. З отриманих кривих ймовірностей виявлення (рис.2) можна оцінити час, необхідний для виявлення цілей із заданою ймовірністю під час роботи різних шкалах дальності.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. M. J. Skolnic. Introduction to Radar Systems. Third Edition. – New York: McGraw – Hill Comp., Inc., 2001. – 785 p.
2. M.A. Richards, J.A. Cheer, W.A. Holm. Principles of Modern Radar, V.I: Basic Principles. – Edison, NJ: SciTech Publishing, 2010. – 962p.
3. S. L. Miller, D. Childers. Probability and Random Processes, 2-nd Edition. – Oxford, UK: Elsevier's Science&Technology Inc., 2012. – 599 p.
4. M.H. DeGroot, M.J. Schervish. Probability and Statistics, 4-th Edition. – Boston: Pearson Education, Inc., 2012. – 911 p.
5. FURUNO. Operator's Manual. Marine Radar, model FR-8062, FR-8122, FR-8252: Furuno Electronic CO., LTD, 2009. – 123 p.

УДК 621.396.932

### MISSILE EARLY DETECTION WITH ULTRAVIOLET PLUME SIGNATURE ANALYSIS: A CONCEPT OF ON-BOARD COMPUTER VISION EQUIPMENT

**M. Stetsenko, Ph.D**

**O. Shyshkin, Dr. of Technical Science, Professor**  
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract** Missile detection and impact prevention are critical for national defence and global security. Traditional methods rely on radar, infrared (IR) sensors, and satellite monitoring systems. However, ultraviolet (UV) plume analysis has emerged as a promising method to enhance early detection and trajectory prediction of missiles, providing an additional layer of security. This paper explores the principles behind UV plume analysis in missile detection, its advantages over traditional methods, and the integration of these systems into modern defence frameworks. The paper also examines challenges in the development of UV-based missile detection systems and offers recommendations for future research directions.*

***Keywords:** Missile detection, UV plume analysis, impact prevention, early warning systems, defence technology, trajectory prediction.*

### РАННЄ ВИЯВЛЕННЯ РАКЕТ ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛІЗУ СИГНАТУРИ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ: КОНЦЕПЦІЯ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО БАЧЕННЯ

**М. Стеценко, к.т.н.**

**О. Шишкін, д.т.н., професор**  
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація** Виявлення ракет і запобігання удару є критично важливими для національної оборони та глобальної безпеки. Традиційні методи покладаються на радар, інфрачервоні (ІЧ) датчики та супутникові системи моніторингу. Проте аналіз ультрафіолетового (УФ) випромінювання став багатобічним методом для покращення раннього виявлення та прогнозування траєкторії ракет, забезпечуючи додатковий рівень безпеки. У цій статті досліджуються принципи, що лежать в основі аналізу УФ-шлейфу при виявленні ракет, його переваги перед традиційними методами та інтеграція цих систем у сучасні системи захисту. У документі також розглядаються проблеми,*



пов'язані з розробкою систем виявлення ракет на основі УФ-випромінювання, і пропонуються рекомендації щодо майбутніх напрямків досліджень.

**Ключові слова:** виявлення ракет, аналіз УФ-шлейфу, запобігання зіткненню, системи раннього попередження, технології захисту, прогнозування траєкторії.

**1. Introduction.** Missile detection is vital for early warning systems, allowing nations to counter threats before they reach critical targets. The increasing sophistication of missile technologies, including ballistic, cruise, and hypersonic missiles, has driven the need for more advanced detection and tracking systems. While radar and infrared technologies are widely used, each has limitations – particularly in detecting stealth missiles or those with low radar cross-sections. UV plume analysis offers an alternative by leveraging the unique signatures produced by missile exhaust in the UV spectrum, potentially allowing for more accurate and earlier detection.

Traditional detection methods, including radar and IR sensors, face limitations such as reduced accuracy in detecting low-signature missiles or limitations under specific atmospheric conditions [1-3]. As missile systems continue to evolve, there is a growing need for detection technologies that can provide more precise and timely data to inform defensive countermeasures.

UV plume analysis offers several advantages over traditional detection methods:

- **Early Detection:** UV sensors can detect missile launches at an earlier stage, as they are sensitive to the high-energy emissions produced during the initial ignition phase.
- **Less Atmospheric Interference:** UV radiation is less affected by atmospheric scattering and absorption compared to IR or visible wavelengths, which allows for more accurate tracking in challenging environments.
- **Stealth Detection:** UV systems can detect missiles with low radar cross-sections or reduced IR signatures, providing an additional detection layer for stealthy missile systems.

Missile plumes emit UV radiation primarily in the range of 200 to 400 nm, depending on the type of fuel and the altitude of the missile [4]. Solid propellants, for example, generate a strong UV signature due to the combustion of metals like aluminum, while liquid propellants may have varying UV profiles depending on the oxidizers and fuels used. UV detection systems are designed to identify these signatures and use pattern recognition algorithms to differentiate between missile plumes and other sources of UV radiation, such as lightning or solar reflections.

**2. Material and methods.** Missile plumes, which are the exhaust gases released during propulsion, emit radiation across various electromagnetic spectra, including ultraviolet. These UV emissions result from high-temperature chemical reactions within the exhaust plume, primarily from combustion processes involving solid and liquid propellants. UV radiation is less prone to atmospheric scattering than visible or infrared light, making it suitable for long-range detection.

UV plume analysis relies on detecting the UV emissions produced by missile exhaust plumes during launch, ascent, and re-entry. These emissions provide a unique signature that can be tracked to determine the missile's trajectory and potential impact point. The analysis of UV plumes is based on several factors, including the temperature of the exhaust gases, the chemical composition of the fuel, and the altitude at which the missile is operating.

**2.1 Detection Systems.** UV-based missile detection systems typically involve a network of ground-based, airborne, or space-based sensors. These sensors are equipped with UV-sensitive photodetectors that can capture the specific UV wavelengths emitted by missile plumes. The data is processed in real-time to track the missile's trajectory and provide early warning information.

Real-time data analysis is typically performed with use of computer vision (CV) systems that are based on artificial neural network technologies. To date, a number of computer vision frameworks and models have been developed to cover a wide range of applications, including camera surveillance systems, orbital ground and aerial object tracking systems, autonomous driving vehicles, automated decision making control devices, and a lot more.

Recognized for its simplicity and adaptability, Python is the preferred programming language for crafting learning algorithms that power CV systems. Python's extensive libraries and frame-

works, particularly in machine learning and computer vision like TensorFlow and OpenCV, have streamlined the implementation of complex algorithms in CV applications. These tools facilitate efficient processing of large amounts of data collected by drone sensors, enabling real-time analysis and decision-making. This capability is vital in scenarios requiring immediate responses, such as emergency situations where timely action is crucial.

Furthermore, Python’s compatibility with various artificial intelligence (AI) and machine learning frameworks has made it an ideal choice for developing autonomous navigation systems in road vehicles, drones, unmanned surface vessels, etc. These systems heavily rely on algorithms that process sensor data to detect obstacles and determine optimal flight paths, ensuring safe and efficient operations. The integration of Python in surface vessel control system not only enhances their navigational abilities but also broadens their potential applications across various domains, from aerial surveying to urban planning.

Thanks to some remarkable properties of convolutional neural networks (CNN), those are mostly used for object detection and classification tasks [5]. To develop UV plume signature detection model, a CNN type structure has been created by authors. As can be seen from Fig. 1, CNN comprises of a number of convolutional and max pooling layers that are utilized for feature extraction from an input image.

Layer (type)	Output Shape	Param #	Connected to
input_1 (InputLayer)	[(None, 288, 468, 3)]	0	[]
rescaling (Rescaling)	(None, 288, 468, 3)	0	['input_1[0][0]']
sequential (Sequential)	(None, 288, 468, 3)	0	['rescaling[0][0]']
conv2d (Conv2D)	(None, 198, 458, 256)	7168	['sequential[0][0]']
max_pooling2d (MaxPooling2D)	(None, 99, 229, 256)	0	['conv2d[0][0]']
dropout (Dropout)	(None, 99, 229, 256)	0	['max_pooling2d[0][0]']
conv2d_1 (Conv2D)	(None, 99, 229, 128)	295040	['dropout[0][0]']
max_pooling2d_1 (MaxPooling2D)	(None, 49, 114, 128)	0	['conv2d_1[0][0]']
dropout_1 (Dropout)	(None, 49, 114, 128)	0	['max_pooling2d_1[0][0]']
conv2d_2 (Conv2D)	(None, 49, 114, 64)	73792	['dropout_1[0][0]']
max_pooling2d_2 (MaxPooling2D)	(None, 24, 57, 64)	0	['conv2d_2[0][0]']
dropout_2 (Dropout)	(None, 24, 57, 64)	0	['max_pooling2d_2[0][0]']
conv2d_3 (Conv2D)	(None, 24, 57, 32)	18464	['dropout_2[0][0]']
max_pooling2d_3 (MaxPooling2D)	(None, 12, 28, 32)	0	['conv2d_3[0][0]']
dropout_3 (Dropout)	(None, 12, 28, 32)	0	['max_pooling2d_3[0][0]']
flatten (Flatten)	(None, 18752)	0	['dropout_3[0][0]']
dense_2 (Dense)	(None, 128)	1376384	['flatten[0][0]']
dense_3 (Dense)	(None, 64)	8256	['dense_2[0][0]']
dense (Dense)	(None, 64)	688192	['flatten[0][0]']
dense_4 (Dense)	(None, 32)	2880	['dense_3[0][0]']
dense_1 (Dense)	(None, 32)	2880	['dense[0][0]']
bounding_box (Dense)	(None, 4)	132	['dense_4[0][0]']
class_label (Dense)	(None, 1)	33	['dense_1[0][0]']

-----  
 Total params: 2471621 (9.43 MB)  
 Trainable params: 2471621 (9.43 MB)  
 Non-trainable params: 0 (0.00 Byte)

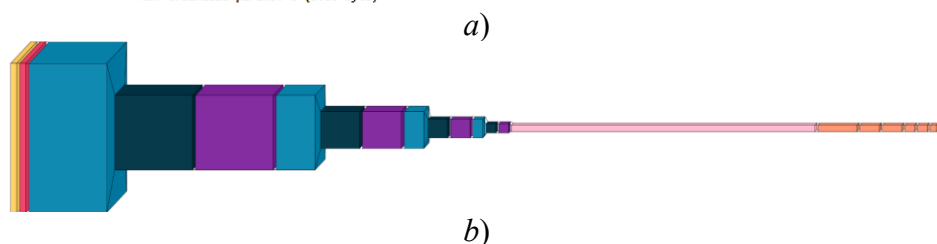


Figure 1 – CNN structure for missile UV plume signature prediction:  
 a) Model network summary;  
 b) Volumetric representation of the model layers

The dropout layers are added to avoid model overfitting phenomena and achieve the highest possible accuracy. The feature extraction layers are followed by hidden (dense) layers that are trained to derive both bounding box region estimation and classification outputs.

**3. Theory.** It is known that the jet engine plume of an attacking missile is a source of radiation in the infrared and ultraviolet ranges and, therefore, the missile can be detected by recording this radiation. Thus, one of the main tasks in designing passive attack missile detection devices is to select the frequency range of optical radiation that is necessary to distinguish the radiation of the jet engine plume of the attacking missile from other radiation sources in the field of view (sensitivity zone) of the receiving organ of the attack missile detection device. It should be noted that to date, a set of features in any frequency band of optical radiation has not been finally established that would guarantee a 100% probability of detecting an attacking missile with a zero probability of false alarms.

In [2] it is stated that remote registration of radiation from the torch of a missile's jet engine can be carried out in the IR (4-5 μm) and UV (10-400 nm) ranges, and for ground-to-air missiles the radiation intensity in the IR range exceeds the intensity in the UV range. However, in the IR range, the sensing element of the device for missile detection always records signals from extraneous emitters of artificial and natural origin, which causes an increase in the probability of false alarms. That is why at present, when registering radiation from the plume of a missile's jet engine, the UV component of the radiation spectrum is predominantly used, since in this range there are significantly fewer sources of artificial radiation and, therefore, the probability of false alarms is significantly lower.

In accordance with, the entire range of UV radiation can, with a certain degree of conventionality, be divided into three sub-ranges: UVA (320-400 nm), UVB (280-320 nm) and UVC (shorter than 280 nm). Studies have shown that the spectrum of solar radiation reaching the earth's surface covers the UV-A and UV-B sub-ranges, with the intensity of solar radiation in UV-B decreasing with decreasing wavelength, and in the UVC range the component of solar radiation is completely absent, i.e. the UV-C sub-range can be characterized as "solar-blind". Fig. 2 shows an extract from picture dataset of visible plume in the UV-B and UV-C spectra range [6].

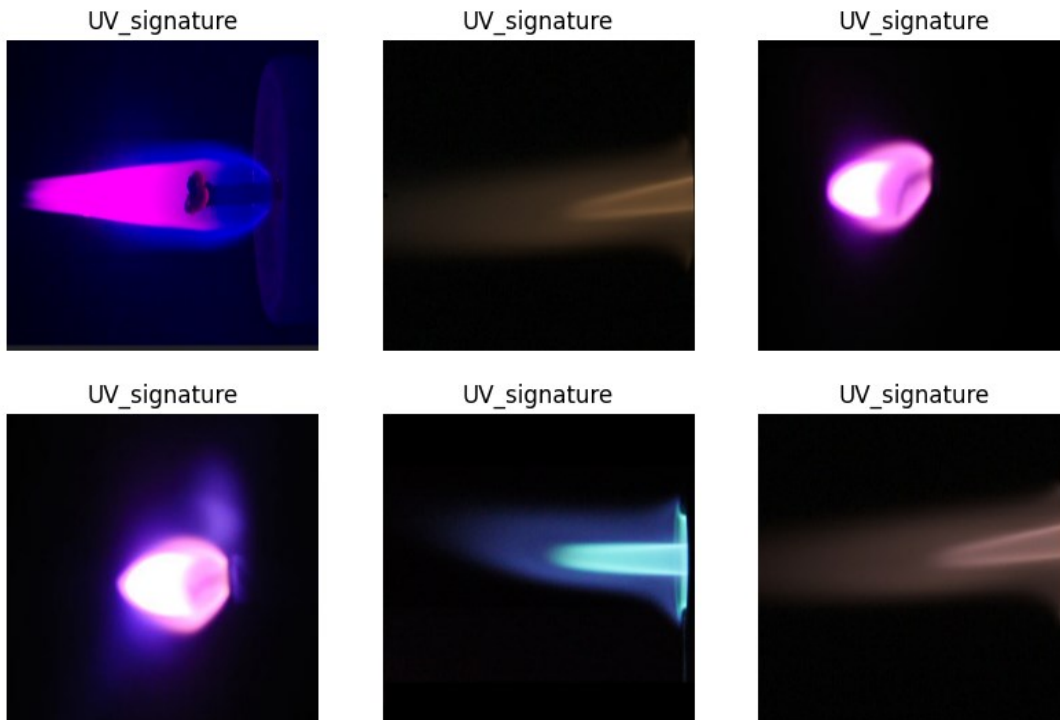


Figure 2 – Images of plume UV signatures

It is obvious that the main factor determining the range of the onboard complex of individual protection of a surface vessel is the contrast sensitivity of the receiving element of the remote registration system of the UV radiation of the missile's jet engine. Indeed, any radiation source located in space is perceived by a remote radiation detection system only if it differs in brightness or radiation spectrum from the background, which in this case is the UV component of solar radiation.

The problem, which the utility model is aimed at solving, consists in reducing the background effect of the UV component of solar radiation on the onboard complex's perception of the UV component of the attacking missile's jet engine radiation and, accordingly, in increasing the range of attacking missile registration.

Once a missile has been detected through UV plume analysis, the next critical step is to prevent its impact. This involves several layers of defence mechanisms, including interception, trajectory prediction, and impact mitigation.

**4. Results and discussion.** The CNN structure suggested in section 2 (see Fig. 1) has been trained with small dataset of pictures containing UV signatures of missile-like plumes. Despite limited training data, the training performance has resulted in good training and validation metrics. As can be seen from Fig. 3, bounding box accuracy has reached its highest values already after 50 training iterations (epochs). However, it took another 50 iterations for MSE loss to get to very minimum values. Accuracy and loss values suggest that CNN structure was selected correctly and our model is suitable for real life deployment.

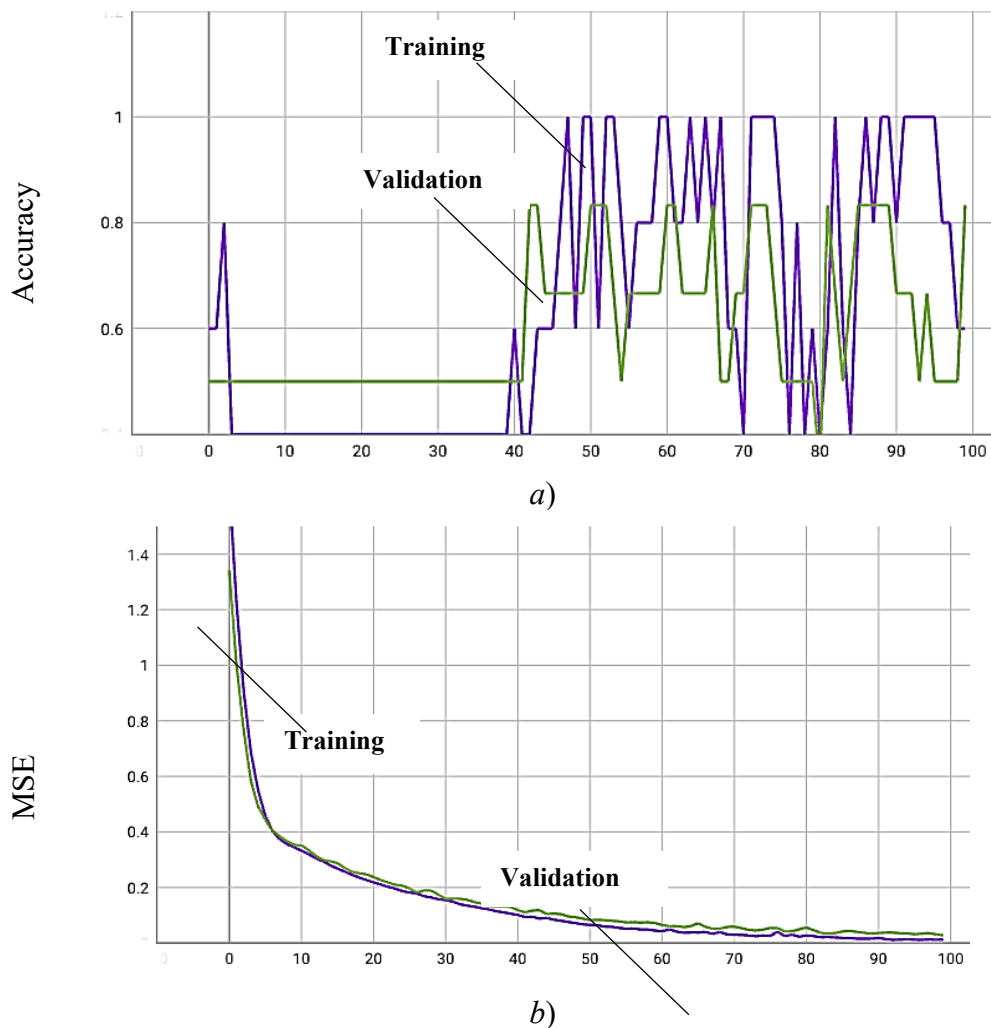


Figure 3 – Detection model training process metrics: a) Training and validation bounding box accuracy; b) Training and validation loss (mean squared error)

It should be noted that despite its advantages, UV plume analysis for missile detection presents several technical and operational challenges:

- False positives and background noise;
- Sensitivity and range;
- Integration with existing systems.

One of the primary challenges in UV detection is distinguishing missile plumes from other UV sources. Solar reflections, lightning, and even industrial flares can produce UV radiation that may trigger false positives. Advanced filtering and pattern recognition algorithms are required to minimize false alarms and improve detection accuracy.

While UV sensors offer certain advantages over IR systems, their sensitivity and effective range can be limited under specific conditions. For example, atmospheric absorption of UV radiation increases at lower altitudes, potentially reducing the detection range for low-flying missiles.

To be fully effective, UV-based detection systems must be integrated with existing radar, IR, and satellite-based early warning systems [7]. This requires advanced data fusion techniques that can combine inputs from multiple sources to provide a comprehensive threat assessment. Such system should be able to plot detected UV missile signature on a visual surrounding monitoring device. An example of such plot produced from our research dataset is shown in Fig. 4.

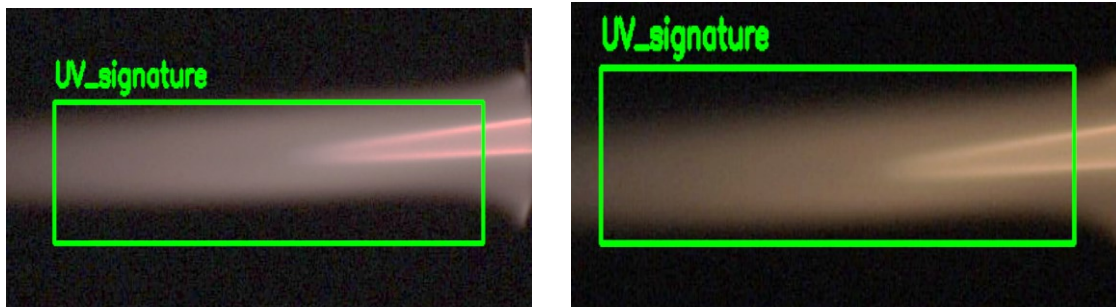


Figure 4 – Images of plume UV signatures

## 6. Conclusions

UV plume analysis represents a significant advancement in missile detection and impact prevention. By leveraging the unique UV signatures produced by missile exhaust plumes, UV-based detection systems offer several advantages, including early detection, reduced atmospheric interference, and improved accuracy in tracking low-signature missiles.

Despite its challenges, including the need for better sensor technology and more advanced data fusion algorithms, UV plume analysis holds great promise for enhancing global missile defence systems.

Continued research and development in this field will be crucial to fully realizing its potential as a critical component of modern defence strategies.

## REFERENCES

1. Ostrowski, Roman & Cywiński, Artur & Strzelec, Marek. Electronic warfare in the optical band: Main features, examples and selected measurement data. // *Defence Technology*, 2020. Issue 17. 10.1016/j.dt.2020.09.007.
2. Ying Lou and Ting-zhu Bai. A study on UV missile plume emission model // *Proc. SPIE 6031, ICO20: Remote Sensing and Infrared Devices and Systems*, 60310F (2 February 2006); <https://doi.org/10.1117/12.667927>
3. Stuart D. Williams. A Preliminary Study On The Use Of The Ultraviolet Exhaust Plumes Of Icbms For Launch Detection. [Thesis] USAF AFIT/GSO/ENP/86D-3 – 1986.
4. Neele, F.P., & Schleijsen, H.M. (2002). UV missile-plume signatures. // *SPIE Defense + Commercial Sensing*.

5. Liu, Shuo & Liu, Zheng. (2017). Multi-Channel CNN-based Object Detection for Enhanced Situation Awareness. 10.48550/arXiv.1712.00075.

6. <https://www.ultravioletphotography.com/content/index.php?/topic/4153-candle-flame-with-uv-imager/#comment-39369>

7. Tidrow, M.Z & Dyer, W.R. Infrared sensors for ballistic missile defense. // Infrared Physics & Technology, 2001. Vol. 42. P. 333-336. 10.1016/S1350-4495(01)00092-5.

УДК 004.056

## ЗАХИСТ АІС ВІД ПІДРОБЛЕНИХ ПЕРЕДАВАНЬ НА ОСНОВІ КРИПТОГРАФІЧНОЇ АВТЕНТИФІКАЦІЇ ПОВІДОМЛЕНЬ

**О.В. Шишкін**, д.т.н., професор

**В.І. Коновець**, к.т.н., с.н.с.

**І.В. Дем'яненко**

Національний університет «Одеська морська академія»

**Анотація:** Запропонований спосіб виявлення підроблених повідомлень в радіоканалі автоматичної ідентифікаційної системи (АІС) шляхом використання коду автентифікації повідомлень у схемі симетричного шифрування. Для передавання окремих розрядів коду застосована технологія цифрових водяних знаків, що забезпечує сумісність сигналів АІС на фізичному рівні. Отримані кількісні результати щодо впливу додаткових даних на якість сигналу.

**Ключові слова:** Коду автентифікації повідомлень, Цифрові водяні знаки, Гаусова частотна маніпуляція з мінімальним зсувом, Спектр, Вбудовані дані.

## AIS PROTECTION AGAINST FORGED TRANSMISSIONS BASED ON CRYPTOGRAPHIC MESSAGES AUTHENTICATION

**O. Shyshkin**, Dr. of Science, Professor

**V. Konovets**, PhD, Senior Research Scientist

**Demianenko I.**

National University "Odessa Maritime Academy"

**Abstract:** The proposed method of detecting forged messages in the radio channel of automatic identification system (AIS) by using the message authentication code (MAC) in the symmetric encryption scheme. The technology of digital watermarks is used to transmit individual bits of the code, which ensures the compatibility of AIS signals at the physical level. Quantitative results were obtained regarding the influence of additional data on signal quality.

**Key words:** Message authentication code, Digital watermarks, Gaussian frequency manipulation with minimum shift, Spectrum, Embedded data.

### 1. Вступ.

Однією з найважливіших проблем сучасного судноплавства є забезпечення навігаційної безпеки плавання у стислих водах та районах з інтенсивним судноплавством у будь-яких гідрометеорологічних умовах. Сьогодення України накладає додаткові обставини для забезпечення навігаційної безпеки - це військові дії та постійний вплив на систему навігації та позиціонування. Сучасне судноводіння характеризується суттєвими особливостями, до яких насамперед слід віднести вплив стохастичних факторів на процес судноводіння, оцінку навігаційної обстановки та прийняття рішення на маневр судноводієм.

Автоматична ідентифікаційна система (АІС) в значній мірі впливає на безпеку судноплавства. Але вона не має захисту від навмисних втручань з боку анонімних порушників з будь-яких міркувань [1]. Особливо шкідливими є втручання по радіоканалу, коли порушник, маючи нелегітимний транспондер АІС, навмисно передає фейкові, підроблені повідомлення, які створюють навігаційну небезпеку через навмисно сфальшований характер повідомлень.

Спосіб захисту АІС [2], заснований на формуванні електронного цифрового підпису (ЕЦП) даних, що передаються, потребують додаткових часових слотів для передавання саме складу ЕЦП. Це обмежує інформаційний трафік по каналах АІС на не забезпечую сумісність з звичайними транспондерами АІС без опції ЕЦП. Спосіб автентифікації (справжності) повідомлень АІС, заснований на передаванні додаткової інформації за технологією цифрових водяних знаків (ЦВЗ) [3, 4], потребує додаткових досліджень відносно вибору типу криптографічних ключів та впливу додаткових даних на якість сигналу, що передається.

Метою доповіді є дослідження технічних можливостей для реалізації способу криптографічного захисту повідомлень АІС з використанням технології ЦВЗ.

## 2. Основна частина.

### 2.1. Код автентифікації повідомлення (Message Authentication Code, MAC).

Криптографічний захист на основі симетричного шифрування (загальний закритий ключ) є більш прийнятним з точки зору практичності застосування на відміну від асиметричного шифрування (пара відкритий та закритий ключі). У схемі асиметричного шифрування персоналізація ключа прив'язана до конкретної людини. Для суден зі змінним екіпажем така схема створює певні складнощі у самому процесі формування ключів та публікації відкритих ключів. Для балансу між рівнем загроз та складнощами формуванні/публікації ключів більш привабливою є схема симетричного шифрування з закритими ключами, що розподіляються третьою стороною. Схема автентифікації повідомлень в радіоканалі АІС наведена на рис. 1.

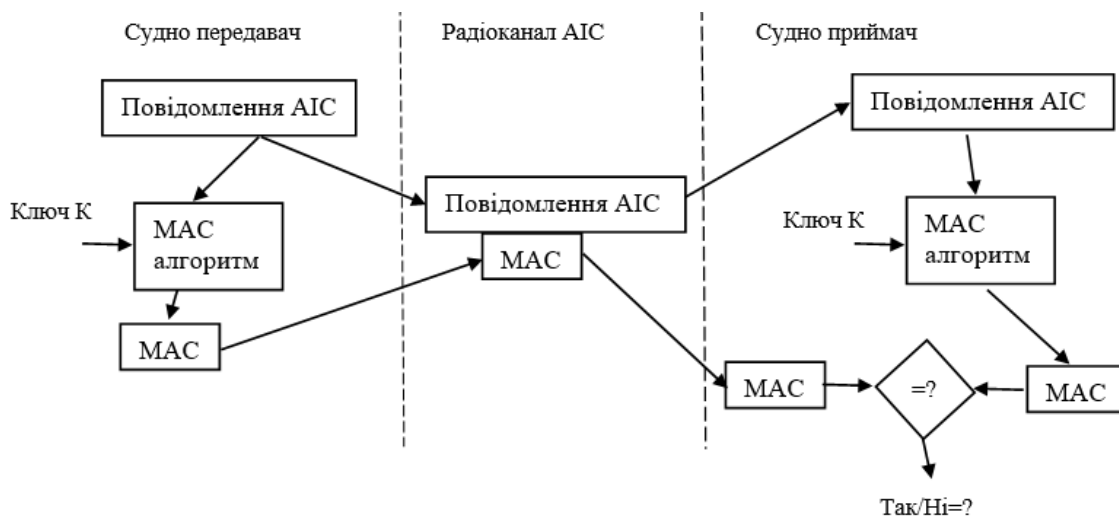


Рисунок 1 – Схема автентифікації повідомлень з використанням MAC в радіоканалі АІС

Судно передавач обчислює MAC на основі повідомлення та ключу  $K$  та додає його у вигляді ЦВЗ тега

низькочастотного (baseband) сигналу з гаусовою частотною маніпуляцією з мінімальним зсувом (Gaussian Minimum Shift Keying, GMSK), що використовується в АІС. На приймальному боці (судно або берегова станція) перевіряється збіг переданого та обчисленого MAC. У разі збігання кодів справжність повідомлення АІС підтверджена, у противному випадку – ні.

Для виявлення підроблених повідомлень не має потреби передавання всього MAC, достатньо декількох бітів (1...4) щоб впродовж декількох підроблених повідомлень (слотів) визнати наявність атаки. Розраховані ймовірності  $P_a$  виявлення атаки в залежності від кількості сфальшованих слотів  $M$  та кількості вбудованих бітів  $B$  (таблиця 1).

Передавання будь-якої кількості бітів MAC потребує додаткових ресурсів сигналу. Стосовно АІС для цього можуть бути обрані, наприклад, незадіяні даними (буфер) – кінцева, вільна від передавань ділянка слоту АІС, в якій сигнал повинен вщухати. За стандартом [5] цей буфер унеможливує часове перекриття повідомлень АІС при невизначеності взаємних відстаней суден та недосконалості синхронізації. Тому розміщення додаткових даних у буфері у загальному випадку порушує сумісність транспондерів, і може призвести до збоїв у прийомі даних. Технологія ЦВЗ не вимагає застосування додаткових частотних або часових ресурсів та не впливає на сумісність протоколів передавання сигналів.

Таблиця 1 – Ймовірність виявлення атаки  $P_a(k, M)$ , п'ять цифр після коми

Кількість сфальшованих слотів, $M$	Кількість бітів ЦВЗ, $k$			
	1	2	3	4
5	0,96875	0,99902	0,99997	0,99999
10	0,99902	0,99999	0,99999	0,99999
20	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999

## 2.2. Цифрові водяні знаки (Digital Watermarks, DWM).

Технологія ЦВЗ – це приховане передавання додаткової інформації без порушення цілісності носія. В нашому випадку таким носієм є радіосигнал повідомлення АІС. Додаткова інформація утворює тег (tag - мітка, ярлик), в якості якого виступає окремі біти коду автентифікації MAC.

Вбудовування додаткових даних MAC впливає на дуже незначне відхилення сигналу від його первинного вигляду. Для виявлення цих відхилень та отримання кількісних показників проведено моделювання в середовищі Матлаб.

Застосований алгоритм вбудовування додаткових даних базується на виконанні наступних кроків:

- обчислення швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) від низькочастотного сигналу GMSK  $x$ ;
- модифікації (за потреби) амплітуд спектральних відліків ШПФ, зважаючи на їхні співвідношення та дані ЦВЗ. Фази відліків модифікованого спектру не змінюються;
- обчислення зворотного ШПФ для отримання стего-сигналу  $S$  з вбудованими даними ЦВЗ.

Даний алгоритм не призводить до ані розширення спектру, ані тривалості сигналу за часом. Алгоритм вбудовування даних у частотній області здійснюється шляхом модуляція ознаки  $\Delta$  амплітудного спектру даними ЦВЗ.

$$\Delta = \sum_i (A_{i \in I_1} - A_{i \in I_2}), \quad (1)$$

де  $A_i$  - амплітуди спектральних відліків;

$I_1, I_2$  - множини непарних та парних індексів відповідно.

Модифіковані амплітуди визначаються наступним чином

$$A'_{i \in I_1} = mA_{i \in I_1}; A'_{i \in I_2} = A_{i \in I_2} / m, \quad (2)$$

де коефіцієнт  $m$  визначається як дійсний корінь квадратного рівняння

$$m \sum_i A_{i \in I_1} - m^{-1} \sum_i A_{i \in I_2} = d\rho, \quad (3)$$

в якому  $d = (-1, 1)$  - вбудований біт ЦВЗ;  $\rho$  - рівень стійкості ЦВЗ.

Після отримання модифікованого спектру здійснювалось зворотне ШПФ.

Моделювання виконувалось з використанням форми представлення сигналів в так званих квадратурах (IQ сигнали) [6]. Концепція IQ сигналів є одним з ключових понять для розробки алгоритмів цифрової обробки сигналів та програмованого радіо (Software Defined Ra-



dio, SDR). Технологія SDR дозволяє докорінно змінити принципи конструювання апаратури зв'язку, змінивши звичну компонентну базу радіоелектронних модулів (змішувачі, фільтри, підсилювачі, модулятори-демодулятори) на вбудовані мікроконтролери.

Пакет даних АІС генерувався як псевдовипадкова послідовність довжиною 256 біт. Основні параметри сигналу АІС наступні [5]:

- швидкість передавання даних 9,6 кбіт/сек;
- ширина смуги частот 25 кГц;
- тривалість часового слоту 26,6 мсек (256 біт).

За цих умов спектри GMSK сигналів у первинному вигляді та після вбудовування даних ЦВЗ виглядають як показано на рисунку 2. Візуально спостерігаються відмінності у вигляді шуму на крайніх частотах смуги частот.

- Вплив ЦВЗ на GMSK сигнал проявляється у відмінності сигналу  $s$  з вбудованими даними від первинного сигналу  $x$ . На приймальному боці в каналі даних АІС ці відмінності  $w = s - x$  сприймаються як додатковий шум. Натомість для каналу передавання даних кода MAC ця шумова складова представляє корисний сигнал ЦВЗ. Кількісне вплив ЦВЗ оцінюється як відношення середне-квадратичних відхилень ( $std$ )  $w$  і  $x$ :

$$WSR = 20 \log(std(w) / std(x)). \quad (4)$$

Отримані за формулою (4) кількісні результати зведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Залежність Watermark-to-Signal Ratio  $WSR(k, \rho)$ , дБ від кількості біт ЦВЗ і порогу

Кількість біт ЦВЗ, $k$	Рівень стійкості, $\rho$								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
1	-309	-46	-38	-34	-31	-29	-27	-25	-24
2	-35	-29	-26	-24	-22	-20	-19	-18	-17
4	-31	-25	-21	-19	-17	-15	-14	-13	-12

Алгоритм ЦВЗ експериментально досліджувався у задачі передавання даних ідентифікації судна у вигляді Maritime Mobile Service Identity (MMSI), які вбудовуються безпосередньо у звуковий сигнал радіотелефонного зв'язку в УКХ діапазоні [7]. Синхронізація пакетів ЦВЗ у передавачі та приймачі здійснювалась за допомогою GPS модуля. Тестування засвідчили технічну спроможність реалізації цього методу. Встановлено, що затримка радіосигналу через невизначеність відстані передавач-приймач є головним чинником обмеження швидкості даних ЦВЗ. В нашому випадку позитивним фактором є те, що використання каналу АІС знімає це обмеження, оскільки у приймачі АІС здійснюється внутрішня синхронізація початковою послідовністю (24 біта) та початок повідомлення визначається стартовим прапорцем.

### 3. Висновки

Впровадження криптографічного захисту повідомлень АІС з використанням технології цифрових водяних знаків дає можливість реалізації механізмів автентифікації повідомлень АІС та підтвердження цілісності прийнятих даних. Застосування алгоритму MAC з використанням закритих ключів шифрування на передавальному та приймальному боці АІС дозволяє здійснити автентифікацію повідомлень за рахунок передавання значно меншої кількості бітів у порівнянні з алгоритмом ЕЦП з парою відкритий-закритий ключ. Функція невідмовності, яка реалізується ЕЦП, але недоступна в алгоритмі MAC, не є скільки-небудь необхідною для безпеки судноплавства.

Запропонована технологія запобігає використанню навмисно підроблених повідомлень, що забезпечую довіру до даних АІС та в цілому сприяє підвищенню навігаційної безпеки, особливо в умовах інтенсифікації автономного судноплавства.

Практична реалізація способу може бути здійснена на основі використання технології програмованого радіо (SDR) і не потребує коштовних вкладень. Натомість забезпечується повна сумісність апаратури АІС з означеною функцією автентифікації і без такої функції.

Процедура оновлення криптографічних ключів може бути здійснена по каналам УКХ Data Exchange System (VDES), як це передбачено сценаріями перевірки цілісності та автентифікації ([8], Integrity check / authentication, p. 19). За рахунок використання каналів супутникового зв'язку ця система після повного її розгортання не має обмежень за дальністю дії.

## ЛІТЕРАТУРА

1. A. Goudossis, S. K. Katsikas, "Towards a Secure Automatic Identification System (AIS)," Journal of Marine Science and Technology, 2019, 24(2), pp. 410–423.
2. G. C. Kessler, "Protected AIS: A Demonstration of Capability Scheme to Provide Authentication and Message Integrity," TransNav – the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 14, No. 2, June 2020, pp. 279–285.
3. Патент України (корисна модель) № 151414 від 21.07.2022 р. Спосіб контролю автентичності даних суднової автоматичної ідентифікаційної системи. Шишкін О.В., Кошевий В.М., Коновец В.І., Маляренко Ю.В. 10.11.2021 р. Опубліковано 20.07.2022 р.
4. Shyshkin O. Cybersecurity Providing for Maritime Automatic Identification System. 2022 IEEE 41th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO). CONFERENCE PROCEEDINGS, pp. 736 – 740. October 10-14, 2022, Kyiv, Ukraine.
5. Recommendation ITU-R M.1371–5 (2014) Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band.
6. PySDR: A Guide to SDR and DSP using Python. <https://pysdr.org/index.html>
7. O.V.Shyshkin, V.M.Koshevyu, I.V.Ryaboshapka, "GPS Synchronization of Audio Watermarks in the Maritime Automatically Identified Radiotelephony," TransNav – the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 15, No. 2, June 2021, pp. 307–311.
8. VHF Data Exchange System (VDES) Overview, IALA Guideline, Edition 3.0, December 2022.

УДК 621.396:004.8

## КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ СУДНОВИХ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ТА НАВІГАЦІЇ АВТОНОМНОГО СУДНА З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

**О.В. Шишкін**, д.т.н., професор

**М.С. Стеценко**, к.т.н.

Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:** Запропонована концепція управління системами радіозв'язку та навігації морських автономних суден на основі застосування розширеного списку речень для віддаленого моніторингу/управління апаратурою зв'язку. Розглянуті переваги агентних систем ШІ та сценарії повного та часткового інтегрування ШІ в процедури сповіщення лиха з використанням цифрового вибіркового виклику.*

***Ключові слова:** Автономні морські судна, Цифровий вибіркового виклик, Інтерфейс, Агентні системи, Віддалене управління/моніторинг.*

## THE CONCEPT OF CONSTRUCTION A SHIP RADIO COMMUNICATION AND NAVIGATION SYSTEMS FOR AUTONOMOUS SHIP USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Shyshkin O., Dr. of Science, Professor  
Stetsenko M., PhD  
National University “Odessa Maritime Academy”

**Abstract:** Control concept of radio communication and navigation systems for Maritime Autonomous Surface Ships based on the application of an extended sentences list for remote monitoring/control of communication equipment is proposed. Advantages of AI agent systems and scenarios of full and partial integration of AI into distress alerting procedures using are considered.

**Key words:** Maritime Autonomous Surface Ships, Digital selective calling, Interface, Agent systems, Remote control/monitoring.

**Вступ.** Розвиток сучасних технологій автоматизації суднового обладнання, створює можливості створення та впровадження безкіпажного судноплавства. В англomовній літературі використовується назва Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) – морські автономні надводні судна. Досягнення в галузі інформаційних технологій та штучного інтелекту (Artificial Intelligence, AI) стають каталізаторами практичного впровадження MASS судноплавства.

MASS має вибуховий потенціал із наслідками з точки зору технічних, економічних, екологічних, законодавчих і соціальних наслідків у найближчі роки. Цей розвиток також може надати можливості та нові концепції, які могли б покращити логістику та, отже, також покращити загальний вплив транспорту на навколишнє середовище.

Міжнародна морська організація (ІМО) розподіляє автономні судна в чотири групи в залежності від їхньої ступені автоматизації [1]:

1. Автоматизовані процеси з моряками на борту: на найнижчому рівні автономності судна працюють за допомогою автоматизованих процесів, які допомагають приймати рішення. Моряки присутні на борту, щоб контролювати системи та функції судна, але за звичай використовуються автоматичні режими. Таке налаштування дозволяє бортовим екіпажам справлятися з будь-якими потенційними відмовами обладнання або нештатними навігаційними потребами, одночасно отримуючи зменшення навантаження за рахунок ефективної автоматизації.

2. Дистанційне керування за підтримкою суднової команди: у цій моделі судно в основному керується з берега, але моряки залишаються на борту, щоб взяти керування безпосередньо на борту судна та, якщо потрібно. Ця конфігурація поєднує в собі переваги віддаленої роботи з безпекою завдяки наявності екіпажу для вирішення несподіваних ситуацій.

3. Дистанційне керування без участі моряків: судном можна повністю керувати з віддаленого місця без екіпажу на борту. У таких випадках технологія повинна надійно керувати всіма функціями судна, часто з розширеними системами дистанційного моніторингу для безпеки. Однак така модель керування може зіткнутися з юридичними та операційними проблемами з точки зору зобов'язань щодо порятунку або дотримання міжнародних правил судноплавства.

4. Повністю автономне керування: у цій конфігурації судно є повністю незалежним, використовуючи бортові системи для прийняття оперативних рішень без втручання людини. Цей підхід залежить від рівня ШІ, але нормативні та етичні міркування залишаються критичними, оскільки відсутність людини на борту не може вплинути на реагування на надзвичайні ситуації, захист навколишнього середовища та зобов'язання з порятунку.

Метою статті є розробка концепції устрою системи морського радіозв'язку, яка б задовольняла зазначеним типам MASS з використанням ШІ.

Склад та техніко-експлуатаційні вимоги до апаратури зв'язку на морських судах мають відповідати системі Глобального морського зв'язку лиха та безпеки (ГМЗЛБ), (англ. Global Maritime Distress and Safety System, GMDSS).

Зважаючи на нижчеперелічені факти:

- однакові вимоги SOLAS (гл. IV – Радіобладнання) як до звичайних суден зі штатним екіпажем, так і для MASS суден та
  - вимоги до автономних суден за типами 1-4, як наведено вище,
- можна зробити висновок про те, що апаратура ГМЗЛБ має управлятися як ручним, так і машинним способами.

Зазвичай суднова апаратура ГМЗЛБ управляється у ручному режимі з передньої панелі пристрою. Але для дистанційного моніторингу/управління необхідна наявність електронного способу здійснення. Задача створення електронного двонаправленого інтерфейсу вирішувалась в рамках розробки інтегрованої системи УКХ цифрового вибіркового виклику (ЦВВ) – Електронна картографічна навігаційна інформаційна система (ЕКНІС) [2], [3], [4]. Для вирішення цього завдання був розроблений пропрієтарний (не стандартизований) інтерфейс передавання даних, що забезпечило управління модемом ЦВВ без ручного управління з панелі пристрою. Управління модемом ЦВВ передбачалося здійснювати з ЕКНІС, як і моніторинг прийнятих повідомлень ЦВВ. Даний інтерфейс дозволив автоматизувати процедури формування викликів інших суден з метою прискорення встановлення радіотелефонного обміну з потрібним судном. При цьому використались також повідомлення автоматичної ідентифікаційної системи (АІС) для отримання MMSI судна, що викликається. Численні відповідні пропозиції щодо вдосконалення УКХ/ЦВВ зв'язку були напрацьовані та спрямовані в ІМО, починаючи з 2009 року [5].

Однією з основних технічних причин, що стримують практичне впровадження інтегрованої системи ЦВВ – ЕКНІС, стала відсутність вимог до наявності електронного управління/моніторингу апаратурою радіозв'язку. У 2022 році розроблений європейський стандарт, який значно розширив перелік речень для моніторингу/управління апаратурою радіозв'язку з ЦВВ [6], і за рахунок цього дослівно «Дозволяє інтегрувати радіо- та навігаційне обладнання таким чином, щоб численні автоматизовані процедури, включаючи подальший зв'язок, могли виконуватися, наприклад, ECDIS з використанням сумісних радіостанцій DSC».

Але в нашому випадку електронне управління використовується не ЕКНІС (ECDIS), а сервером ШІ-агента. У центрі агентного штучного інтелекту лежить ідея автономних систем, які можуть працювати самостійно для досягнення певних цілей [8]. На відміну від традиційного штучного інтелекту, який здебільшого виконує команди чи встановлені правила, агентський штучний інтелект більш перспективний і зосереджений на досягненні цілей. Ці системи можуть визначати, чого вони хочуть, планувати, як цього досягти, і виконувати завдання, не потребуючи постійної допомоги людей.

Рівень автономії в цих агентних системах штучного інтелекту може змінюватися залежно від того, як вони побудовані та для чого вони призначені. Деякі системи можуть мати високий рівень автономності. Це дозволяє їм приймати важливі рішення та діяти з невеликою людською допомогою. Інші системи можуть мати меншу автономію та потребувати людей для нагляду за певними роботами чи рішеннями. Очікується, що до 2025 року 10% усіх транспортних засобів будуть повністю автономними.

Разом з розвинутою версією інтерфейсу ІЕС 61162-450 з'являється можливість застосування ШІ для управління радіозв'язком як в ефірі, так і через мережу інтернет. Вирішення цієї проблеми особливо актуальне для ситуацій лиха та термінових повідомлень на MASS

суднах 3-го та 4-го рівнів автоматизації, коли треба дотримуватись процедур радіозв'язку за загальними вимогами ГМЗЛБ.

Спрощена блок-схема моніторингу/управління апаратурою радіозв'язку та навігації з використанням ШІ наведена на рисунку 1.

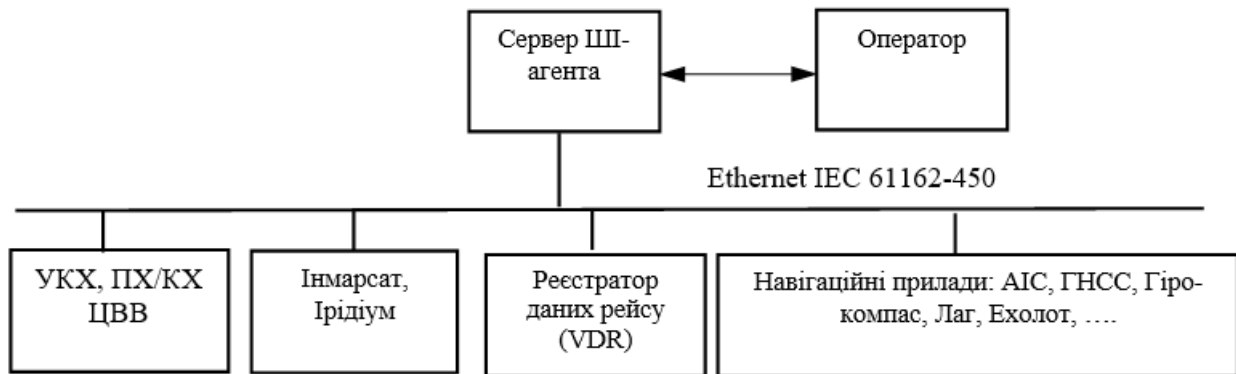


Рисунок 1 – Схема моніторингу/управління апаратурою радіозв'язку та навігації з використанням ШІ

Для виконання автоматичного управління має бути встановлений сервер ШІ, який в загальному випадку працює з підтримкою людини-оператора, а обладнання радіозв'язку і навігації має мати електронний інтерфейс дистанційного управління. Наразі управління судновою апаратурою зв'язку здійснюється вручну, але стандарт [6] значно розширив перелік речень інтерфейсу IEC 61162, що дозволяє сподіватися на появу апаратури з можливістю дистанційного управління/моніторингу. Приклад речення автоматичної процедури ініціювання сигналу лиха показаний на рисунку 2.

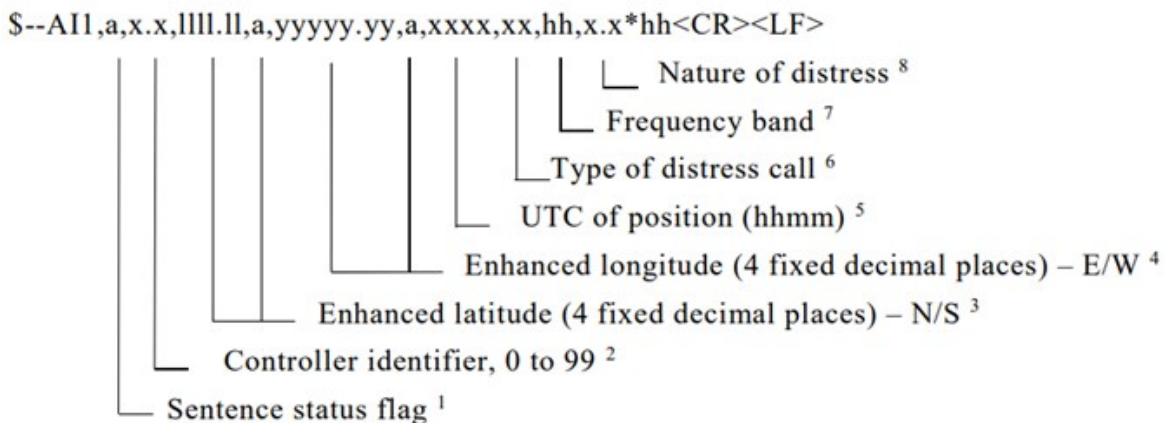


Рисунок 2 – Повідомлення автоматичної процедури ініціювання сигналу лиха (AII - Automated procedure Initiate - Sending Own Distress) [6]

У разі використання функціонала ШІ відпадає необхідність розширення функцій ЕКНІС щодо управління зв'язком. Сервер агентного ШІ працює найкраще, коли він підключається як до людей, так і до навколишнього середовища. Ця здатність до взаємодії є ключовою. Це допомагає цим системам зрозуміти, що вони повинні робити, і вчитися на досвіді. Таким чином вони можуть покращити свої дії для досягнення конкретних цілей. Приклад впровадження ШІ у процедуру дій під час аварійної ситуації зіткнення наведений на рис.3.

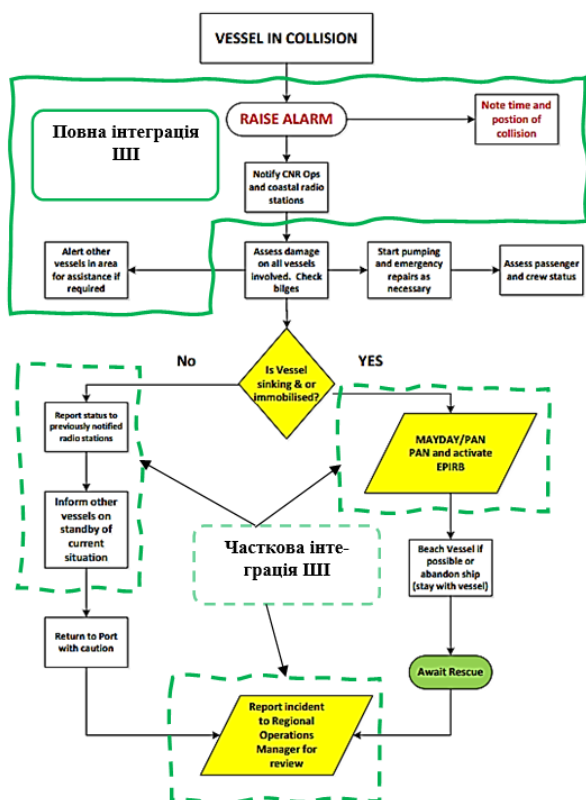


Рисунок 3 – Приклад заміщення людини штучним інтелектом для підвищення безпеки мореплавання. Впровадження ШІ у процедуру дій під час аварійної ситуації зіткнення

варіанти та приймати розумні рішення на основі того, що потрібно зробити. Ця навичка дозволяє їм глибоко розуміти завдання та прагнути до найкращих результатів. Типи складних завдань, з якими може впоратися агентський штучний інтелект, постійно вдосконалюються.

Наприклад, це може бути процедура дій під час зіткнення судна. Як видно з рисунку 2 більше половини етапів процедури дій під час зіткнення може бути повністю чи частково замінена ШІ. Отримавши команду від оператора (судного чи берегового офіцера, що має відповідну авторизацію), ШІ-агент ініціює виконання дій, передбачених конвенцією СОЛАС. В першу чергу подається сигнал суднової тривоги та реєструються координати та час зіткнення. Попередження берегових служб та інших суден також виконує ШІ.

У подальшій боротьбі за живучість агентський ШІ сервер продовжує реєструвати та аналізувати інформацію, щоб за необхідності транслювати нові статуси лиха, дані про технічний стан судна та його місцезнаходження, взаємодіючи автономне на рівні мовного діалогу та текстових повідомлень зі службами спасіння, комерційними суднами, що задіяні в операції чи знаходяться в дотичному квадраті, а також судновласником.

Незважаючи на те, що штучний інтелект може робити власний вибір, ключовим є збереження людського контролю. Розробники та експерти беруть участь у створенні правил і дотриманні етичних стандартів. Це гарантує, що агентський штучний інтелект працює таким чином, щоб відображати людські цінності, допомагаючи використовувати технології безпечно та добре.

Штучний інтелект за формою агентного ШІ найкращим чином пристосований для автономної роботи та виконання незалежних дій для досягнення визначених цілей. На відміну від простих систем ШІ, які виконують заздалегідь визначені завдання, системи агентного ШІ здатні приймати рішення без постійного нагляду з боку людини. Особливістю агентного ШІ є здатність до навчання та адаптації в динамічному середовищі. Ці системи не просто дотримуються фіксованих правил. Вони стають кращими на основі того, що вони пережили. Завдяки машинному та глибокому навчанню агентні системи ШІ вивчають величезні обсяги даних. Вони можуть знаходити закономірності та ідеї, які людям важко помітити. Це навчання в режимі реального часу допомагає їм вирішувати нові ситуації та несподівані проблеми. Вони також можуть з часом вдосконалювати свої навички прийняття рішень.

Агентний ШІ має унікальну здатність приймати рішення самостійно. На відміну від простого виконання інструкцій, ці системи можуть розглядати ситуації, думати про різні

**Висновки**

- 1) Впровадження штучного інтелекту у процес прийняття рішень та контролю процесами надводних суден високого ступеня автономності є закономірним етапом розвитку технологій мореплавання та суднобудування.
- 2) Перехід на новий рівень мореплавства має забезпечити технологія ШІ-агентів, що забезпечить своєчасну та послідовну реакцію при виникненні ситуації лиха.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. MSC.1/Circ.1638 3 June 2021 OUTCOME OF THE REGULATORY SCOPING EXERCISE FOR THE USE OF MARITIME AUTONOMOUS SURFACE SHIPS (MASS)
2. Патент України № 78762, МПК (2006) H04Q 7/32, B63B 49/00. Пристрій для цифрового вибіркового виклику з підвищеною оперативністю / Кошевий В.М., Шишкін О.В., Заїчко В.С. Опубл. 25.04.2007, бюл. № 5, 2007 р.
3. Miyusov M.V., Koshevoy V.M., Shishkin A.V. Increasing Maritime Safety: Integration of the Digital Selective Calling VHF Marine Radiocommunication System and ECDIS // TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 5, No. 2, June 2011, pp. 159 – 161.
4. Koshevyu V.M., Shyshkin O.V. Standardization of Interface for VHF, MF/HF Communication Using DSC within Its Integration with INS in the Framework of e-Navigation Concept. // TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 13, No. 3 – September 2019, pp. 593 – 596.
5. COMSAR 14/7 27 October 2009. Proposal for simplification of VHF DSC radiocommunication and increasing DSC efficiency. Submitted by Ukraine.
6. ETSI EN 300 338-8 V1.1.1 (2022-02) Technical characteristics and methods of measurement for equipment for generation, transmission and reception of Digital Selective Calling (DSC) in the maritime MF, MF/HF and/or VHF mobile service; Part 8: Enabling DSC radio equipment with remote control capabilities.
7. S. Sivakuma. Agentic AI in Predictive AIOps: Enhancing IT Autonomy and Performance. International Journal of Scientific Research and Management (IJSRM), vol. 12, Issue 11, pp. 1631-1638, 2024. <https://ijsrm.net> ISSN (e): 2321-3418. DOI: 10.18535/ijsrm/v12i11.ec01
8. IEC 61162-450. Edition 1.0: International standard. Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Digital interfaces – Part 450: Multiple talkers and multiple listeners – Ethernet interconnection. (2011).

УДК 004.056.5/946.5:656.61

**ЕФЕКТИВНІ КІБЕРСИСТЕМИ ДЛЯ МОРСЬКИХ СУДЕН**

**С.А. Михайлов**, д.т.н., професор  
**О.М. Веретеннік**, д.т.н., професор  
**І.М. Кулешов**, к.т.н., доцент

Національний Університет «Одеська Морська Академія»

***Анотація:** У статті досліджується судно як складну кіберфізичну систему, що складається з різних технологічних активів, включаючи машини, навігаційні системи, інформаційні та операційні технології. У зв'язку з прогресуючою цифровізацією, кібербезпека стає важливою для судноплавної галузі, але її часто ігнорують. Недостатнє управління кіберризиками може призвести до серйозних економічних, репутаційних та операційних наслідків. Технологічні інновації та автоматизація підвищують уразливість суден до кіберзагроз, що вимагає вжиття заходів щодо захисту критичних систем відповідно до рекомендацій ІМО.*

***Ключові слова:** судно, кіберфізична система, кібербезпека, кіберзагрози, морська індустрія, автоматизація, ІМО, цифровізація, кібератаки, управління ризиками.*

## EFFECTIVE CYBER SYSTEMS FOR MARINE VESSELS

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

O.M. Veretennik, Dr. of Science, Professor

I.M. Kuleshov, PhD (Tech), Assistant Professor

National University "Odessa Maritime Academy", Ukraine

**Abstract:** This article examines the ship as a complex cyber-physical system consisting of various technological assets, including machinery, navigation systems, information and operational technologies. Due to the progressive digitalization, cyber security is becoming important for the shipping industry, but it is often ignored. Inadequate cyber risk management can have serious economic, reputational and operational consequences. Technological innovation and automation increase the vulnerability of ships to cyber threats, which requires measures to protect critical systems in accordance with IMO recommendations.

**Keywords:** ship, cyber physical system, cyber security, cyber threats, maritime industry, automation, IMO, digitalization, cyber attacks, risk management.

Судно - це складна кіберфізична система, яка охоплює як діяльність та системи у водному середовищі, а також віддалені елементи, такі як навігаційні сигнали. Як показано на рис. 1, судно складається з п'яти головних типів активів (наприклад, машини та устаткування, операційні технології, інформаційні технології, радіоприймачі, частотні комунікації та системи навігації), які використовуються для забезпечення спектру оперативних послуг і де технологія відіграє все більш важливу роль.

Втрата або компроміс одного або декількох цих активів може мати вплив на:

– здоров'я та безпеку персоналу та інших людей, на яких вплинула робота чи діяльність, що здійснюється і на яку покладається обов'язок догляду;

– здатність судна працювати безпечно і не загрозувати іншим морським суднам, структурі чи навколишньому середовищу;

– швидкість та ефективність роботи судна.

Крім того, нездатність компанії або персоналу судна оцінити структуру і експлуатацію його активів, систем та пов'язаних з ними бізнес-процесів може призвести до кількості небажаних ситуацій, у тому числі:

– випадкове або ненавмисне виявлення чутливих систем, програм або даних для неавторизованих користувачів;

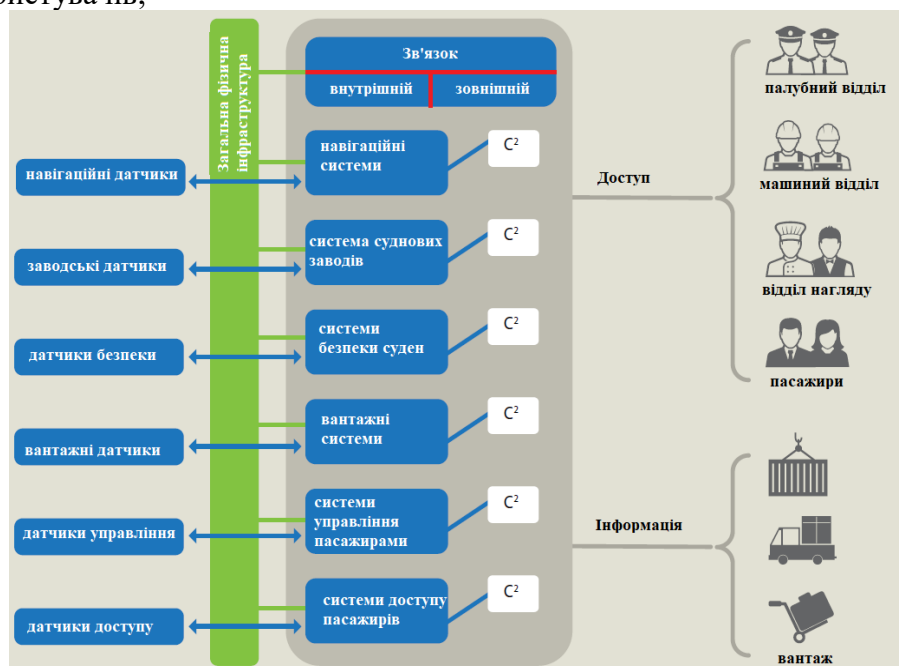


Рисунок 1 – Суднові системи потребує киберзахист



- втрата стійкості або резервування системи;
- нестаціонарні режими відмови, які призводять до катастрофічної неспроможності критичних систем або процесів.

Будь-який тип описаної несправності також може мати значний економічний і репутаційний характер наслідків.

В даний час загальносвітовою тенденцією є прогресуюча цифровізація економіки, яка в повній мірі стосується морського і річкового транспорту. Судна збільшують габарити, а команди зменшують чисельність в зв'язку з все більшою автоматизацією процесів. Деякі бортові системи отримують оновлення під час плавання, у команд є вихід в Інтернет.

При цьому, на думку ряду фахівців, питання інформаційної безпеки об'єктів морської і річкової транспортної інфраструктури, морських і річкових суден приділяється вкрай мало уваги.

Згідно зі звітом ENISA «Analysis of cybersecurity aspects in the maritime sector» від листопада 2011 року, «стурбованість до питань кібербезпеки в морському секторі знаходиться на низькому рівні або взагалі відсутня».

Малу стурбованість питаннями, пов'язаними з кіберзагрозами, відзначають і аналітики компанії Cyber Keel, що спеціалізується на безпеці морської індустрії. Вони відзначають той факт, що багато зайняті в морській сфері звикли бути частиною «практично невидимою» галузі.

Залежність морської індустрії від технологій також представляє ризики. Схильність кібератак (крім втрати даних) зростає. Уже мав місце ряд значущих кіберінцидентів, і розвиток технологій, включаючи Інтернет і електронну навігацію, означає, що в розпорядженні галузі всього кілька років, щоб підготуватися до ризику втрати суден в результаті кібератак. Пірати вже зловживають наявністю прогалин у системі кібербезпеки для планування крадіжки конкретних вантажів. При цьому не можна переоцінювати значення кібератак.

Питання актуальності тематики ще ускладняється тим, що, за даними Reuters, далеко не вся інформація про успішно проведені атаки набуває широкого розголосу: часто власники бізнесу можуть замовчувати її, побоюючись таких наслідків, як втрата іміджу, претензій з боку клієнтів і страхових компаній, початок розслідувань, що проводяться сторонніми організаціями і державними органами.

З точки зору Рекомендацій ІМО вразливі судові системи можуть включати, але не обмежуватися:

- системами ходового містка;
- системами обробки і управління вантажем;
- системами управління двигунами, машинами і живленням;
- системами контролю доступу;
- системами обслуговування і управління пасажирями;
- публічними інтернет-мережами судна, призначеними для використання пасажирями;
- адміністративними системами та мережами;
- системами зв'язку.

Управління ризиками традиційно зосереджена на операціях у фізичній області, проте велика залежність від оцифровки, інтеграції, автоматизації та мережових систем зумовила зростаючу потребу в управлінні кіберризиками в судноплавній галузі. Швидкоплинні інформаційні технології та загрози ускладнюють усунення кіберризиків тільки на основі технічних стандартів. У зв'язку з цими Рекомендаціями пропонується управління щодо кіберризиків через природне розширення існуючих методів управління безпекою мореплавства і безпекою судна. Рекомендації ІМО наказують зацікавленим сторонам вжити необхідні заходи для захисту судноплавства від існуючих і виникаючих загроз і вразливостей, пов'язаних з оцифруванням, інтеграцією і автоматизацією процесів та систем судноплавства.

**Висновки.** Судноплавна галузь зазнає значного впливу через цифровізацію та автоматизацію, що підвищує її уразливість до кіберзагроз. Недостатня увага до кібербезпеки може

мати серйозні наслідки для суден, включаючи втрату інформації та зрив операцій. Рекомендації ІМО акцентують на важливості впровадження заходів кіберзахисту для забезпечення безпеки судноплавства та уникнення потенційних ризиків у майбутньому.

#### ЛІТЕРАТУРА

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.sqllearn.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 627.7

### НОВІ МОРСЬКІ СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ БЕЗПЕКИ СУДНОПЛАВСТВА

**О.В. Шишкін**, д.т.н., професор

**О.Л. Пашенко**, ст. викладач

**Р.Ю. Харченко**, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:** Проаналізовані техніко-експлуатаційні характеристики нових цифрових систем морського радіозв'язку схвалених Міжнародною Морською Організацією в рамках імплементації концепції E-навігації. Системи мають підвищити ефективність та безпеку судноплавства. Зроблені висновки щодо адаптування навчальних програм та тренажерного обладнання для отримання належних знань та навичок роботи з новим обладнанням.*

***Ключові слова:** Система обміну даними в УКХ діапазоні; Морська інформація з безпеки; Супутникова система; Глобальний морський зв'язок лиха та безпеки (ГМЗЛБ); Програмоване радіо.*

### NEW MARITIME DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS FOR SHIPPING SAFETY

**O. Shyshkin**, Dr. of Science, Professor

**O. Pashenko**, Senior Lecturer

**R. Kharchenko**, PhD, Assistant Professor

National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract:** The technical and operational characteristics of new digital maritime radio communication systems approved by the International Maritime Organization within the framework of the E-navigation concept implementation are analysed. The systems are increasing the efficiency and safety of shipping. Conclusions regarding the adaptation of training programs and training equipment to obtain appropriate knowledge and skills for working with new equipment are proposed.*

***Key words:** Data exchange system in the VHF (VDES); Maritime safety information (MSI); Satellite system; Global Maritime Distress and Safety Communication (GMDSS); Software Defined Radio (SDR).*

#### 1. Вступ

Прискорений технологічний розвиток навігаційних, комунікаційних та інформаційних систем відкриває великі можливості для покращення навігаційної безпеки, кібербезпеки та

ефективності морських перевезень, дозволяє контролювати технологічний тиск на навколишнє середовище. Прогрес морських технологій неможливий без впровадження нових систем зв'язку, які мають забезпечити значно більшу пропускну здатність каналів зв'язку в умовах обмежень частотних ресурсів, які виділені для використання морськими службами. Сучасні методи цифрового оброблення сигналів, модуляції, кодування, технології програмованого радіо (Software Defined Radio, SDR), які вже запроваджені в інших відмінних від морських системах, мають прийти на заміну малоефективних систем минулого покоління.

Однак існує ризик розвитку систем морського зв'язку без належної координації, що може призвести до несумісності суднової апаратури. З метою запобігання хаотичного застосування систем зв'язку і навігації Міжнародна морська організація (ІМО) прагне гармонізувати процес їхнього впровадження, зокрема в рамках концепції Е-навігації [1].

Головні напрямки розвитку та вдосконалення систем морського зв'язку:

- Система обміну даними в УКХ діапазоні (VDES) [2];
- Система передавання інформації з безпеки судноплавства в ПХ/КХ діапазонах (NAVDAT) [3];
- Супутникова система Ірідіум [4].

Метою доповіді є аналіз техніко-економічних характеристик систем зв'язку, які вже набули та набуватиме чинності найближчим часом в ГМЗЛБ.

## 2. Основна частина

### 2.1. Система обміну даними в УКХ діапазоні (VHF Data Exchange System)

Діапазон частот 156 – 174 МГц, виділений морської рухомої службі, спочатку використовувався виключно для каналів радіотелефонного зв'язку з аналоговою модуляцією. З імплементацією системи ГМЗЛБ у 1999 році з'явилась система цифрового вибіркового виклику (ЦВВ, DSC) зі швидкістю передавання даних 1200 біт/сек. Головним призначенням ЦВВ є встановлення гарантованого адресного зв'язку, що особливо важливого для забезпечення безпеки у разі лиха. Наступним кроком стало впровадження автоматичної ідентифікаційної системи (AIC, AIS), яка працює зі швидкістю передавання даних 9,6 кбіт/сек у смузі 25 кГц і виконує важливу роль засобу морської навігаційної безпеки. Але AIC вразлива до кіберзлочинів, тому передбачається її захист шляхом використання розширених спроможностей VDES. Очікується, що як аналоговий голосовий зв'язок, так і цифровий зв'язок будуть використовувати смугу УКХ у найближчому майбутньому.

Система VDES є одним із ключових елементів концепції Е-навігації, яка заснована та розвивається за сприяння Міжнародної морської організації (ІМО). У цьому проекті також активну роль виконує Міжнародна асоціація морських засобів навігації та маяків (IALA) і Міжнародний союз електров'язку (ITU), який розробив міжнародний стандарт VDES [5] для об'єднання наземних і супутникових компонентів системи, автоматичну ідентифікаційну систему (AIC), та систему спеціальних повідомлень (Application Specific Messages, ASM). Усі перелічені системи працюють в діапазоні УКХ морської рухомої служби.

ITU для підвищення ефективності використання частотного спектру ще в 2012 році запровадив стандарт з опціями для каналів 25 кГц, 50 кГц і 100 кГц зі швидкістю передачі даних до 307,2 кбіт/сек.

Розвиток морського радіозв'язку за проектом розгортання VDES в значній мірі визначається сучасним трендом розвитку радіоелектронної апаратури - програмно-визначеного радіо (Software Defined Radio, SDR). SDR - це система радіозв'язку, в якій окремі компоненти, що традиційно використовувалися в аналоговому обладнанні (наприклад, змішувачі, фільтри, підсилювачі, модулятори/демодулятори, детектори тощо), натомість реалізуються за допомогою програмного забезпечення у вбудованому мікрочіпі. Таким чином, можливості цифрової електроніки, що швидко розвиваються у напрямку SDR, на практиці прискорюють впровадження комунікаційних алгоритмів, які колись були лише теоретично можливими, або могли бути реалізовані у Матлаб симуляції.

За планом імплементації VDES національні Адміністрації мають до 2030 року повністю звільнити VHF-канали VDES від голосового зв'язку.

Концепція системи, включаючи функції VDES і використані частоти, зображена на рисунку 1. VDES включає сегменти наземного зв'язку (VDE-TER), супутникового зв'язку, (VDE-SAT), віддаленого супутникового виявлення повідомлень AIC та ASM (Application Specific Messages).

Ключова концепція функціонування VDES передбачає [5]:

1 можливість обміну даними між суднами та береговими користувачами за допомогою наземного чи супутникового зв'язку;

2 роботу під управлінням берегових станцій, але також підтримується автономний режим без берегової інфраструктури;

3 обмін даними з судна може відбуватися автоматично або вручну;

4 обмін даними використовує призначений(і) канал(и) УКХ;

5 реалізацію передачі та прийом даних з мінімальною участю персоналу судна;

6 підтримання існуючих програм AIS;

7 підтримання існуючих програм ASM;

8 підтримку додаткових можливостей обміну даними в УКХ;

9 підтримку програм незалежних від мови спілкування (наприклад, через використання словників цифрових даних);

10 реалізацію моніторингу цілісності даних на рівні зв'язку VDES (наприклад, контрольна сума);

11 підтримку програм, що стосуються кібербезпеки (наприклад, автентифікації, керування ключами та, якщо потрібно, шифрування);

12 високий рівень доступності;

13 підтримку міжмашинного зв'язку (наприклад, інтерфейси із зовнішнім обладнанням, що забезпечують додатки, пов'язані з VDES); і

14 підтримку додатків, які дозволяють чітко розуміти інформацію, надіслану/отриману через VDES.

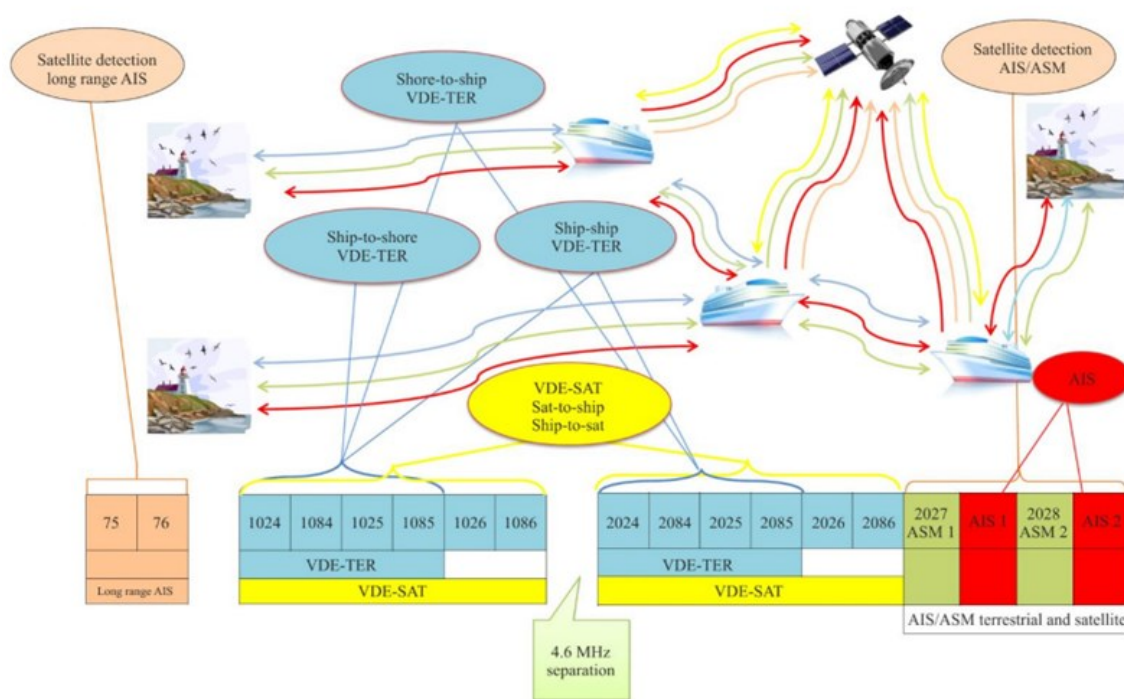


Рисунок 1 – Концепція побудови VDES [5]

## 2.2. Система NAVDAT.

Розробка та впровадження системи NAVDAT невід’ємно пов’язана з програмою модернізації ГМЗЛБ 2024 – 25 років. Існуючі дотепер наземні системи передавання інформації з безпеки мореплавства у телексоному форматі забезпечують швидкість передавання даних 50 біт/сек у ПХ та КХ діапазонах, що ніяк не відповідає сучасним вимогам та напрацьованим технологіям зв’язку. Передбачається, що вона замінить низкошвидкісні системи літеродрукування (NBDP) NAVTEX 518 кГц HF MSI. Тому починаючи з 1 січня 2025 року суднова апаратура систем NAVTEX і вузько смугового літеро-друкування (NBDP) втрачає статус обов’язкового у ГМЗЛБ.

NAVDAT - це система цифрового широкомовлення (broadcasting), яка призначена для роботи в діапазонах частот 500 кГц і КХ на основі мультиплексування з ортогональним частотним розподілом (OFDM) з використанням квадратурної амплітудної модуляції (QAM), що дає змогу передавання цифрових файлів в напрямку берег - судно. Ці цифрові файли можуть мати будь-які формати: текстові, зображення, графічні, дані тощо. Графічна інформація може надаватися судоводіям для полегшення інтерпретацію та подальшу інтеграцію цифрової інформації в систему відображення електронних карт та інформації (ECDIS).

Система NAVDAT може працювати з трьома типами цифрової модуляції: 4 QAM, 16 QAM і 64 QAM з двома рівнями корекції помилок (0,5 або 0,75), а також чотирма спектральними смугами частот: 1, 3, 5 або 10 кГц. Усі ці параметри надають дуже велику гнучкість системі NAVDAT для трансляції повідомлень. Використання 64 QAM/0,75 на 10 кГц забезпечить значну пропускну здатність близько 28 кбіт/с у зоні покриття, що забезпечує співвідношення сигнал/шум (SNR) 22 дБ, тоді як, наприклад, 4 QAM/0,75 на 1 кГц забезпечать нижчу швидкість, але в більшій зоні покриття, де SNR буде зменшено до 12 дБ [3]. Частоти системи NAVDAT у КХ діапазоні наведені у табл. 1.

Передавання файлів NAVDAT може здійснюватися в наступних режимах:

- .1 широкомовлення (на всі судна);
- .2 вибірково (для суден, розташованих у певному районі, або для груп суден відповідно до місця розташування судна: MMSI або ідентифікації групи суден) і
- .3 індивідуальне повідомлення (відповідно до MMSI судна).

Таблиця 1 - Частоти системи NAVDAT у КХ діапазоні [3]

Channel	Maritime frequency band	Central frequency	Limits
C1	4 MHz band	4 226 kHz	4 221 to 4 231 kHz
C2	6 MHz band	6 337.5 kHz	6 332.5 to 6 342.5 kHz
C3	8 MHz band	8 443 kHz	8 438 to 8 448 kHz
C4	12 MHz band	12 663.5 kHz	12 658.5 to 12 668.5 kHz
C5	16 MHz band	16 909.5 kHz	16 904.5 to 16 914.5 kHz
C6	22 MHz band	22 450.5 kHz	22 445.5 to 22 455.5 kHz

## 2.3. Супутникова система Ірідіум.

У 2018 році, на 99 сесії Комітету з безпеки на морі (MSC), компанія Iridium Communications Inc. була визнана авторизованим постачальником послуг ГМЗЛБ. До цього судові земні станції Iridium теж використовувалися на судах але для розширення комунікаційних можливостей поза вимог ГМЗЛБ.

З чинним введенням системи Iridium до ГМЗЛБ, на 105 сесії MSC були схвалені зміни до розділу IV SOLAS, а саме: були переглянуті визначення морських районів. У зв’язку з

тим, що система Iridium має глобальне покриття та не має обмежень, таке поняття як морський район A4 для неї зникає взагалі [6].

З 2019 року сузір'я супутників Iridium складається 66 з низькоорбітальних супутників (NEXT), що обертаються по 6 орбітах, в кожній з яких по 11 супутників. Кожен з них здійснює обліт Землі за 100 хвилин на висоті 778 км. Сусідні супутники поєднані між собою, що дозволяє забезпечити надійність передачі даних на наземні станції за будь-яких обставин. Супутники Iridium NEXT працюють в L-діапазоні, що робить їх невразливими до змін метеорологічних умов. Такі супутники набагато дешевші за геостаціонарні супутники Inmarsat.

В 2019 році компанія Iridium продемонструвала термінал Lars Thrane LT-3100S для використання конвенційними суднами в рамках GMDSS. Блок керування обладнаний аварійною кнопкою сповіщення про лихо (DISTRESS), телефонною слухавкою та монітором для перегляду та відправки повідомлень. Пристрій має невелику за розміром всеспрямовану антену. Для роздрукування повідомлень та отриманої інформації з безпеки мореплавства існує можливість підключення принтера. Отримані на станцію дані можуть бути передані на інтегроване мостове обладнання, таке як ECDIS або радар. Пристрій також має вхідний порт для безперервного оновлення інформації про місцезнаходження судна. Крім іншого, мульти-сервісний термінал сумісний з судновою системою охоронного оповіщення (SSAS), засобами захисту від піратства (Citadel Communications), а також системою дальньої ідентифікації та контролю за місцезнаходженням суден (LRIT).

Особливістю системи є те, що при відправці оповіщень про лихо, їх отримає морський рятувально-координаційний центр (МРКЦ), що знаходиться в США. Відповідно він обирає МРКЦ, в зоні відповідальності якого ви знаходитесь. Проте існує можливість зробити вибір самостійно. Це може бути зручним у разі, якщо екіпаж судна добре знає мову країни, до якої звертається по допомогу. Наразі затверджено 23 рятувально-координаційних центри, що можуть приймати виклики про лихо або в автоматичному режимі, або за вибором оператора [7]. Варто зазначити, що у разі якщо виклик був помилковим, оператор може на екрані одразу натиснути кнопку, що скасовує таке лихо.

Супутникова станція Iridium дозволяє відправляти повідомлення з пріоритетами «терміновість» та «безпека». Окрім цього, в рамках GMDSS, доступний зв'язок з використанням лише чотирьох спеціальних двозначних кодів (32 - медична консультація; 38 - медична допомога; 39 - термінова допомога на морі; 42 – звіт щодо безпеки на морі). Слід зазначити, що такі виклики відправляються з пріоритетом «безпека».

Кожна суднова станція Iridium повинна бути оснащена SIM-карткою, яка надає номер MSISDN (Mobile Station Integrated Services Digital Network). В налаштуваннях також обов'язково міститься інформація про назву судна, номер ІМО та ММСІ (Maritime Mobile Service Identity). Система дозволяє здійснювати дзвінки, надсилати SMS-повідомлення та електронну пошту, але загальний розмір повідомлення не повинен перевищувати 160 символів, при цьому довжина електронної адреси плюс 1 символ віднімаються від загального розміру.

Прийом інформації з безпеки мореплавства здійснюється в рамках сервісу Iridium SafetyCast відповідно до діючого району NAVAREA та METAREA. Наразі повноцінно працюють 16 районів NAVAREA та 12 METAREA [8].

Суднова земна станція (Рисунок 2), яка відповідає вимогам ГМЗЛБ Iridium LT-3100S, складається з компактного операційного блоку, який містить кнопку лиха, телефонну слухавку та екран для перегляду вхідних повідомлень, таких як MSI (Maritime Safety Information) [9]. Клавіатура дозволяє оператору редагувати сповіщення про лихо та вибира-

ти відповідний МРКЦ (Морський рятувально-координаційний центр) за потреби. Наявні канали передачі даних для виведення MSI на інтегроване обладнання містка, включаючи ECDIS радар. Існує також вхідний порт для постійного оновлення інформації про місцезнаходження судна, такої як широта/довгота, курс і швидкість, які отримуються з GNSS. Iridium GMDSS LT-3100S є першим пристроєм, що об'єднує всі три супутникові служби GMDSS (сповіщення про лихо, голосове повідомлення безпеки та морську інформацію з безпеки MSI).



Рисунок 2 - Обладнання СЗС Iridium LT-3100S

## Висновки

Впровадження нових систем морського радіозв'язку обумовлено вимогами вдосконалення навігаційної безпеки судноплавства та технологічними спроможностями інфокомунікаційних та радіоелектронних технологій.

Через очікуване впровадження зазначених систем в практику судноводіння є необхідність вивчення принципів дії та належного використання та обслуговування цих систем на ходовому містку суден. Відповідно мають бути скориговані навчальні плани та робочі програми дисциплін для бакалаврів, магістрів та здобувачів ступені PhD. Також слід звернути увагу, на те що СЗС Iridium відсутня в тренажері ГМЗЛБ.

## ЛІТЕРАТУРА

1. IMO, 'Report to the Maritime Safety Committee', NCSR 1/28, Jul. 2014.
2. VHF Data Exchange System (VDSE) Overview, IALA Guideline, Edition 3.0, December 2022.
3. MSC 102/INF.6 10 February 2020 Main performances and applications of the digital navigational data system (NAVDAT) Submitted by France.
4. RESOLUTION MSC.434(98) (adopted on 16 June 2017). PERFORMANCE STANDARDS FOR A SHIP EARTH STATION FOR USE IN THE GMDSS
5. Recommendation ITU-R M.2092-1 (02/2022). Technical characteristics for a VHF data exchange system in the VHF maritime mobile band.
6. RESOLUTION MSC.509(105) (adopted on 28 April 2022). Provision of radio services for the Global maritime distress and safety system (GMDSS).
7. <https://www.iridium.com/gmdss-service-updates/>
8. Iridium GMDSS Service Updates. URL: <https://www.iridium.com/gmdss-service-updates/>
9. User & Installation Manual LT-3100S GMDSS Satellite Communications System. 2023.

УДК 004.056.5/946.5:656.61

## ОСОБЛИВИСТІ ПІДГОТОВКИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКІВ З ПИТАНЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ В РАМКАХ ВИКОНАННЯ СВОЇХ ПРОФЕСІЙНИХ ОБОВ'ЯЗКІВ

**В. М. Кошевий**, д.т.н., професор

**Р. Ю. Харченко**, к.т.н., доцент

**В. В. Грищенко**, ст. викладач

**О. Л. Пашенко**, ст. викладач

**А.А. Шевченко**, асистент

Національний Університет «Одеська Морська Академія»

**Анотація:** Широке використання зовнішніх систем які забезпечують різнобічні потреби суден, а також суттєве зростання інформаційного обміну між суднами і іншими елементами морської та берегової інфраструктури стосовно різних аспектів їх функціонування, особливо з урахуванням високого ступеню інтеграції та автоматизації окремих її елементів з одного боку та суттєвого зростання новітніх технологій що використовуються при створенні кібератак - з іншого боку, призвели до значного зростання ризиків та ціни наслідків кібервтручань. Усе це змусило Міжнародну Морську Організацію ухвалити відповідні резолюції, які пов'язані з управлінням кіберризиками на морі. В цих нових документах значно підвищені вимоги до судових спеціалістів з точки зору рівня їх професійної підготовки для забезпечення кібербезпеки в рамках виконання своїх професійних обов'язків. Це відноситься до усіх спеціалістів: судоводіїв, механіків, спеціалістів з судової автоматики і особливо електромеханіків. Особливість вимог для електромеханіків пов'язана з тим що по мимо своїх традиційних обов'язків їм згідно Манільських поправок 2010 потрібно забезпечити працездатність навігаційного та комутаційного обладнання на містку судна що значно розширило перелік обладнання для захисту. Тому у роботі розглянуті також різні підходи для забезпечення працездатності обладнання у разі кібервтручань різного типу.

**Ключові слова:** кібербезпека, інформаційна безпека, ІТ система, ОТ система, управління кіберризиками, кібернетичне мислення, кібервтручання, глобальна навігаційна супутникова система(ГНСС), приймач ГНСС, джаммінг, спуфінг, методи захисту від кібервтручань.

## SPECIAL TRAINING OF ELECTROMECHANICS ON CYBER SECURITY PROVISION WITHIN THE PERFORMANCE OF THEIR PROFESSIONAL DUTIES

**V.M. Koshevyy**, Dr.Sci., Professor

**R.Yu. Kharchenko**, PhD, Assistant Professor

**V. V. Hryshchenko**, Senior Lecturer

**O. L. Pashenko**, Senior Lecturer

**A.A. Shevchenko**, Assistant

National University "Odesa Maritime Academy"

**Abstract:** Wide use of external systems that provide for the versatile needs of ships, as well as a significant increases of information exchange between ships and other elements of the marine and coastal infrastructure regarding various aspects of their functioning, especially taking into account the high degree of integration and automation of its individual elements on the one hand and the significant growing of the latest technologies used in the creation of cyber attacks, on the other hand, have led to a significant increase in the risks and costs of the consequences of cyber interventions. All this forced the International Maritime Organization to adopt relevant resolutions related to the management of cyber risks at sea. These new documents significantly increase the requirements for ship specialists in terms of the level of their Professional training to ensure cyber security as part of their professional duties. This applies to all specialists: navigators, mechanics, ship automation specialists and especially electromechanics. The peculiarity of the requirements for electromechanics is related to the fact that, in addition to their traditional duties, according to the Manila Amendments of 2010, they need to deal with the functionality of navigation and communication equipment on the ship's bridge, which significantly expanded the list of the equipments for protection. There-



fore, the work also considers various approaches to ensure the equipment's operability in the event of various types of cyber intrusions.

**Keywords:** cyber security, information security, IT system, OT system, cyber risk management, cybernetic thinking, cyber intrusion, Global Navigation Satellite System (GNSS), GNSS receiver, jamming, spoofing, methods of protection against cyber intrusions.

Забезпечення кібербезпеки є одною із складових загального управління безпекою у рамках Міжнародного Кодексу Управління Безпекою (МКУБ) (International Safety Management Code (ISM) – Resolution A. 741(18)). До нещодавнього часу ця складова безпеки розглядалася виключно для систем, які побудовані на використанні інформаційних технологій (ІТ систем, зокрема, для комп'ютерів і комп'ютерних мереж). Захист ІТ систем при цьому здійснювався тільки шляхом використання паролів та антивірусних програм. І взагалі безпека ІТ систем здійснювалась в рамках напрямку «Інформаційна безпека». Широке використання зовнішніх систем, які забезпечують різнобічні потреби суден, а також суттєве зростання інформаційного обміну між суднами і іншими елементами морської та берегової інфраструктури стосовно різних аспектів їх функціонування і особливо з урахуванням високого ступеню інтеграції та автоматизації окремих її елементів привело к значному зростанню ризиків кібервтручань і ціну наслідків таких втручань. Це зокрема відноситься до широкому провадженню високовольтних технологій на суднах, що в свою чергу пов'язано з використанням високотехнологічних засобів перетворення частоти, які потребують постійного моніторингу[6,7(додаткова)], у тому числі зовнішнього за допомогою відповідних телекомунікаційних каналів зв'язку(наприклад типу VDES і NAVDAT)для обміну цифровою інформацією і відповідно утворюючи додатковий об'єкт для кібервтручання, який потребує відповідного захисту. Усе це змусило Міжнародну Морську Організацію (ММО) ухвалити резолюцію MSC 428(98) щодо Управління кіберризиками на морі та сумісний документ MSC – FAL . 1/Circ. 3 (on Guidelines on maritime cyber risk management) (Порадник щодо Управління кіберризиками на морі).Розробити і прийняти вказані вище резолюції, як заходи для підвищення кіберзахищеності шляхом заміни напрямку «Інформаційна безпека» на новий напрямок «Управління кібер ризиками на морі» у рамках МКУБ. Головними задачами нового напрямку зазначені наступні: 1) Суттєве підвищення кіберзахищеності саме ІТ систем (зокрема, комп'ютерів і комп'ютерних мереж). Така необхідність пов'язана з широким впровадженням інтегрованих технологій, де кібервтручання у один з інтегрованих об'єктів може призвести до непрацездатності усього ланцюгу інтегрованих об'єктів. Що приведе до підвищення ціни результату кібервтручання (підвищення рівня ризику виникнення відмови працездатності об'єкту у результаті кібервтручання). Тому на відміну від старого напрямку «Інформаційна безпека», яке допускає використання тільки першого рівня захисту (на основі паролів і антивірусних програм) в новому напрямку «Управління кіберризиками на морі» передбачається для підвищення рівня кіберзахисту використання додатково ще двох рівнів захисту, так званих «Скремблінгування» і «Технологія цифрових водяних знаків». Слід відмітити, що усі об'єкти, для котрих забезпечувався захист у рамках старого напрямку «Інформаційна безпека» присутні у складі ІТ систем у новому напрямку «Управління кіберризиками на морі», але з забезпеченням більш високого рівня кіберзахищеності. 2) Повинно бути впроваджено значне розширення переліку систем для яких актуальною є потреба забезпечення високого рівня кіберзахищеності. До цього додаткового переліку систем, котрі не є ІТ системами, і тому принципово не мали можливості бути розглянуті у рамках старого напрямку «Інформаційна Безпека», обов'язково мають бути розглянуті системи котрі пов'язані з необхідністю використання відповідних зовнішніх систем для своєї роботи і побудовані на використанні операційних технологій (ОТ системи) для забезпечення відповідних потреб суден. Ці ОТ системи не розглядались у рамках старого напрямку «Інформаційна безпека» ще і тому, що методи виявлення та захисту від кібервтручань у безпечову роботу ІТ систем є абсолютно непридатними для ОТ систем і засновуються зовсім на інших принципах, котрі повинні вивчатися у дисциплінах що пов'язані з кіберзахистом

наряду з вивченням ІТ систем. Суднові електромеханіки по роду своєї діяльності мають справу як з ІТ системами так і з ОТ системами. Таким чином, немає жодного питання яке мало бути висвітлене у дисциплінах «Інформаційна безпека» які би не розглядались у напрямку «Управління кіберризиками на морі». З іншого боку у дисциплінах, які відображають новий напрямок обов'язково має бути присутнє висвітлення питань, які в принципі не можуть розглядатися у дисциплінах старого напрямку.

У резолюціях MSC. 428(98) і MSC-FAL. 1/Circ.3 надаються необхідні рекомендації щодо управління кіберризиками на морі, які включають методи захисту об'єктів які засновані як на ІТ технологіях (але включно методи більш високого ступеню захисту, з використанням додаткових рівнів захисту), так і захисту систем, які засновані на використанні ОТ технологій. Виконання цих рекомендацій крім всього має забезпечити органічне вписування вказаних процесів у існуючі процеси управління ризиками і цим забезпечити необхідну обґрунтованість їх виконання на борту суден та покращення уміння персоналу суден у справі управління безпекою. Була надана кінцева дата для втілення компаніями процесів управління кіберризиками на суднах 1 Січня 2021. У 2021р. компанії і персонал суден мали продемонструвати знання і політику безпекового захисту в їх компаніях. Було проведено низку заходів де обговорювалися найбільш ефективні методи підготовки персоналу суден до існуючих загроз. Тому у нових дисциплінах методологія, яка базується на понятті ризику, має бути запропонована для оцінювання загроз кібервтручань у контексті кібератак згідно вимог MSC. 428(98) і MSC-FAL 1/Circ.3. При цьому важливо враховувати необхідність розвитку у курсантів загального кібернетичного мислення з розумінням взаємодії людина – машина. Такому підходу має бути надана перевага з точки зору підвищення безпеки, стандартизації та бюрократичного контролю. Один підхід, який використовувався при підготовці Electro-Technical Officers (ЕТО) з “Управління кіберризиками на морі”, можна відзначити окремо так як сумісно з основними питаннями розглядалися питання виконання відповідних заходів забезпечення кібербезпеки в умовах обмежених можливостей до їх фінансування [20(додаткова)].

Слід зазначити дуже важливий аспект який пов'язаний з практичним втіленням вказаного нового напрямку а саме значному розширенню переліку потенційних кіберзагроз для суден, які мають бути враховані. Додатково до традиційних кіберзагроз до комп'ютерів та комп'ютерних мереж, які будуються на інформаційних технологіях (ІТ систем), як було вказано вище, розглядається широке коло кіберзагроз пов'язаних з використанням зовнішніх систем, які побудовані на операційних технологіях (ОТ систем) і забезпечують відповідні потреби суден. Спеціалістам, які мають справу з експлуатацією суднових високовольтних станцій цікаво має бути ознайомленими з роботою [8 (додаткова)]. Технічні і процедурні методи захисту, поєднання цих методів при впливі на радіоканали засобів зв'язку при виявленні кібератаки на ГНСС і АІС в найпростішому варіанті захисту використовувати виключно радіолокаційні позначки в рамках ЗАРП; в більш складному варіанті захисту використовувати просторове розділення сигналів супутників і сигналу кібератаки від наземного джерела як для загального приладу приймача ГНСС, так і для вбудованого в АІС; використання кореляційно - фільтрових методів виділення слабких сигналів супутників на тлі потужного сигналу кібератаки від наземного джерела, з урахуванням суттєвої різниці в фазовій структурі сигналів від наземного джерела і супутникових сигналів за рахунок доплерівського спектра останніх. Зразки ОТ систем: Глобальні навігаційні супутникові системи (ГНСС); (АІС); Навігаційна система (Logan C); ГМЗЛБ (включно з системами прийому інформації з безпеки на морі); Системи бункеровки суден (зокрема, паливно-мастильними матеріалами); тощо. Практично усі перераховані зразки ОТ систем відносяться до компетенції ЕТО у рамках виконання Функції 2, яка накладає вимоги Кодексу ПДНВ Глави III, розділу А-III/6, з урахуванням документів MSC 428(98) і MSC-FAL 1/Circ.3, щодо Експлуатації та Ремонту на рівні Управління для навігаційного обладнання містка і суднових систем зв'язку, а також виконання Функції 2 для електричного і електронного обладнання; систем автоматичної і управ-

ління головною рухомою установкою та допоміжними механізмами; систем управління та безпекою; - за допомогою консультацій з використанням систем зовнішнього зв'язку, відносно до ОТ систем. Також важливо володіти додатковими заходами у разі ураження ІТ систем, які пов'язані з усуненням несправностей в системах спостереження, контролем версій програмного забезпечення, управлінням програмним забезпеченням. При кібератаках на ІТ системи може бути використано три рівня захисту. Перший рівень захисту забезпечується завдяки використанню системи паролів і відповідних антивірусних програм. Другий рівень забезпечується спеціальними методами кодування інформації, зокрема, за допомогою технології «скремблінгвання» (Scrambling). Нарешті третій рівень захисту можливо створити на основі технології «Watermarking», який здійснюється на етапі модуляції сигналу з використанням спеціальних методів модуляції, яка дозволяє вбудовувати символи таємної інформації (Watermarks) необхідної для отримувача у групі додаткових інформаційних символів, виконуючих функцію прикриваючої (затуляючої) інформації. У разі виникнення кібератак, котрі можуть привести до втрати працездатності окремих систем, як у разі ОТ систем, так і у разі ІТ систем, виникає потреба у використанні методів управління кіберризиками для максимально можливого відновлення працездатності уражених систем. Використання брандмауерів, фізичної охорони судна відповідно до плану охорони (SSP), радіотехнічні засоби охорони системи далекої і близької ідентифікації, таємна кнопка, супутниковий пейджер - Ship Security Alert System (SSAS); електронні засоби охорони (датчики наближення, VDR, тощо), сегментація мереж, контроль доступу, процедури використання знімних носіїв, політика використання паролів, антивірусних програм, додаткового кодування), підготовленість персоналу. Пріоритетність впровадження заходів щодо забезпечення кібербезпеки - першочергове використання найбільш ефективних заходів.

Успішне завершення програми навчальної дисципліни «Управління кіберризиками на морі» крім іншого передбачає здобуття курсантом розуміння ролі і місця системи управління кіберризиками в загальній системі управління безпекою на морі, уміння розробляти плани дій щодо заходів захисту, протидії та аналізу можливих наслідків кіберзагроз на морському судні а також навичками заповнення відповідних документів. безпеки, стандартизації та бюрократичного контролю.

В сучасній морській навігації стають частішими такі методи втручання в роботу глобальної навігаційної супутникової системи ГНСС (GNSS [1]) за рахунок кібератак на приймач ГНСС, такі як *Jamming* (глушіння), де таке втручання відбувається шляхом випромінювання на частотах роботи супутників сигналів з шумовою модуляцією засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ) з потужністю, яка значно перевищує потужність сигналів, що надходять від різних супутників і приймач перестає надавати координати користувачам які потрапляють в зону дії шумового сигналу. *Spoofing* (підробка) – передбачає випромінювання засобами РЕБ підроблених сигналів (на тих же частотах і з такою же модуляцією, яку використовують передавачі супутників), які завдяки їх підвищеною потужністю по зрівнянню з сигналами від супутників заміщують ці сигнали в приймачах ГНСС, що змушує приймачі обчислювати невірне положення суден та/або час і як наслідок відхилення від курсу, мають негативні наслідки для засобів навігації та зовнішнього зв'язку, які використовують або дані про координати і точний час, або безпосередньо використовуються для синхронізації роботи прибору, тощо.

**Актуальність досліджень.** Електромеханіки повинні знати, як використовувати дублююче обладнання та перевірити точність інформації про місцеперебування за допомогою різних дублюючих засобів, наприклад таких як наземні радіонавігаційні засоби типу Лоран, різні радіолокаційні засоби та інші. Необхідність надбання електромеханіками знань та умінь з управління кіберризиками на морських суднах пов'язана з керівними принципами ІМО в області забезпечення кібербезпеки згідно відповідних резолюцій ІМО [2, 3].

**Постановка задачі.** Задача захисту приймачів ГНСС розбивається на два основних блока – виявлення (детектування) кібервтручання та визначення його типу (при джаммінгу

видається відмова приймача від видачі координат, а при спуфінгу відбувається зміщення значень координат). Другим етапом обираються подальші дії щодо захисту приймача ГНСС.

Існує ряд методів захисту від глушіння та спуфінгу приймачів ГНСС:

- Використання антенних решіток для просторого розділення корисних і завадових сигналів за рахунок придушення бокових пелюстків діаграми спрямованості антенної решітки з напрямку приходу завадового сигналу та з високим коефіцієнтом посилення головного пелюстка діаграми спрямованості з напрямку приходу корисних сигналів від супутників, з використанням або адаптивного або зонального методів придушення бокових з урахуванням наявності апріорних даних про можливі напрямки приходу завадових сигналів. Такий підхід до захисту приймачів ГНСС використовується як у разі *Jamming*, так і у разі *Spoofing*.

- Застосування алгоритмів розділення та придушення спуфінгових (завадових) сигналів з використанням спектральних методів розділення сигналів з урахуванням доплерівського зсуву спектру корисних сигналів від супутників, за рахунок відповідної обробки сигналів у приймачі ГНСС. Така обробка може також використовуватися сумісно з просторовою обробкою з використанням антенної решітки;

- Спектральна та просторова селекція сигналів (з використанням кореляційних матриць та за допомогою компенсаційного підходу) у разі кібервтручання типу *Spoofing*.

- Інтеграція приймачів ГНСС з дублюючими системами (back-up systems) навігації такими як: інерційні вимірювальні модулі гірокомпаса; наземні засоби радіонавігації типу Лоран; додаткова інтеграція цих радіонавігаційних засобів з АІС; радіолокаційні буї (типу Ramarks, наприклад) сумісно з буями, які передають DGPS Corrections; Радіостанцій визначення напрямку (Radio Direction-Finding Station) сумісно зі станціями, які передають сигнали точного часу (наприклад Radiobeacons and QTG Stations).

- Для підвищення точності, надійності (у тому числі кіберзахисності) застосовують інтеграцію двох або більше різних ГНСС, за рахунок використання універсальних приймачів, які налаштовані на прийом сигналів від кількох ГНСС. Такі інтегровані системи з використанням вказаних приймачів отримали назву Satellite Based Augmentation Systems (SBAS).

- Сумісні методи відновлення працездатності.

У цій публікації колектив авторів пропонує можливі підходи до захисту приймача ГНСС від кібератак. Розглянемо більш ретельно два основні етапи – 1) виявлення кібератаки; 2) власне захисту з використанням просторових методів поділу сигналів (корисного від супутника та того, що заважає – від засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ)).

Поєднання технічних і процедурних методів захисту при кібератаках на ГНСС і АІС в найпростішому варіанті захисту використовує виключно радіолокаційні позначки в рамках засобів автоматичної радіолокаційної прокладки ЗАРП. В більш складному варіанті захисту можна використовувати просторове розділення сигналів супутників і сигналу кібератаки від наземного джерела як для загального приладу ГНСС, так і для вбудованого в АІС, а також використання кореляційно - фільтрових методів виділення слабких сигналів супутників на тлі потужного сигналу кібератаки від наземного джерела, з урахуванням суттєвої різниці в фазовій структурі сигналів від наземного джерела і супутникових сигналів за рахунок доплерівського спектра останніх.

Було створено макет який дозволяє забезпечити візуалізацію на моніторі РЛС SperryMarine за допомогою лабораторного дослідницького стенду AIS-DSC-ID (ID-Information Display), що знаходиться в лабораторії НТЦ ГМЗЛБ НУОМА і здатен демонструвати зображення кібератаки типу навмисного порушення сигналу GNSS/GPS під назвою «спуфінг» (spoofing-підробка).

## ЛІТЕРАТУРА

1. MSC. 428(98)( on Maritime Cyber Risk Management ) in the frame of International Safety Management Code (ISM Code)
2. MSC-FAL. 1/Circ.3 (on Guidelines on maritime cyber risk management)
3. The Guidelines on Cyber Security Onboard Ships, Version 3. Produced and supported by BIMCO, CLIA, ICS, INTERCARGO, INTERMANAGER, INTERTANKO, IUMI, OCIMF and WORLD SHIPPING COUNCIL. 2020. 53 p.
4. V. Koshevyu, O.V. Shyshkin Standardization of Interface for VHF, MF/HF Communication Using DSC within It Integration with INS in the Framework of e-Navigation Concept. TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2019. 13, pp. 593-596.
5. H. Karahalios Appraisal of a Ship's Cybersecurity efficiency: the case of Cyberattack. Journal of Transportation Security, Publishing 2020. <https://doi.org/10.1007/s12198-020-00223-1>
6. Кошевий В.М., Купровський В.І., Шишкін О.В. Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування (GMDSS): Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Затверджено МОН України / В.М. Кошевий, В.І. Купровський, О.В. Шишкін. – Одеса : Екологія, 2011. – 248.
7. V. M. Koshevyu. Synthesis of Binary Group-Complementary sequences. // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 12 (3), September 2018, pp. 545-548. DOI: [10.12716/1001.12.03.14](https://doi.org/10.12716/1001.12.03.14)
8. Шишкін О.В., Кошевий В.М. Цифрові водяні знаки для радіотелефонних каналів міжсимвольною інтерференцією. Цифрові технології: Збірник / ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – Вип. 23. С. 17 – 29.
9. Кошевий В.М., Ковальов Н.І., Шишкін О.В. Стандартизація інтерфейсу інтегрованої системи радіозв'язку / В.М. Кошевий, Н.І. Ковальов, О.В. Шишкін // Судноводіння: Зб. наук. праць НУ «ОМА», Вип. 29. – Одеса: «ІздатІнформ», 2019. – С. 116 - 125. DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.116-125.
10. Патент на корисну модель № 151420 Спосіб дистанційного виявлення глушіння судових приймачів ГНСС і зони ураження / Коновець В.І., Кошевий В.М., Плешко Е.А., Шишкін О.В., 21.07.2022 р. Опубліковано 20.07.2022, бюл. № 29. Заявник та патентовласник Національний університет «Одеська морська академія» [https://base.uipv.org/search/INV/search.php?action=view\\_details&IdClaim=282268](https://base.uipv.org/search/INV/search.php?action=view_details&IdClaim=282268)
11. V. Koshevyu, A. Shevchenko. Antenna for Marine Radar with Supperdirectivity Properties. TransNav – International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2020, vol.14, No. 2, pp. 317 – 324. DOI: [10.12716/1001.14.02.06](https://doi.org/10.12716/1001.14.02.06)
12. Koshevyu V.M., Konovets V.I., Shyshkin O.V. SMART Digital Selective Calling User Interface on the Base of Integration Maritime Navigation and Radiocommunication Equipment. // TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 15, No. 2 – June 2021, pp. 291 – 297. DOI: [10.12716/1001.15.02.03](https://doi.org/10.12716/1001.15.02.03)
13. Shyshkin O.V., Koshevyu V.M., Ryaboshapka I.V. GPS Synchronization of Audio Watermarks in the Maritime Automatically Identified Radiotelephony. // TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 15, No. 2 – June 2021, pp. 307 – 311. DOI: [10.12716/1001.15.02.05](https://doi.org/10.12716/1001.15.02.05)
14. Koshevyu V.M., Shyshkin O.V. Developments of Interface for VHF, MF/HF Communication Using DSC in GMDSS Services in the Framework of E-navigation Concept. // TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 15, No. 3 – September 2021, pp. 593 – 600. DOI: [10.12716/1001.15.03.12](https://doi.org/10.12716/1001.15.03.12)
15. O.V. Shyshkin, V.I. Konovets, V.M. Koshevyu. AIS R-Mode Trilateration for GPS Positioning and Timing Insurance. // TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 17, No. 3 – September 2023, pp. 585 – 570.
16. Кошевий В.М., Харченко Р.Ю., Ткачук Т.П. Управління кіберризиками на морі для електромеханіків // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>
17. Шишкін О.В. Підготовка фахівців з кібербезпеки на морському транспорті / О.В. Шишкін, Р.Ю. Харченко // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С. 172-175. <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

## Секція 7. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ

УДК 621.33, 621.316.71

### ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ БАГАТОФАЗНИХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ КАСКАДНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ

**В.В. Бушер**, д.т.н, професор  
**О.О. Герман**, здобувач першого рівня вищої освіти  
**В.В. Олінчук**, к.ф.н., доцент

***Анотація.** Розроблено метод збалансованого просторово-векторного керування багатофазними інверторами в штатних та аварійних режимах, який забезпечує мінімізацію ударних навантажень під час переходів від штатного до аварійного режиму роботи, а також покращення електромагнітної сумісності електроприводу з мережею живлення та з потужним двигуном. Вперше запропоновано використовувати метод збалансованих просторових векторів при пошкодженні окремих H-мостів для забезпечення 5-осової симетрії магнітного поля окремих фаз, що дозволяє зберегти балансування навіть при короткому замиканні однієї або двох фаз інвертора і таким чином значно підвищити живучість електроприводу.*

***Ключові слова:** багаторівневий високовольтний перетворювач частоти, автономний інвертор напруги, коефіцієнт несинусоїдальності, каскадний АІН, скалярна ШІМ, метод балансування лінійних напруг.*

### RESEARCH OF OPERATING MODES OF MULTIPHASE HIGH-VOLTAGE CASCADE FREQUENCY CONVERTERS

**V. Busher**, Dr. of Science, Professor  
**O. Herman**, first-level graduate of higher education  
**V. Olinchuk**, Ph.D., Assistant professor  
National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract.** A method of balanced spatial vector control of multiphase inverters in normal and emergency modes has been developed to insure the minimization of shock loads during the transitions from normal to emergency operation, thus improving the electromagnetic compatibility of the electric drive with both a power supply network and a powerful motor. It is proposed herein for the first time, to use the method of balanced spatial vectors in case of damage to individual H-bridges to provide 5-axis symmetry of the magnetic field of particular phases, which in its turn allows to maintain the balancing even when one or two phases of the inverter are short-circuited and thus significantly increasing the serviceable condition of the electric drive.*

***Keywords:** multi-level high-voltage frequency converter, autonomous voltage inverter, total harmonic distortion, cascaded FC, scalar PWM, linear voltage balancing method.*

Сучасні потужні технологічні процеси все частіше використовують регульовані високовольтні електроприводи, переваги яких проявляються у значному зменшенні ваги, насамперед, електротехнічних матеріалів як в двигуні, так і в мережевих кабелях. Такі електроприводи зараз застосовують на судах через зниження енергоспоживання, яке у морі зменшує споживання палива, а також можливостями по покращенню енергетичних показників та живучості судна. **Актуальність роботи** обумовлено тим, що у цієї відносно молодій галузі ще залишаються невіршеними деякі питання в алгоритмах комутації транзисторів, підвищенні ефективності використання джерел живлення, мінімізації збитків при аварії окремих транзисторів або їх секцій. Важливо відмітити, що поширюється використання не тільки 3-

фазних, але й 5- і 6-фазних електроприводів. **Мета роботи** полягає у розроблянні методу збалансованого просторово-векторного керування багатофазними перетворювачами частоти в штатних та аварійних режимах, який забезпечує мінімізацію ударних навантажень під час переходів від штатного до аварійного режиму роботи, а також покращення електромагнітної сумісності електроприводу з мережею живлення та з потужним двигуном. **Наукова новизна** роботи полягає в тому, що в 5-фазному перетворювачі вперше запропоновано використовувати метод збалансованих просторових векторів при пошкодженні окремих Н-мостів для забезпечення 5-осьової симетрії магнітного поля окремих фаз, що дозволяє зберегти балансування навіть при короткому замиканні однієї або двох фаз інвертора і таким чином значно підвищити живучість електроприводу, який найчастіше використовується у відповідальних механізмах і технологічних процесах.

## 1. МЕТОД ЗБАЛАНСОВАНОЇ ПРОСТОРОВО-ВЕКТОРНОЇ МОДУЛЯЦІЇ В П'ЯТИФАЗНОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЧАСТОТИ

Метод балансування просторових векторів заснований на послідовному переключенні фаз з відносною амплітудою  $N_A, N_B, N_C, N_D, N_E$  (які у загальному випадку відрізняються) на «+» або «-» джерела постійного струму, що утворює 10 просторових векторів з координатами:

$$\begin{aligned} x_i &= \pm N_A \cos(\varphi_a) \pm N_B \cos\left(\varphi_a - \frac{2\pi}{5}\right) \pm N_C \cos\left(\varphi_a - \frac{4\pi}{5}\right) \pm N_D \cos\left(\varphi_a - \frac{6\pi}{5}\right) \pm N_E \cos\left(\varphi_a - \frac{8\pi}{5}\right), \\ y_i &= \pm N_A \sin(\varphi_a) \pm N_B \sin\left(\varphi_a - \frac{2\pi}{5}\right) \pm N_C \sin\left(\varphi_a - \frac{4\pi}{5}\right) \pm N_D \sin\left(\varphi_a - \frac{6\pi}{5}\right) \pm N_E \sin\left(\varphi_a - \frac{8\pi}{5}\right). \end{aligned} \quad (1)$$

Вектори описують вершини багатокутника, в який можна вписати коло. У нормальному режимі, коли напруга всіх фаз дорівнює  $N$ , радіус вписаного кола дорівнює  $R = 3.07768N$ , а просторові вектори утворюють 10 секторів. Комутація двох сусідніх векторів дозволяє отримати еквівалентний вектор із заданою амплітудою  $v$  та положенням  $\varphi$ . У кожному секторі коефіцієнт заповнення просторових векторів розраховується за виразами:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \frac{v}{v_1} \frac{\sin(\varphi_2 - \varphi)}{\sin(\pi - (\varphi_2 - \varphi_1))}, \gamma_2 = \frac{v}{v_2} \frac{\sin(\varphi - \varphi_1)}{\sin(\pi - (\varphi_2 - \varphi_1))}, \\ \text{де} \quad v &\leq v_{\max} = \min(R_i), \quad i = 1 \dots n_{\text{phase}}, \\ R_i &= \text{abs}\left((y_i - a_i x_i) \text{sqrt}(1 + a_i^2)\right), a_i = (y_{i+1} - y_i) / (x_{i+1} - x_i). \end{aligned} \quad (2)$$

Ці формули однаково вірні як для симетричного режиму роботи, коли всі вектори та кути між ними однакові, так і для аварійного режиму, коли із-за виходу з ладу одного або декількох каскадів симетрія порушується. Відповідно до розрахованих значень  $\gamma_1, \gamma_2$  та таблиці комутації  $q_{i,j}$  окремих фаз, можна отримати значення напруги фаз:

$$U_{phj} = \sum_{i=1}^{10} (\gamma_{1i} q_{i,j} + \gamma_{2i} q_{i+1,j}) \quad (3)$$

Ці значення, помножені на кількість Н-комірок у фазі, відповідають відносній нарузі фази (від  $-N$  до  $+N$ ). Графіки напруги фаз у випадку  $N = 6$  представлено на рис. 1,а. За допомогою макросу на мові Visual Basic for Application в EXCEL розрахуємо спектральний склад фазної напруги (рис. 1,б).

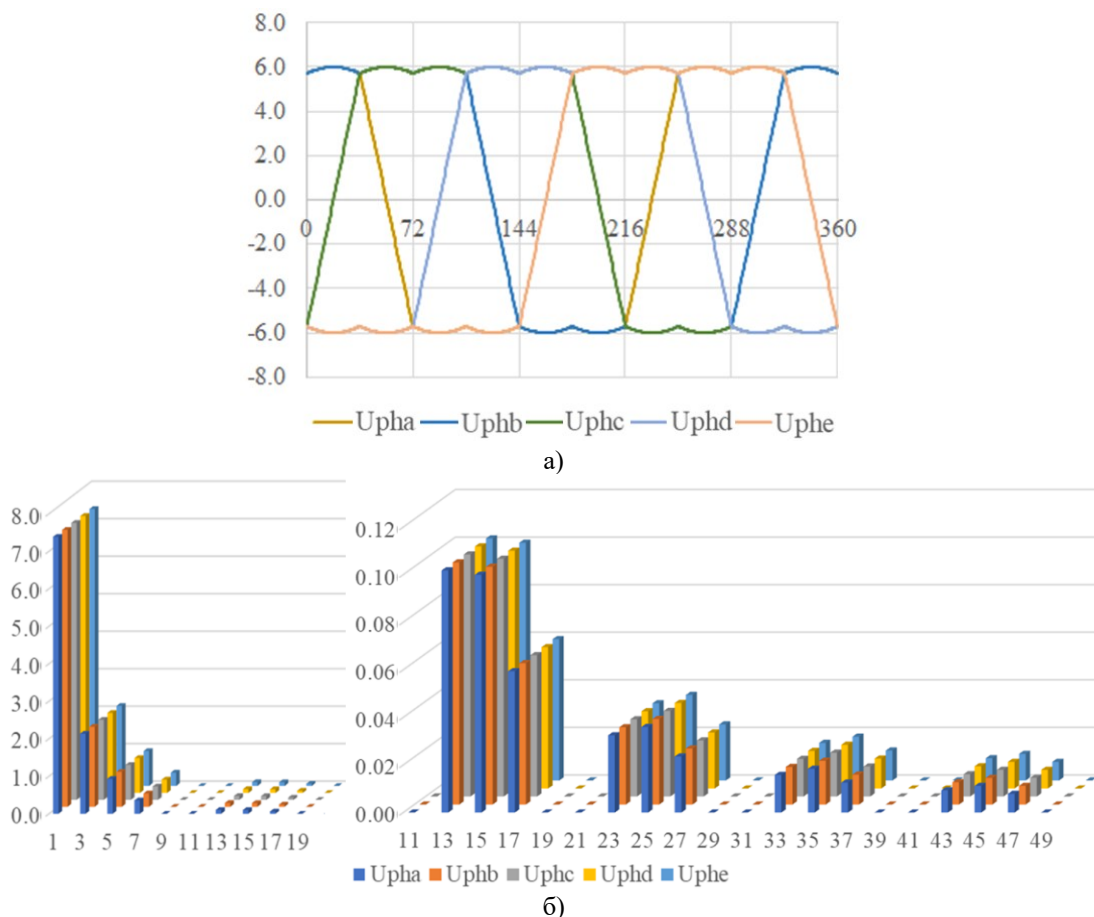
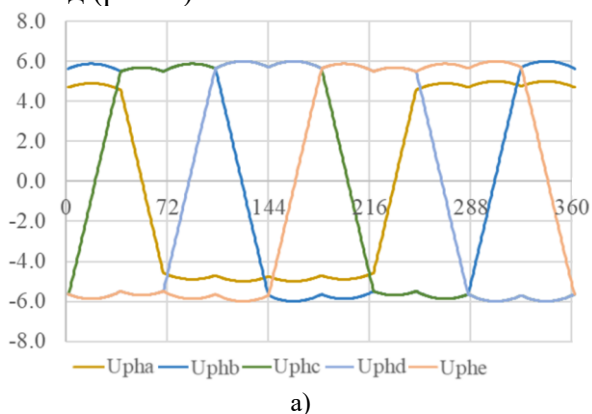


Рисунок 1 – Графіки напруги фаз (а) та їх спектральний склад (б)

Бачимо, що амплітуда 1-ї гармоніки складає  $1.2311N$  (тобто на 23.11% перевищує максимальну амплітуду фази перетворювача), а вищі гармоніки вже не є кратними 3 (як у 3-фазному перетворювачі), а групами по 3 непарні гармоніки концентруються біля гармонік, що є кратними 5.

## 2. ЗБАЛАНСОВАНА ПРОСТОРОВО-ВЕКТОРНА МОДУЛЯЦІЯ В АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ П'ЯТИФАЗНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ

В аварійному режимі окремі Н-модулі закорочуються і амплітуда напруги відповідної фази зменшується. Порушується симетрія просторових векторів. Але в отриманий багатокутник ще можна вписати коло так, щоб його діаметр не перевищував відстані між паралельними сторонами багатокутника. Найбільш очікуваним з таких режимів є, безумовно, вихід з ладу однієї комірки в однієї фази. При виході з ладу однієї комірки в фазі А отримаємо позначення режиму 5–6–6–6–6. Цьому режиму роботи відповідають наступні графіки напруги в фазах та їх спектральний склад (рис. 2).





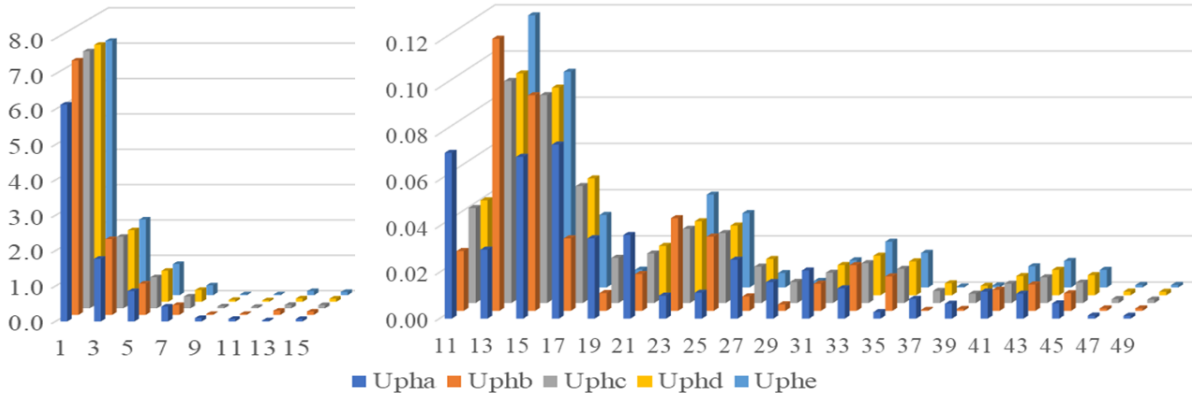


Рисунок 2 – Графіки напруги фаз (а) та спектральний склад (б) в режимі 5–6–6–6–6

Спектральний склад змінюється, але важливо відмітити, що система магнітних полів двигуна зберігає симетрію, яка відповідає 5-фазному двигуну. Зменшення напруги порівняно з нормальним режимом складає 5.2%, що безумовно краще, ніж 16.6% при симетричному вимиканні комірок.

Метод успішно спрацьовує і в режимі 2–3–4–5–6 (рис. 3). Зменшення напруги порівняно з нормальним режимом складає 41.7%.

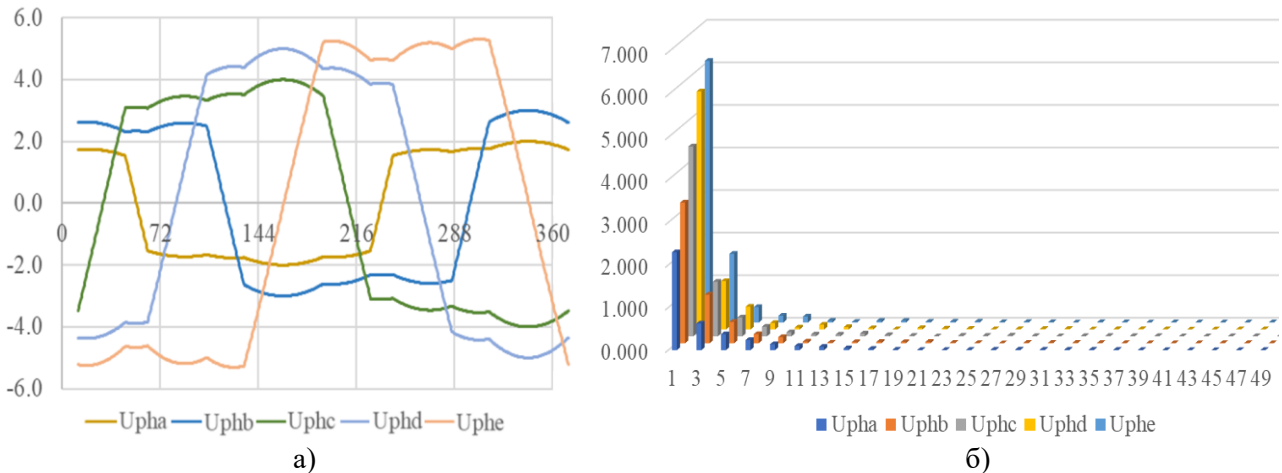
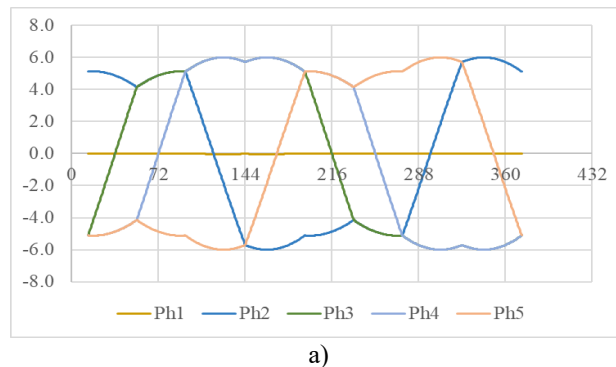


Рисунок 3 – Графіки напруги фаз (а) та спектральний склад в режимі 2–3–4–5–6

Найскладнішими є режими, коли одна або дві фази виходять з ладу повністю, але за рахунок перемикачів комірок зберігають провідність, тобто мають опір, близький до нуля. Перший такий режим – 0–6–6–6–6. Діаграми векторів та графіки напруги в фазах зображено на рис. 4,а.



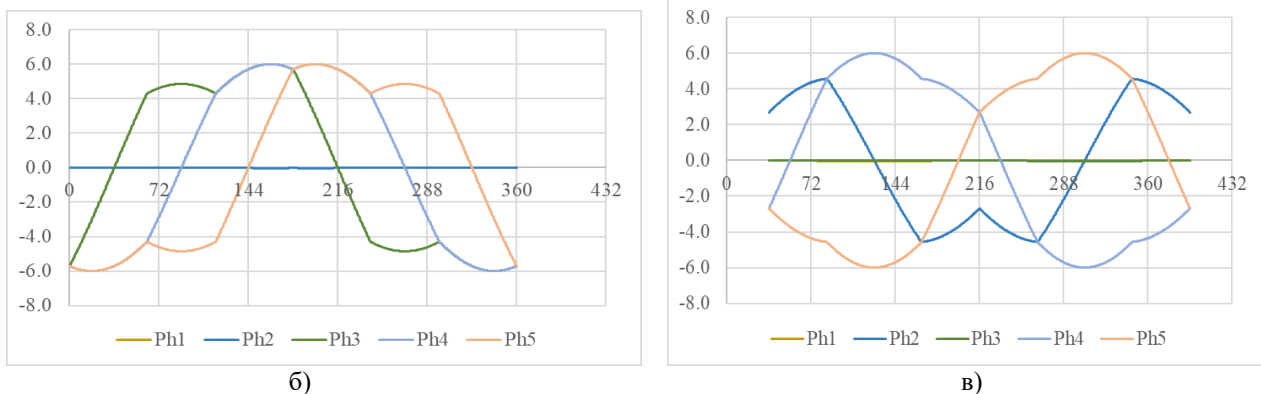


Рисунок 4 – Графіки напруги фаз в режимах 0–6–6–6–6 (а), 0–0–6–6–6 (б), 0–6–0–6–6 (в)

Наступні режими – з двома пошкодженими фазами перетворювача – 0–0–6–6–6 (рис. 4,б) та 0–6–0–6–6 (рис. 4,в). Видно, що в останніх трьох режимах перетворювач зберігає працездатність, що особливо важливо у потужних механізмах і технологічних процесах, де використовуються такі інвертори.

**Висновки.** Таким чином, показано, що в штатному режимі 5-фазний перетворювач з використанням методу просторово-векторної модуляції дозволяє збільшити коефіцієнт використання джерел постійної напруги на 23,1% (проти 15,6% у трифазного інвертора), при використанні запропонованого методу в 5-фазному перетворювачі частоти зберігається балансування струмів у навантаженні навіть при короткому замиканні однієї або двох фаз інвертора. Це значно підвищує живучість електроприводу, що особливо важливо у відповідальних механізмах і технологічних процесах, де, власне, і використовуються такі складні інвертори.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Urbaniak M, Kardas-Cinal E and Jacyna M 2019 Optimization of Energetic Train Cooperation Symmetry 11(9), 1175; <https://doi.org/10.3390/sym11091175>
2. William P Symington, Alan Belle, Hung D Nguyen and Jonathan R Binns, «Emerging technologies in marine electric propulsion», ProcIMEchE Part M: J Engineering for the Maritime Environment, March 4, 2016, pp.1–12.
3. V. Busher, O. Chorny, V. Tytiuk, O. Glazeva, O. Rozlutskiy and V. Kuznetsov, "Methods of Pulse Width Modulation in Cascaded High Voltage Frequency Converters," 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 2022, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916412>
4. V Busher et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 985 012021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012021>
5. V. Busher, A. Shestaka, O. Chorny, 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>.

## МЕТОД БАЛАНСУВАННЯ ВЕКТОРІВ НАПРУГИ 5-ФАЗНОГО ІНВЕРТОРА ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОТУЖНОГО СИНХРОННОГО ДВИГУНА

В.В. Бушер, д.т.н, професор  
В.М. Захарченко, д.т.н, професор

**Анотація.** Розроблено метод зсуву центральної точки правильного п'ятикутника міжфазних напруг при пошкодженні однієї фази 5-фазного інвертора так, щоб відстані вершин 5-кутника зі зменшеною довжиною сторін від нової початкової точки не перевищували можливу амплітуду кожної фази, а довжина міжфазної напруги була б максимально можливою. Це забезпечує безударний перехід до роботи в аварійному режимі і балансування фазних струмів.

**Ключові слова:** багаторівневий високовольтний перетворювач частоти, автономний інвертор напруги, метод балансування лінійних напруг.

## METHOD OF BALANCING VOLTAGE VECTORS OF A 5-PHASE INVERTER TO SUPPORT THE OPERATIONAL CAPABILITY OF THE ELECTRIC DRIVE OF A POWERFUL SYNCHRONOUS MOTOR

V. Busher, Dr. of Science, Professor  
V. Zakharchenko, Dr. of Science, Professor

**Abstract.** A method has been developed for shifting the central point of a regular pentagon of phase-to-phase voltages when one phase of a 5-phase inverter is damaged so that the distances of the vertices of the pentagon to reduced side lengths from the new starting point do not exceed the possible amplitude of each phase, and the length of the phase-to-phase voltage is as large as possible. This ensures a shock-free transition to emergency operation and balancing of phase currents.

**Keywords:** multi-level high-voltage frequency converter, autonomous voltage inverter, linear voltage balancing method.

В штатному режимі роботи 5-фазного інвертора вершини векторів напруги фаз з амплітудою, які виходять з центру «О», створюють правильний 5-кутник ABCDE (рис. 1, а).

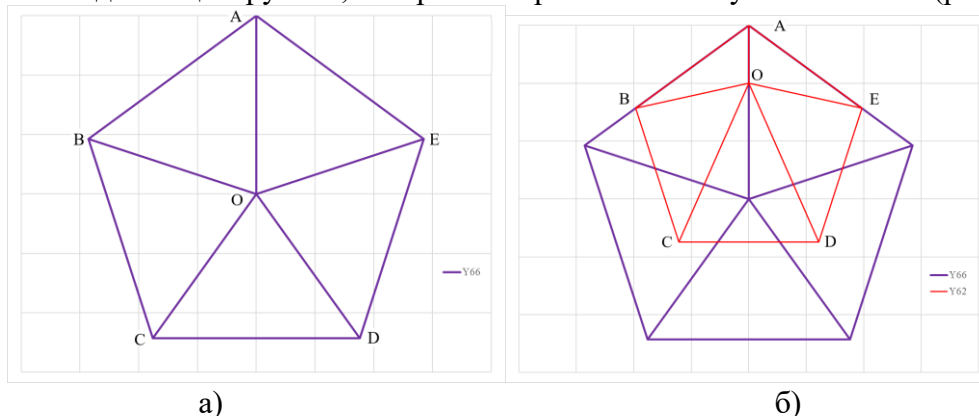


Рисунок 1 – 5-кутники векторів напруги фаз в штатному (а) та аварійному (б) режимах

При пошкодженні однієї фази 5-фазного інвертора (наприклад,  $N_A < N$ ) для збереження векторів міжфазної напруги, як правильного 5-кутника, необхідно виконати зсув центральної точки і повороти векторів напруги фаз так, щоб відстані вершин правильного 5-кутника зі зменшеною довжиною сторін від нової початкової точки не перевищували можливу амплітуду кожної фази, а довжина міжфазної напруги була б максимально можливою.

**Метою роботи** є пошук оптимального положення центральної точки для забезпечення максимальної довжини бічної сторони правильного п'ятикутника міжфазних напруг.

#### МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Очевидно, що при пошкодженні однієї фази оптимальне положення нової початкової точки знаходиться на відстані  $N_A$  від вершини  $A$  симетрично по відношенню до інших вершин (рис. 1, б).

Для вирішення задачі поступово знайдемо максимально можливу величину сторони 5-кутника, довжину і кути повороту окремих векторів напруги фаз.

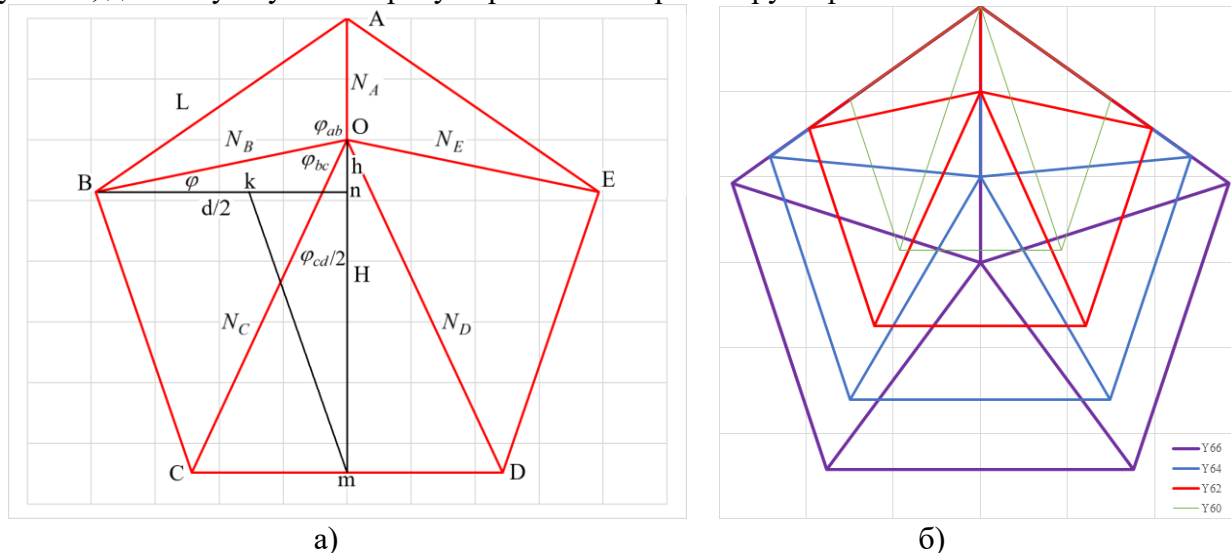


Рисунок 2 – Розрахункові параметри 5-кутника (а) та можливі варіанти розташування векторів (б)

3 трикутника

ОСм

$$\sin\left(\frac{\varphi_{cd}}{2}\right) = \frac{L/2}{N_C}$$

Одночасно

$\cos\left(\frac{\varphi_{cd}}{2}\right) = \frac{H - N_A}{N_C}$ ,  $q = \frac{\sqrt{5+2\sqrt{5}}}{2}$ ,  $H = qL$ . З властивостей тригонометричних функцій отримуємо квадратне рівняння:  $(1+q^2)L^2 - 8qN_A + 4(N_A^2 - N_C^2) = 0$ . З нього знаходимо довжину сторони  $L$ , далі – висоту  $H$  і напівдіагональ  $(d/2)$  5-кутника, висоту трикутника  $OnB$ , необхідну амплітуду сусідніх фаз  $N_B = N_E$ , та кути зсуву між фазами:

$$a = 1 + 4q^2, b = -8N_Aq$$

$$c = 4N_A^2 - 4N_C^2,$$

$$D = b^2 - 4ac,$$

$$L = \frac{-b + \sqrt{D}}{2a}, H = Lq,$$

$$d/2 = L\left(1 + \sqrt{5}\right)/4,$$

$$h = H - N_A - L \cos(\pi/10)$$

$$N_B = \sqrt{h^2 + (d/2)^2}$$

$$\varphi_{cd} = 2 \operatorname{Atan}\left(L/2 / (H - N_A)\right)$$

$$\varphi_{ab} = \pi/2 + \operatorname{Atan}\left(h / (d/2)\right)$$

$$\varphi_{bc} = \pi - \varphi_{ab} - \varphi_{cd} / 2$$

Перевіряємо рішення для різних значень  $N_A \leq N = 6$ .

Таблиця 1 – Параметри векторів напруги фаз

$N=N_c=N_d=$	6		6		6		6		6		6		6	
$N_a=$	6		5		4		3		2		1		0	
$L=$	7.053423		6.522069		5.979803		5.427030		4.864050		4.291068		3.708204	
$N_b=N_e$	6.000000		5.403853		4.862028		4.394665		4.027768		3.790621		3.708204	
$\varphi_{ab}=\varphi_{ea}, (^{\circ}/\text{rad})$	72	1.257	78	1.353	84	1.471	92	1.614	102	1.786	114	1.984	126	2.199
$\varphi_{bc}=\varphi_{de}, (^{\circ}/\text{rad})$	72	1.257	70	1.214	66	1.149	61	1.058	54	0.939	45	0.792	36	0.628
$\varphi_{cd}, (^{\circ}/\text{rad})$	72	1.257	66	1.149	60	1.043	54	0.939	48	0.835	42	0.731	36	0.628
$L'=L6*N_a/N$	7.053423		5.877853		4.702282		3.526712		2.351141		1.175571		0.000000	
$(L-L')/L6 \%$	0.0%		9.1%		18.1%		26.9%		35.6%		44.2%		52.6%	

Остання стрічка табл.1 показує, на скільки збільшується напруга на виході інвертора при використанні запропонованого методу порівняно з симетричним вимкненням комірок у непошкоджених фазах.

Моделювання процесів розгону 5-фазного синхронного двигуна з постійними магнітами (рис. 3) підтверджує можливість використання запропоновану методу.

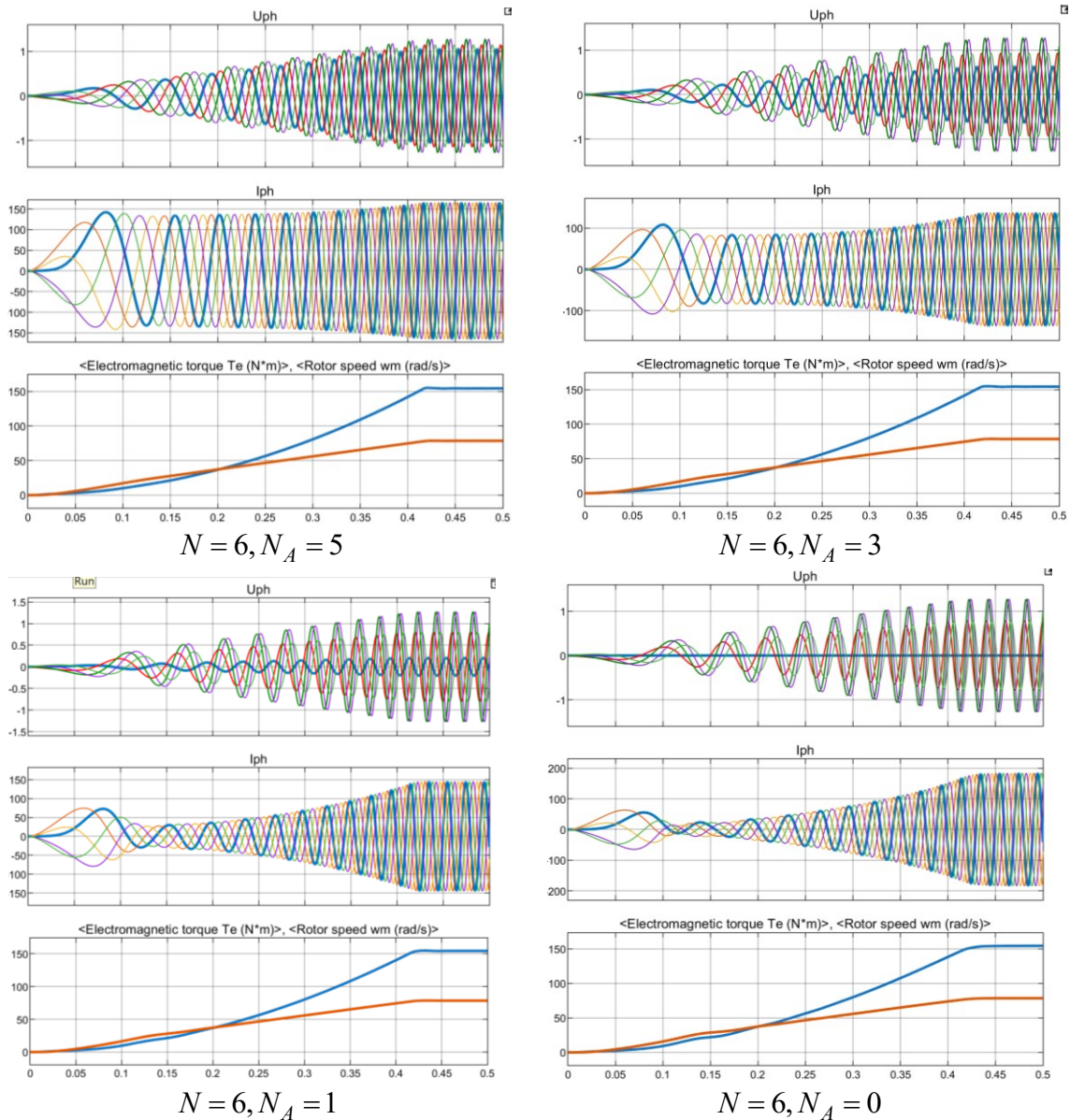


Рисунок 3 – Графіки перехідних процесів при пошкодженні фази А

**Висновки.** Очевидно, при змінненні симетрії напруги в окремих фазах, струми залишаються зсунутими на однаковий, необхідний для нормальної роботи двигуна, кут. Це підтверджується також відсутністю коливань на графіку перехідного и усталеного режиму електромагнітного моменту. Тобто, електропривод залишається працездатним, навіть при короткому замиканні однієї фази. Зменшена напруга у випадку використання синхронної 5-фазної машини призводить до зменшення струму і максимального моменту. Але в аварійному випадку при використанні балансування векторів напруги в фазах можна зменшити завдання швидкості, автоматично або за командою від оператора. Це, безумовно, зменшить продуктивність, однак, механізм продовжить працювати.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бушер В.В. Узагальнене аналітичне рішення для методу балансування лінійної напруги в каскадних перетворювачах частоти [Текст] / В.В. Бушер, Ду Синь, О.В. Глазева // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.95-100  
[http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2022.22.11.22\\_1.pdf](http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2022.22.11.22_1.pdf)
2. Busher, V., Chorniy, 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>
3. Бушер, В.В. Дослідження високовольтних перетворювачів частоти в суднових електроенергетичних системах [Текст] / В.В. Бушер, О.В. Глазева, 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/SEEEA-2019.05.11.19.pdf>

УДК 621.311

## КОНЕЧНО-ЕЛЕМЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ В ОСЕРДІ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

**Ф.О. Птащенко**, д.ф.-м.н., професор

**А.А. Горюк**, к.ф.-м.н., доцент

**В.П. Зенченко**, к.ф.-м.н.

Національний університет «Одеська морська академія»

**Анотація:** У програмному середовищі Comsol Multiphysics проведено конечно-елементне 3D-моделювання однофазного трансформатора зі стрижневим осердям у часовій (Time Domain) та частотній області (Frequency Domain). Були розраховані залежності від часу та частоти розподілів електричного та магнітного полів у обмотках та осерді трансформатора, струми та напруги на обмотках, втрати у магнітному осерді. Показано, що хоча моделювання втрат у магнітному осерді по часовим залежностям є більш точним, розрахунки втрат по частотних залежностям є набагато менш затратними по часу і відхиляються не більш, ніж на 5%.

**Ключові слова:** конечно-елементне моделювання, трансформатори, магнітні втрати.

## FINITE ELEMENT MODELING OF ENERGY LOSSES IN THE CORE OF A SINGLE-PHASE TRANSFORMER

**Ptashchenko F.O.**, doctor of physical and mathematical sciences, professor  
**Goryuk A.A.**, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor  
**Zenchenko V.P.**, candidate of physical and mathematical sciences  
 National University «Odessa Maritime Academy»

*Abstract:* In the Comsol Multiphysics software environment, finite element 3D modeling of a single-phase transformer with a rod core in the time domain and frequency domain was performed. The time and frequency dependences of the distributions of electric and magnetic fields in the windings and cores of the transformer, currents and voltages in the windings, and losses in the magnetic core were calculated. It was shown that although modeling losses in the magnetic core by time dependences is more accurate, calculating losses by frequency dependences is much less time-consuming and deviates by no more than 5%.

*Key-words:* finite element modeling, transformers, magnetic losses.

Трансформатори відіграють ключову роль у системах передачі та розподілу електроенергії. Ефективність їх роботи багато в чому залежить від характеристик осердя, де відбуваються, в основному, гістерезисні та вихрові енергетичні втрати. Точні методи розрахунку цих втрат мають значення для проектування трансформаторів, особливо в умовах роботи на різних частотах [1]. Метод кінцевих елементів (МКЕ) є потужним інструментом для аналізу електромагнітних явищ у складних структурах [2]. Використання програмного забезпечення, такого як COMSOL Multiphysics, дозволяє моделювати як основні параметри трансформатора, так і енергетичні втрати з урахуванням нелінійних властивостей матеріалів, наприклад гістерезису. Метою даної роботи є дослідження енергетичних втрат у осерді однофазного трансформатора з використанням методу кінцевих елементів у частотній та часовій областях. Для аналізу використовувалася модель трансформатора із розімкнутою вторинною обмоткою. Основну увагу приділено порівняльному аналізу методів оцінки середніх втрат в осерді трансформатора, а також оцінці витрат часу на проведення обчислень. У статті обговорюються особливості побудови моделі, результати аналізу, а також рекомендації щодо вибору підходу для розрахунку втрат.

Магнітні втрати в осерді трансформатора в основному пов'язані з явищами гістерезису та вихровими струмами, які в свою чергу, залежать від індукції магнітного поля  $\vec{B}$  та напруженості електричного поля  $\vec{E}$  у осерді [3]. Тому цей вид втрат можливо точно врахувати лише змодельовавши розподіл електромагнітного поля у трансформаторі на основі теорії Максвелла. Система чотирьох рівнянь Максвелла у диференціальній формі визначає взаємозв'язок електричного та магнітного полів. Ця система доповнюється рівнянням нерозривності струму та трьома матеріальними рівняннями, які описують макроскопічні властивості середовища (це закон Ома в диференціальній формі, зв'язок між електричним полем та поляризованістю діелектрика  $\vec{D}$ , зв'язок між магнітним полем та намагніченістю речовини  $\vec{M}$ ). При розв'язанні більшості задач електродинаміки є доцільним введення електричного скалярного потенціалу  $\varphi$  та магнітного векторного потенціалу  $\vec{A}$ , які задаються співвідношеннями

$$\vec{D} = -\vec{\nabla} \varphi, \quad (1)$$

$$\vec{E} = -\vec{\nabla} \varphi - \frac{d\vec{A}}{dt}. \quad (2)$$

Це дає змогу переписати всю описану вище систему рівнянь у вигляді системи двох рівнянь другого порядку у частинних похідних для  $\vec{A}$  і  $\varphi$ :

$$\sigma \left( \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) + \vec{\nabla} \wedge \left( \frac{1}{\mu_0} \vec{\nabla} \wedge \vec{A} - \vec{j}_e \right) + \vec{\nabla} \varphi = \vec{j}_e \quad (3)$$

$$-\vec{\nabla} \frac{1}{\partial t} (\epsilon_0 \vec{\nabla} \psi - \vec{J}) - \vec{\nabla} (\sigma \vec{\nabla} \psi - \vec{J}_e) = \vec{J}_j, \quad (4)$$

де  $\sigma$  – провідність середовища,  
 $\vec{J}$  – густина струму,  
 $\vec{J}_j$  – зовнішнє джерело струму,  
 $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$  – електрична стала,  
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$  – магнітна стала.

В програмному середовищі COMSOL Multiphysics вказану систему рівнянь (3) і (4) розв'язують методом кінцевих елементів, а потім електричне та магнітне поля розраховують за співвідношеннями (1) і (2). При моделюванні використовувалася гранична умова відсутності магнітного потоку на зовнішніх межах області моделювання (повітряної сфери)  $\vec{B} \cdot \vec{n} = 0$ .

У якості об'єкту дослідження було обрано однофазний трансформатор зі стрижневим осердям. Для підвищення точності моделювання використовувалася адаптивна кінцевоелементна сітка, з більшою щільністю елементів у областях, де очікувалася найбільша зміна полів (наприклад, на краях котушки та осердя), рис. 1.

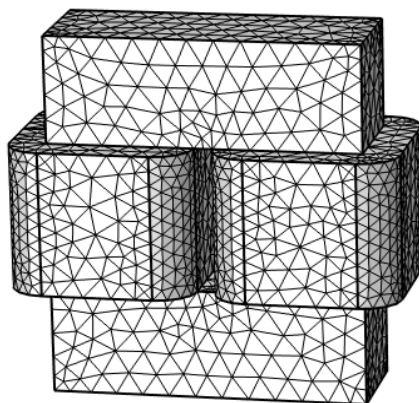


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд моделі трансформатора з розбиттям на кінцево елементну сітку.

Оскільки розглядалися випадки відносно низьких частот ( $< 1 \text{ кГц}$ ), не виникало необхідності врахування скін-ефекту та розподіл струму по перерізу провідників. Тому обмотки трансформатора були змодельовані у наближенні гомогенізованої багатовиткової котушки (Homogenized Multiturn Coil). Первинна обмотка складалася з 500 мідних витків, і живилася від джерела змінної напруги 220 В (гранична умова на кінцях витків котушки). Вторинна обмотка налічувала 100 витків, а граничною умовою на кінцях обмотки була рівність нулю струму (розімкнений ланцюг). При частотному та часовому аналізах розрахунки проводилися для частот  $f = 50, 100, 200, 300, 500, 700$  і  $1000 \text{ Гц}$ . У часовій області моделювання відбувалося з кроком  $T_0/40$  (де  $T_0$  – період коливань). Основні модельні параметри, такі як величина вхідної напруги, частота, кількість витків та опір котушок, були параметризовані і тому існувала можливість їх легкої зміни.

При моделюванні сталеве осердя трансформатора вважалось шихтованим, тобто непровідним (прямі розрахунки вихрових струмів не проводилися). Матеріальне рівняння (залежність  $B(H)$ ) моделювалося двома різними способами у часовій та частотній областях. У часовій області для матеріалу осердя використовувалась модель Джилса-Атертона [4], яка явно описує явище гістерезису, рис. 2а. У частотній області використовувалася ефективна крива намагнічення для тієї ж самої трансформаторної сталі, рис. 2б.



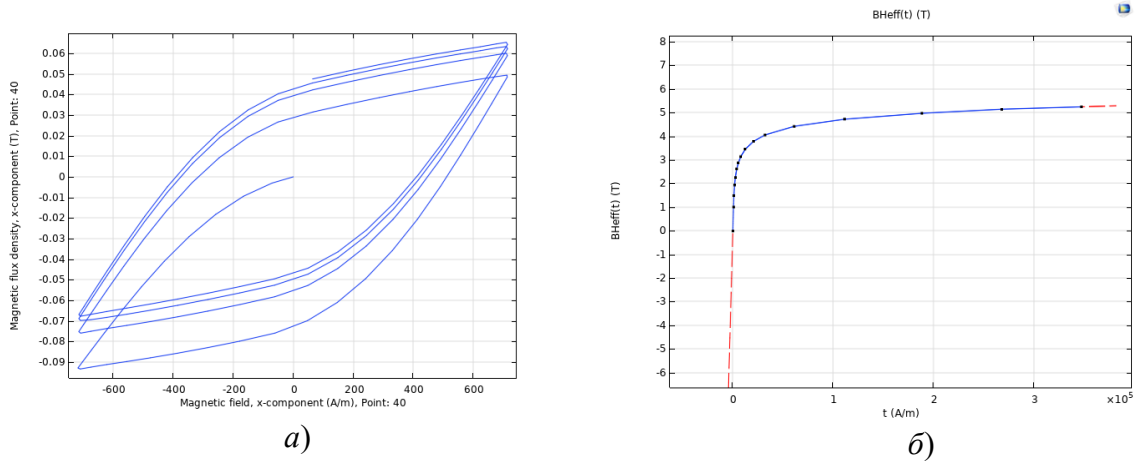


Рисунок 2 – Залежність  $B(H)$  для електротехнічної сталі за моделлю Джилса-Атертона (а) та ефективною кривою намагнічення.

Магнітні втрати  $P_m$  в обох випадках розраховувалася за формулою Штейнмеца [5], яка використовується для розрахунку втрат у осерді трансформатора, обумовлених гістерезисом та вихровими струмами

$$P_m = k \cdot f^\alpha \cdot B^\beta, \tag{5}$$

де  $k$  – емпіричний коефіцієнт, який визначається по гістерезисній кривій (при розрахунках було вибрано  $k = 100$ );

$f$  – частота (в герцах);

$B$  – середнє за період та по об’єму осердя значення густини магнітного потоку;

$\alpha$  – емпіричний коефіцієнт, близький до одиниці, який відображає внесок динамічних втрат, таких як вихрові струми та пов’язані процеси, залежно від частоти (при розрахунках було вибрано  $\alpha = 1$ );

$\beta$  – емпіричний коефіцієнт, близький до двійки, який враховує вплив амплітуди магнітного поля на втрати (при розрахунках було вибрано  $\beta = 1.6$ ).

Формула Штейнмеца добре описує втрати в осердях трансформаторів, по яких протікає струм з синусоїдальною часовою залежністю з невеликими частотами і не враховує таке явище, як зміщення постійного струму.

На рис. 3а показано часові залежності струму та напруги у первинній обмотці та напруги на вторинній обмотці, змодельовані у часовій області. Видно, що як і очікувалося, коефіцієнт трансформації дорівнює п’яти; також видно, що по графікам  $I_1(t)$  та  $U_2(t)$  можна проводити аналіз перехідних процесів у трансформаторах.

На рис. 3б показано змодельований у часовій області розподіл густини магнітного потоку в осерді трансформатора, а на рис. 3в – розрахований у частотній області розподіл середніх по періоду енергетичних втрат (для  $f = 50$  Гц). Видно, що області, на які припадають максимальні значення густини магнітного потоку та густини енергетичних втрат, припадають на внутрішні границі вікна осердя. Середні за період значення енергетичних втрат, розраховані у часовій та частотній областях надані у таблиці 1.

Таблиця 1 – Середні за період значення енергетичних втрат, розраховані у часовій та частотній областях, Вт

Частота, Гц	50	100	200	300	500	700	1000
Часова область	1,8322	1,2143	0,77199	0,59808	0,43499	0,34911	0,27888
Частотна область	1,8503	1,1936	0,78561	0,61593	0,45334	0,37047	0,29090

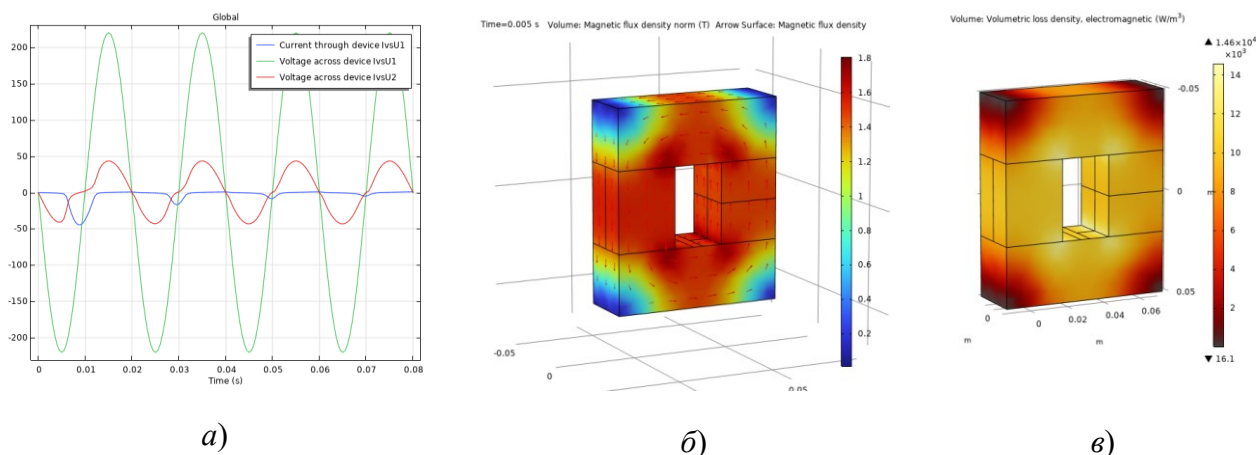


Рисунок 2 – Залежності від часу струму та напруги у первинній обмотці та напруги на вторинній обмотці (а); розподіл густини магнітного потоку (б) та середніх по періоду енергетичних втрат (в) в осерді трансформатора.

Із таблиці видно, що значення втрат, розраховані по часовій та частотній залежностям практично збігаються, але машинний час, витрачений на моделювання у часовій області набагато більший (приблизно на 2 порядки), ніж при моделюванні у частотній області.

**Висновки.** Отримані результати показали гарний збіг значень втрат, розрахованих у частотній та часовій областях, з відхиленням менше 5%. Проте аналіз у часовій області виявився значно витратнішим за часом. Наведені дані демонструють можливості та обмеження різних підходів до моделювання втрат у осердях трансформаторів, а також підтверджують ефективність використання методу кінцевих елементів та програмного середовища COMSOL Multiphysics для таких задач.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Jonaitis, A., Gudžius, S., Konstantinavičiūtė, I., & Putnaitė, D. Improved Methodology for Power Transformer Loss Evaluation: Algorithm Refinement and Resonance Risk Analysis. *Energies*, vol. 16, no. 23, 2023, pp. 7837.
2. Thiruchelvam, S., & Low, T.S. Core Loss Estimation in Power Transformers: Analytical and Finite Element Analysis. *IET Electric Power Applications*, vol. 13, no. 10, 2019, pp. 1400-1408.
3. Bertotti, G., *Hysteresis in Magnetism: For Physicists, Materials Scientists, and Engineers*. Academic Press, 1998, 576 p.
4. Jiles D.C. Theory of ferromagnetic hysteresis / D.C. Jiles, D.L. Atherton // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 61. 1986, pp. 48-60.
5. Sudhoff, Scott D.. *Power Magnetic Devices: A Multi-Objective Design Approach*. John Wiley and Sons. 2014 – pp. 168–169.

УДК 681.5:004.42

**GENERATION OF CODE FROM MATLAB/SIMULINK MODELS FOR IMPLEMENTATION ON SIEMENS SIMATIC S7-1500 PLC**

**Levinskyi M.V.**, Ph.D., Assistant Professor  
National University "Odesa Maritime Academy"

**Levinskyi V.M.**, Ph.D., Assistant Professor  
Odessa National University of Technology

**Volovshchikov V.Yu.**, Ph.D., Assistant Professor  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

**Abstract:** *This paper discusses the methodology for generating code from MATLAB/Simulink models for implementation on industrial Programmable Logic Controllers (PLCs), specifically focusing on Siemens SIMATIC S7-1500 PLCs. By converting complex control system models developed in Simulink into PLC-compatible code, we aim to bridge the gap between simulation and real-world industrial application. The research includes an analysis of existing tools, development of a workflow for code generation, and testing on a Siemens S7-1500 PLC. The results demonstrate the feasibility and efficiency of deploying advanced control algorithms on industrial hardware, facilitating improved automation and control in industrial processes.*

**Keywords:** *MATLAB/Simulink, code generation, industrial PLCs, Siemens SIMATIC S7-1500, control systems, automation.*

**Relevance of the Topic**

Modern industrial automation increasingly relies on sophisticated control algorithms to enhance efficiency, safety, and productivity. MATLAB/Simulink is a widely used platform for modeling, simulating, and analyzing dynamic systems. However, deploying these models directly onto industrial PLCs presents challenges due to differences in programming environments and execution platforms [1]. Bridging this gap is essential for bringing advanced control strategies from the simulation environment into real-world industrial applications.

**Problem Statement**

The scientific and practical problem addressed in this research is the development of an efficient methodology for converting complex control system models created in MATLAB/Simulink into executable code suitable for industrial PLCs, specifically the Siemens SIMATIC S7-1500 series. Traditional methods often require manual translation of algorithms, which is time-consuming and prone to errors [2]. There is a need for an automated process that ensures accuracy, reduces development time, and facilitates the implementation of advanced control algorithms on industrial hardware.

**Object of Research**

The object of this research is the process of code generation from MATLAB/Simulink models for implementation on industrial PLCs.

**Subject of Research**

The subject of research is the methodology and tools for automated code generation and deployment of control system models onto Siemens SIMATIC S7-1500 PLCs.

**Aim of Research**

The aim of this research is to develop and validate a workflow that enables the automatic generation of PLC-compatible code from MATLAB/Simulink models, thereby facilitating the implementation of complex control systems on industrial PLCs.

**Research Methods**

The research employs a combination of simulation modeling, software development, and experimental testing. Key methods include:

- Modeling and Simulation: Developing control system models in MATLAB/Simulink.
- Code Generation: Utilizing MATLAB Coder and Simulink PLC Coder for generating code compatible with Siemens PLCs [3].
- Implementation: Deploying the generated code onto a Siemens SIMATIC S7-1500 PLC using the TIA Portal engineering software [4].
- Testing and Validation: Conducting experiments to test the performance and reliability of the implemented control system.

### Main Results

#### Analysis of Existing Tools

We analyzed the capabilities of MATLAB Coder and Simulink PLC Coder for code generation. Simulink PLC Coder can generate IEC 61131-3 compliant code from Simulink models [5], which is compatible with Siemens SIMATIC PLCs.

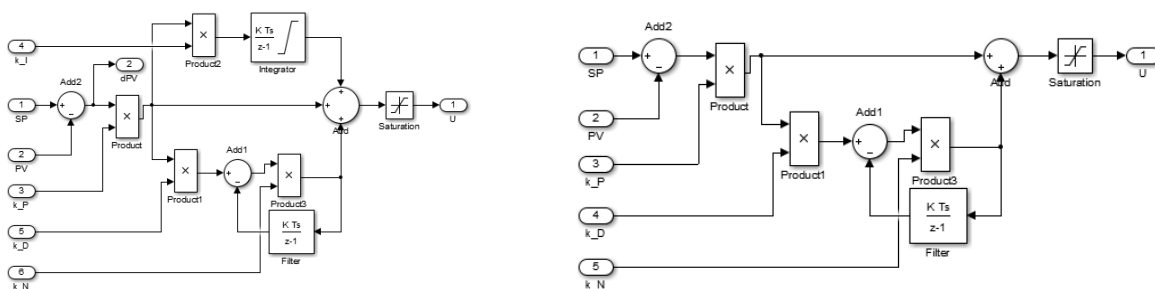
#### Development of a Workflow

We developed a step-by-step workflow:

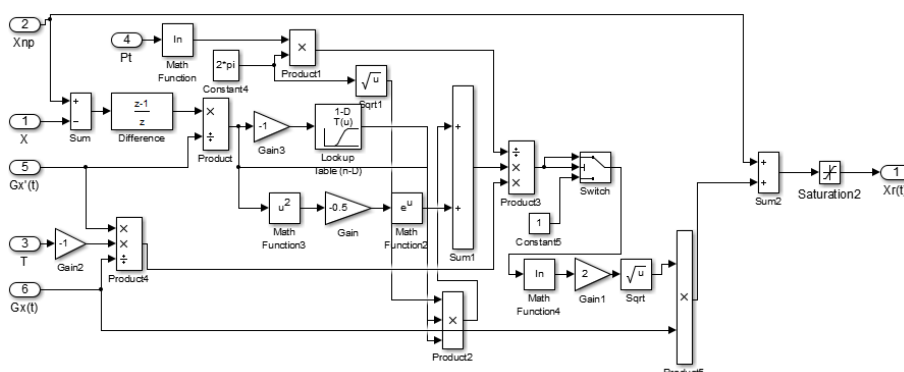
1. Model Development: Create the control system model in Simulink using supported blocks compatible with code generation.
2. Model Configuration: Configure the model for code generation, ensuring compliance with IEC 61131-3 standards.
3. Code Generation: Use Simulink PLC Coder to generate Structured Text code.
4. Integration with TIA Portal: Import the generated code into Siemens TIA Portal for integration with the PLC project.
5. Deployment: Download the compiled code to the Siemens S7-1500 PLC.
6. Testing and Debugging: Test the control system in the real environment, making necessary adjustments.

#### Case Study Implementation

The workflow was applied to a complex control system model—a PID controller with the block guaranteeing non-violation of emergency limit for a temperature control process.



Picture 1 – Models of PID and PD controllers prepared for conversion



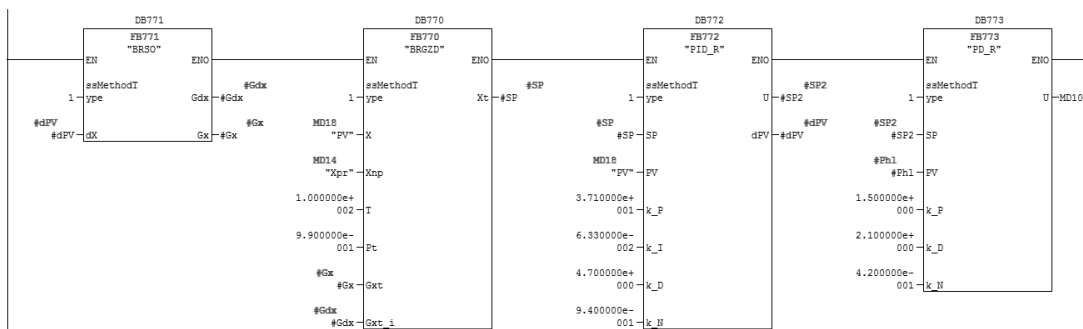
Picture 2 – Model of guaranteeing block prepared for conversion

```

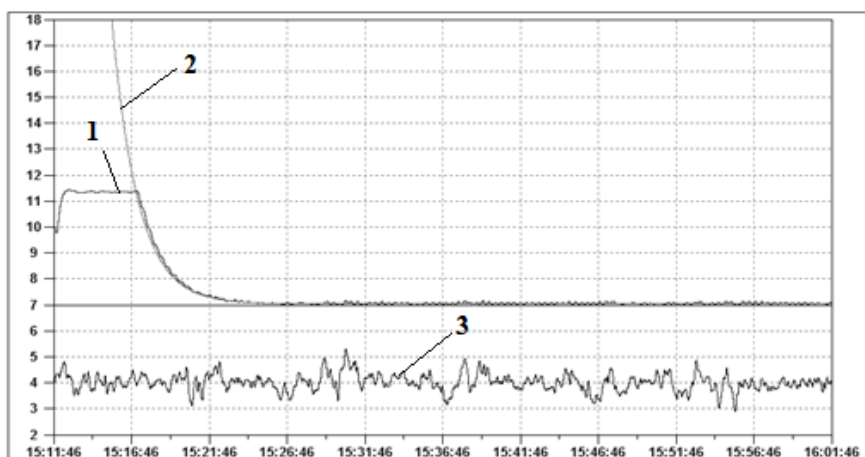
53      (* Product: '<S1>/Product3' incorporates:
54      * DiscreteIntegrator: '<S1>/Filter'
55      * Import: '<Root>/k_D'
56      * Import: '<Root>/k_N'
57      * Product: '<S1>/Product1'
58      * Sum: '<S1>/Add1' *)
59      rtb_Product3 := ((rtb_Add * k_D) - Filter_DSTATE) * k_N;
60
61      (* Sum: '<S1>/Add' *)
62      rtb_Add := rtb_Add + rtb_Product3;
63
64      (* Saturate: '<S1>/Saturation' *)
65      IF rtb_Add >= 100.0 THEN
66          (* Output: '<Root>/U' *)
67          U := 100.0;
68      ELSIF rtb_Add > -100.0 THEN
69          (* Output: '<Root>/U' *)
70          U := rtb_Add;
71      ELSE
72          (* Output: '<Root>/U' *)
73          U := -100.0;
74      END_IF;
75      (* End of Saturate: '<S1>/Saturation' *)
76
77      (* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Filter' *)
78      Filter_DSTATE := (0.1 * rtb_Product3) + Filter_DSTATE;
79  END_CASE;
80  END_FUNCTION_BLOCK
81

```

Picture 3 – Code snippet of control unit block for TIA Portal



Picture 4 – Functional blocks of PD, PID controllers with guaranteeing blocks which were created from generated code



Picture 5 – Results of testing the program in TIA Portal development environment: 1 – process variable, 2 – variable set point value; 3 – external coordinate disturbance

Conclusions

The research demonstrates that it is feasible to automatically generate code from MATLAB/Simulink models for implementation on industrial PLCs like the Siemens SIMATIC S7-1500. The developed workflow streamlines the process, reduces development time, and enhances the reliability of the control system implementation.

#### **Perspectives for Further Research**

Future work may focus on:

- Optimization of Generated Code: Enhancing the efficiency of the generated code for better performance on PLCs.
- Integration with Industry 4.0 Standards: Incorporating communication protocols and data analytics for advanced industrial applications [6].

#### **REFERENCES**

1. Årzén, K.-E., Gäfvert, M. Control System Design and Implementation using MATLAB and Simulink. – Springer, 2018. – 420 с.
2. John, K.-H., Tiegelkamp, M. IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems. – Springer, 2010. – 512 с.
3. MathWorks. Simulink PLC Coder User's Guide [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <https://www.mathworks.com/help/plccoder>
4. Siemens AG. TIA Portal V15 and WinCC Professional V15. – Siemens Documentation, 2017. – 390 с.
5. Lian, C., Toh, K. H. Automatic PLC Code Generation from Simulink Models for Industrial Applications // Journal of Automation and Control Engineering. – 2019. – Т. 7, №2. – С. 50–56.
6. Industrie 4.0 Working Group. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0. – German National Academy of Science and Engineering, 2013. – 80 с.

УДК 621.3. 681.516.7

### **АНАЛІЗ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ДІАГРАМ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ ЕСПЛУАТАЦІЇ**

**С.А. Дудко**, електромеханік  
**В.О. Дубовик**, старший викладач  
Національний університет "Одеська морська академія"

***Анотація.** Навантажувальні діаграми головних двигунів, що будуються в реальному часі, є дієвим інструментом при оцінюванні енергоефективності пропульсивної установки, але широкий спектр комплектування таких установок значно ускладнює розуміння та аналіз їх робочого стану. У статті наведені приклади навантажувальних характеристики пропульсивних установок, з різними варіантами комплектування, визначення на них характерних точок і ліній обмеження, та їх взаємопорівняння.*

***Ключові слова.** Навантажувальна діаграма головного двигуна. Фактична навантажувальна діаграма. Точка узгодження.*

### **ANALYSIS OF LOAD DIAGRAMS FOR MAIN ENGINE IN DIFFERENT OPERATION MODES**

**Dudko Sergiy**, Electrical Technical Officer  
**Vitaly Dubovik**, Senior Lecturer  
National University "Odessa Maritime Academy"

**Abstract.** The Load Diagrams of main engines constructed in real-time are an effective tool for evaluating the energy efficiency of a propulsion system, but the wide variety of such systems' configurations significantly complicates understanding and analyzing their operating states. The article provides examples of load characteristics for propulsion systems with various configurations, identification of characteristic points and limiting lines on these diagrams, and their comparative analysis.

**Keywords.** ME Load diagram. Limit curve. ME (N)MCR – (nominal)maximum continuous rate.

**Вступ.** Темпи зростання світового товарообігу і, відповідно, їх перевезень морським шляхом, йдуть у розріз до жорсткості екологічних норм та боротьби за навколишнє середовище. Тому моніторинг та підвищення енергоефективності морських суден є актуальним питанням сьогодення.

Одним з шляхів підвищення енергоефективності морських суден є зменшення потужності головних двигунів або комплектування пропульсивної установки додатковими устаткуваннями, що призводить до напруженої роботи останніх.

Навантажувальні діаграми головних двигунів, що будуються в реальному часі, є дієвим інструментом при оцінюванні енергоефективності пропульсивної установки, але встановлення додаткового устаткування значно ускладнює вид та розуміння таких діаграм.

**Приклади використання діаграми навантаження.** Розглянемо деякі приклади, які ілюструють гнучкість компонувань та діаграм навантаження, а також значний вплив вибору точки узгодження O.

В якості **першого приклада** розглянемо нормальні робочі умови. Двигун з'єднаний з гвинтом фіксованого кроку (FPP) та без валогенератора.

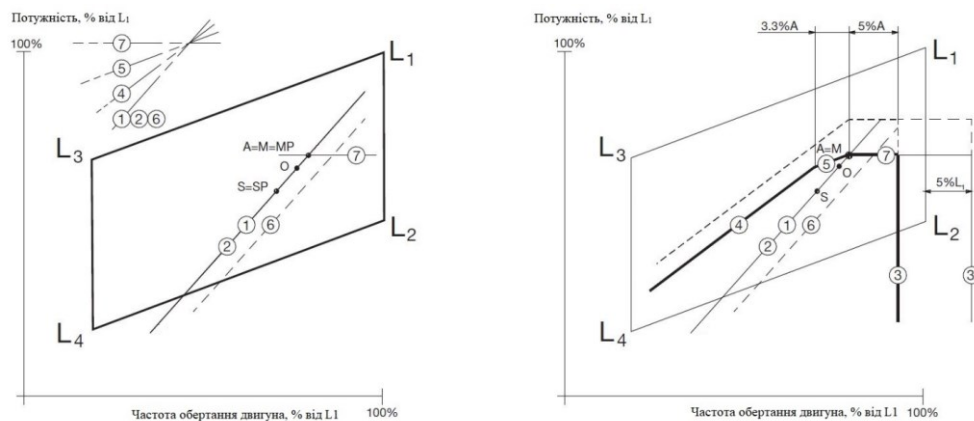


Рисунок 1 – Схема компонування та діаграми навантаження для нормального режиму роботи двигуна з ВЕУ, без валогенератора.

На рисунку 1 М – задана максимальна безперервна потужність двигуна (MCR – Maximum Continuous Rating); S – режим безперервної роботи двигуна (Continuous Service Rating); O – точка узгодження двигуна; A – опорна точка на діаграмі навантаження; MP – задана MCR для рушійної установки; SP – режим безперервної роботи для рушійної установки. Визначення Точки А: Лінія 1 – крива гвинта, що проходить через точку узгодження (O). Лінія 7 – лінія постійної потужності, що проходить через задану MCR (M). Точка А є точкою перетину лінії 1 та лінії 7.

Для двигунів МЕ точка узгодження O і крива 1 його повітряного гвинта зазвичай вибираються на кривій обслуговування двигуна 2. Далі точка А знаходиться на перетині кривої гвинта 1 (2) та кривої постійної потужності через М, лінія 7. В цьому випадку точка А дорівнює точці М.

Як тільки точка А знайдена на схемі компонування, можна побудувати діаграму навантаження, як показано на малюнку, і, отже, фактичні лінії обмеження навантаження дизельного двигуна можна знайти, використовуючи нахили від ліній побудови та зазначені відсоткові значення.

В другому прикладі розглянемо експлуатацію пропульсивної установки в особливих умовах, але з умовами, що двигун з'єднаний з гвинтом фіксованого кроку (FPP) та без валогенератора.

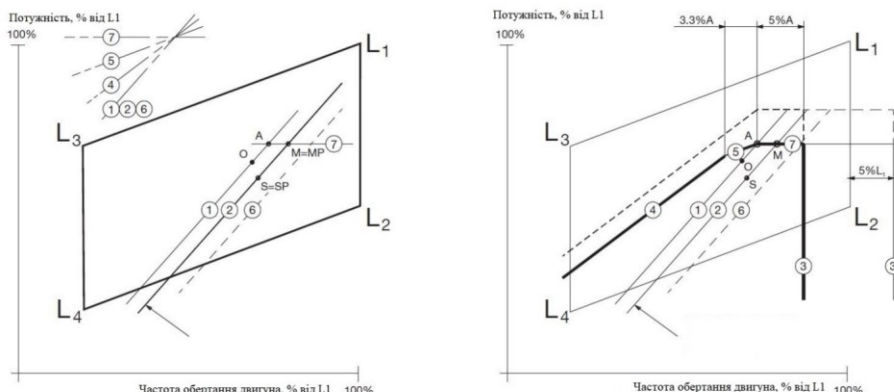


Рисунок 2 – Схема компоновання та діаграми навантаження для особливих умов експлуатації двигуна з ГФК, без валогенератора.

На рисунку 2 зображені наступні умовні позначення: М – заданий MCR двигуна; S – режим безперервної роботи двигуна; О – точка сполучення двигуна; А – опорна точка діаграми навантаження; MP – заданий MCR для рухомої частини; SP – номінальний ресурс рухомої частини в безперервному режимі. Знайдена точка А діаграми навантаження: Лінія 1 – крива гвинта через точку сполучення (О) збігається з лінією 2; Лінія 7 – лінія постійного живлення через вказаний MCR (М). Точка А – перетин ліній 1 і 7.

У цьому випадку точка узгодження О вибрана лівіше, ніж на рисунку 1, що забезпечує додатковий запас двигуна для роботи в важких умовах при важких погодних умовах. В принципі, для цього випадку збільшено запас по легкому ходу.

У третьому прикладі розглянемо нормальні робочі умови пропульсивної установки з гвинтом фіксованого кроку (FPP) і валогенератором.

У випадку з встановленим валогенератором (ВГ) робоча потужність двигуна також повинна включати додаткову потужність на валу, необхідну для вироблення електроенергії валогенератором.

На рисунку крива роботи двигуна, показана для важкого режиму роботи, включає цю додаткову потужність. Точка узгодження О зазвичай вибирається на кривій гвинта (~ кривій роботи двигуна) через точку М.

Далі знаходять точку А так само, як в прикладі 1, і можна побудувати діаграму навантаження, як показано на рисунку 3.

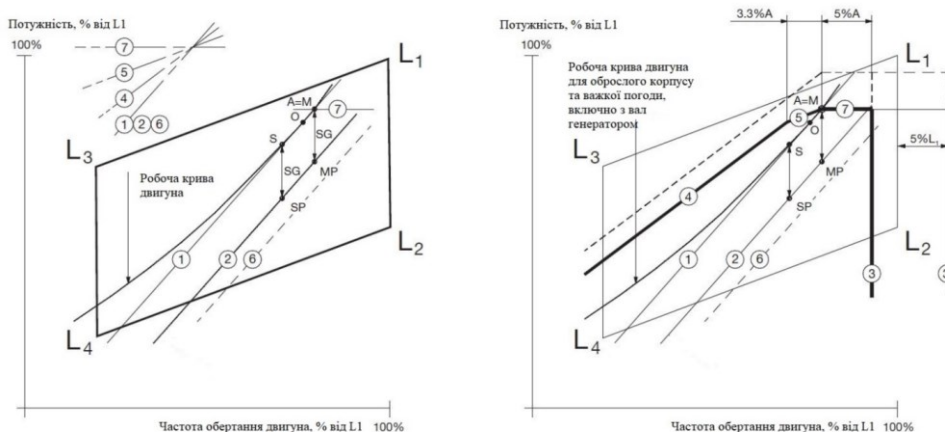


Рисунок 3 – Компоновальна та навантажувальна діаграми для нормального режиму роботи двигуна з ГФК і валогенератором



На рисунку 3 зображені:  $M$  – заданий MCR двигуна;  $S$  – режим безперервної роботи двигуна;  $O$  – точка сполучення двигуна;  $A$  – опорна точка діаграми навантаження;  $MP$  – заданий MCR для рушія;  $SP$  – номінальна напруцювання рушія в безперервному режимі;  $SG$  – потужність валогенератора. Знайдена точка  $A$  навантажувальної діаграми: Лінія 1 – Крива гвинта через точку сполучення ( $O$ ); Лінія 7 – Лінія постійного живлення через заданий БЩУ ( $M$ ). Точка  $A$  – Перетин ліній 1 і 7

Для особливого випадку в **прикладі чотири** також встановлений валогенератор, але в порівнянні з прикладом 3 в цьому випадку є зазначений MCR для руху  $MP$ , розміщений у верхній частині схеми компоновання.

Це передбачає, що передбачуваний зазначений MCR двигуна  $M'$  буде розміщений за межами верхньої частини схеми компоновання.

Одним з рішень може бути вибір більшого дизельного двигуна з додатковим циліндром, але іншим і дешевшим рішенням є зниження вироблення електроенергії валогенератором при роботі у верхньому діапазоні потужності.

При виборі останнього рішення необхідна задана потужність MCR може бути знижена від точки  $M'$  до точки  $M$ , як показано на рисунку. Отже, під час роботи у верхньому діапазоні потужності дизель-генератор повинен взяти всю чи частину виробництва електроенергії.

Однак така ситуація виникає рідко, оскільки судна досить нечасто працюють у верхньому діапазоні потужності двигуна.

Потім на перетині ліній  $L1$ - $L3$  з лінією 1 знаходиться точка  $A$ , що має найбільшу можливу потужність, і будується відповідна діаграма навантаження. Точка  $M$  знаходиться на лінії 7 зі швидкістю  $MP$ .

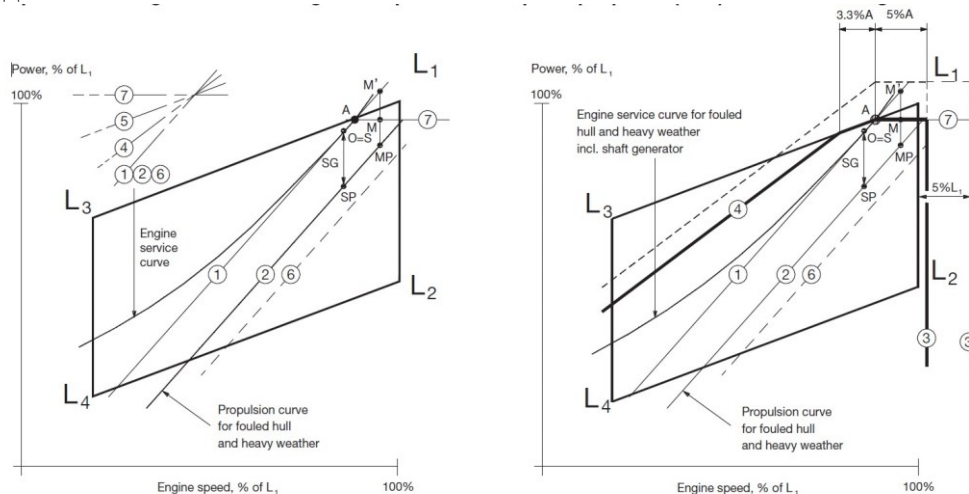


Рисунок 4 – Компоновальна та навантажувальна діаграми для особливих умов експлуатації двигуна з ГФК та з валогенератором

На рисунку 4 зображені:  $M$  – заданий MCR двигуна;  $S$  – режим безперервної роботи двигуна;  $O$  – точка сполучення двигуна;  $A$  – опорна точка діаграми навантаження;  $MP$  – заданий MCR для двигуна;  $SP$  – номінальне напруцювання рушія в безперервному режимі;  $SG$  – потужність валогенератора. Знайдена точку  $A$  навантажувальної діаграми це: Лінія 1 – крива гвинта через точку сполучення ( $O$ ) або точку  $S$ . Точка  $A$  – перетин лінії 1 та лінії  $L1$  –  $L3$ . Точка  $M$  розташовується на лінії постійного струму 7 через точку  $A$  і зі швидкістю  $MP$ .

У **прикладі п'ять**, головний двигун з гвинтом регульованого кроку (ВРШ) працює з змінною швидкістю і може комплектуватися валогенератором або використовуватися без нього.

Якщо схема компоновання без валогенератора то, комбінаторна крива (гвинта) зазвичай вибирається для завантаженого судна, враховуючи запас потужності на море.

Комбінована крива може мати заданий крок гвинта для певної швидкості обертання, і це може викликати важкий режим роботи у складних погодних умовах, подібно до фіксованого кроку гвинта.

Тому рекомендується використовувати комбіновану криву легкого режиму роботи (пунктирну криву), як показано на рисунку, щоб забезпечити збільшений експлуатаційний запас двигуна в складних погодних умовах до межі, зазначеної кривими 4 і 5 на рисунку 5.

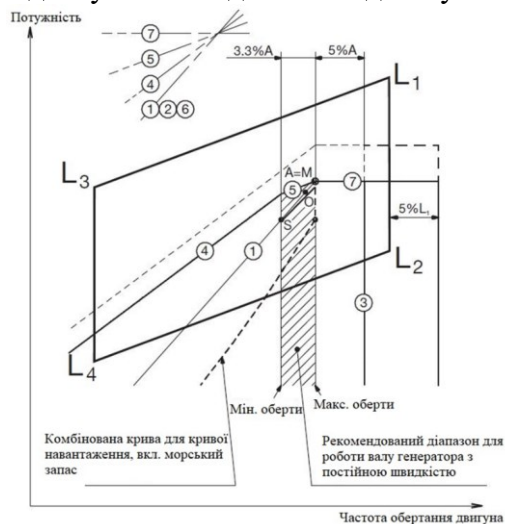


Рисунок 5 – Двигун із ВРШ, з валогенератором або без такого

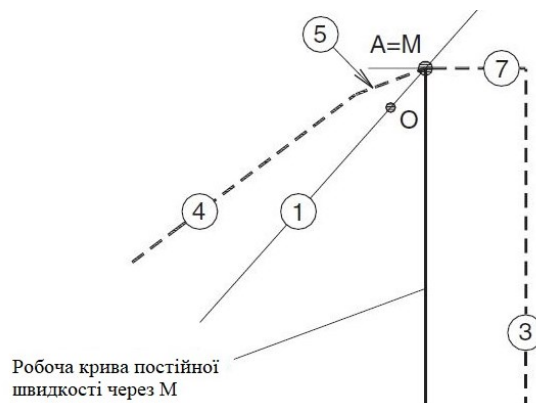


Рисунок 6 – Крива постійної швидкості через М, нормальне та правильне розташування точки узгодження О.

При схемі компонування з валогенератором, заштрихована область показує рекомендований діапазон швидкостей від 100% до 96,7% від заданої швидкості MCR двигуна, що працює на постійній швидкості.

Точка режиму безперервної роботи двигуна S може бути розташована в будь-якій точці заштрихованої області.

Процедура, показана в прикладах 3 і 4 для двигунів з FPP, також може бути застосована тут для двигунів з CPP, що працюють за комбінованою кривою.

Точка узгодження O може бути вибрана на кривій повітряного гвинта через точку A = M із точкою узгодження від 85% до 100% зазначеного MCR, як згадувалося раніше в розділі, що стосується точки узгодження O.

Коли вибрана задана точка MCR двигуна (M), включаючи запас потужності двигуна, запас потужності на море та потужність для валогенератора, точку M можна використовувати як точку A діаграми навантаження, яку потім можна побудувати.

Положення комбінованої кривої забезпечує максимальний діапазон навантаження в межах допустимого діапазону обертів для роботи двигуна, але при цьому залишає розумний запас до межі, зазначеної кривими 4 і 5.

У **прикладі шість** головні двигуни працюють на постійній швидкості з гвинтом регульованого кроку (ВРШ).

Незалежно від того, чи працює двигун на кривій гвинта, чи на кривій постійної швидкості через M, точка узгодження O повинна розташовуватись на кривій гвинта через задану точку MCR M або, в особливих випадках – лівіше точки M.

Причина в тому, що крива гвинта 1 через точку узгодження O є схемою компонування двигуна, а перетин кривої 1 і лінії максимальної потужності 7 через точку M відповідає 100% потужності та 100% швидкості, точка A діаграми навантаження – в цьому випадку A = M.

На рисунку 6 точка узгодження O розташована правильно, а підвищувальний редуктор і валогенератор, якщо вони встановлені, можуть бути синхронізовані на кривій постійної швидкості через M.

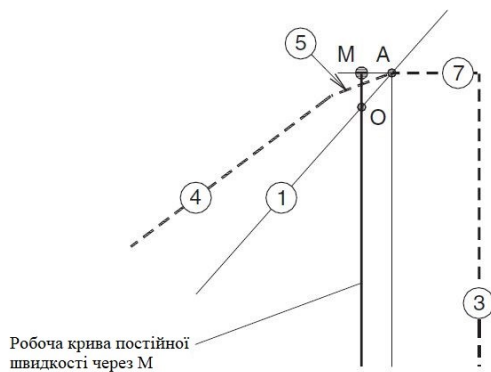


Рисунок 7 – Крива сталої швидкості через М, неправильне розташування точки узгодження О

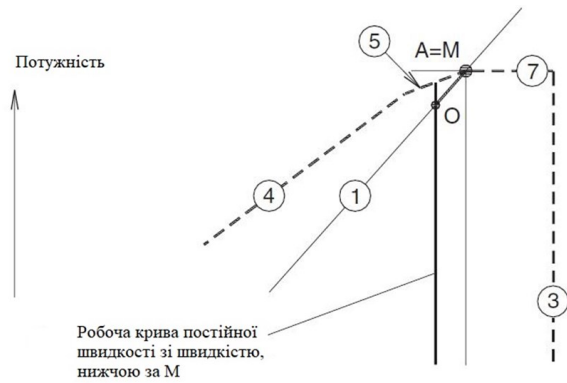


Рисунок 8 – Рекомендована крива роботи на постійній швидкості, нижча за швидкість М.

Якщо двигун був узгоджений за точкою О на кривій постійної швидкості через точку М, то задана точка МСR (точка М) буде розташована за межами діаграми навантаження, що показує рисунок 7, а це неприпустимо.

У цьому випадку припускається, що валогенератор, якщо він встановлений, синхронізується на нижчій постійній швидкості головного двигуна (наприклад, при частоті обертання, що дорівнює О або нижче), при якій досягається покращена ефективність гвинта СР під час роботи на частковому навантаженні.

У цьому прикладі компоновання, де досягається покращена ефективність гвинта СР під час тривалих періодів роботи на частковому навантаженні, підвищувальний редуктор і валогенератор повинні бути спроектовані для двигуна з нижчою постійною швидкістю.

**Висновки.** Приклад 1 показує, як розташувати діаграму навантаження для двигуна без валогенератора, з'єднаного з гвинтом фіксованого кроку.

Приклад 2 являє собою діаграми для тієї ж конфігурації, але з вибором точки узгодження ліворуч від кривої важкого ходу гвинта (2), що забезпечує додатковий запас двигуна для важкого ходу, подібно до випадку на рис. 8.

У прикладі 3 показана така ж схема двигуна з гвинтом фіксованого кроку (як у прикладі 1), але з валогенератором.

Приклад 4 є частковим випадком прикладу 3, де вказаний МСR розташований у верхній частині схеми компоновання. У цьому випадку валогенератор відключається, а генераторні установки використовуються, коли двигун працює на заданому МСR. Це дозволяє вибрати двигун меншого розміру з меншою вихідною потужністю.

Приклад 5 показує схеми двигуна, з'єднаного з гвинтом регульованого кроку, з валогенератором або без нього.

Приклад 6 показує, де розташувати точку узгодження для двигуна, з'єднаного з гвинтом регульованого кроку.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дудко С.А., Дубовик В.О. Системний аналіз режимів роботи та стану головного двигуна з електронною системою управління за допомогою навантажувальної діаграми реального часу. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 – 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – 204 с. – Режим доступу: [http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2022.22.11.22\\_1.pdf](http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2022.22.11.22_1.pdf)

2. Дубровська, В.В. Термодинаміка та теплообмін: навч. посіб. / В.В. Дубровська, В.І. Шкляр – К.: НТУУ «КПІ», Вид-во «Політехніка», 2016. – 152 с

3. Методы и средства диагностирования судовой энергетической установки / А. В. Тымкив, В. Г. Денисов // Судовые энергетические установки. – 2014. – Вып.32. – С. 113-123. – Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/seu\\_2014\\_32\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/seu_2014_32_18)
4. Шліхта О.М., Кардаш В.П. Підвищення енергоефективності робочого процесу суднового двигуна. Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 21.03.2019-22.03.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2019. – 232-237.
5. <https://primeserv.man-es.com/marine-engines-and-systems/service-letter-marine>
6. [http://maytau.ut.edu.vn/userfiles/files/50-108ME/ME-C – Vol. II MAINTENANCE.pdf](http://maytau.ut.edu.vn/userfiles/files/50-108ME/ME-C-Vol-II-MAINTENANCE.pdf)

УДК 629.5.082:621.56:681.5

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ ОХОЛОДЖЕНОЇ ВОДИ ДЛЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ НА ПАСАЖИРСЬКОМУ СУДНІ

**П.О. Горбань**, здобувач другого рівня вищої освіти  
**М.В. Міусов**, д.т.н. професор  
Національний університет "Одеська морська академія"

***Анотація:** У даній роботі розроблено систему автоматизації процесу підготовки охолодженої води для системи кондиціонування на пасажирському судні з метою підвищення енергоефективності та забезпечення комфорту пасажирів. Виконано моделювання об'єкта керування, синтезовано систему автоматичного регулювання та розроблено програмне забезпечення для контролера і SCADA-системи.*

***Ключові слова:** автоматизація, охолоджена вода, пасажирське судно, система автоматичного регулювання, SCADA.*

## AUTOMATION SYSTEM OF THE PROCESS OF PREPARING COOLED WATER FOR THE AIR CONDITIONING SYSTEM ON A PASSENGER SHIP

**P.O. Gorban**, second-level graduate of higher education  
**M.V. Miusov**, Dr. of Science, Professor  
National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract:** In this work, an automation system for the process of preparing cooled water for the air conditioning system on a passenger ship has been developed with the aim of increasing energy efficiency and ensuring passenger comfort. Modeling of the control object was performed, an automatic control system was synthesized, and software for the controller and SCADA system was developed.*

***Key-words:** automation, cooled water, passenger ship, automatic control system, SCADA.*

**Актуальність теми.** Комфорт пасажирів на сучасних круїзних суднах значною мірою залежить від ефективності систем кондиціонування та вентиляції. Підготовка охолодженої води є ключовим елементом цих систем [2]. Забезпечення стабільних параметрів мікроклімату на судні вимагає розробки сучасних систем автоматизації процесу підготовки охолодженої води, що підвищують енергоефективність та надійність обладнання [3].

**Проблемне науково-прикладне завдання, на яке спрямовано дослідження,** полягає в розробці ефективної системи автоматизації процесу підготовки охолодженої води на пасажирському судні, яка забезпечить підвищення енергоефективності, стабільності параметрів мікроклімату та комфорт пасажирів шляхом удосконалення алгоритмів автоматичного керування та впровадження сучасних технологій контролю та управління [1, 4].

**Об'єкт досліджень:** процес підготовки охолодженої води для системи кондиціонування на пасажирському судні.

**Предмет досліджень:** методи та засоби автоматизації процесу підготовки охолодженої води, моделі об'єкта керування, алгоритми автоматичного регулювання та логічного керування, програмне забезпечення для контролера та SCADA-системи.

**Мета дослідження:** розробка та впровадження ефективної системи автоматизації процесу підготовки охолодженої води на пасажирському судні з метою підвищення енергоефективності та забезпечення комфортних умов для пасажирів.

**Методи дослідження:** математичне моделювання процесів теплообміну та циркуляції холодоагенту [5], ідентифікація динамічних моделей об'єкта керування, синтез регуляторів на основі отриманих моделей, імітаційне моделювання систем автоматичного регулювання в середовищі MATLAB/Simulink [6], розробка програмного забезпечення для програмованого логічного контролера та SCADA-системи [7].

#### Основні результати роботи:

##### 1. Аналіз технологічного процесу та обґрунтування актуальності дослідження.

Проведено детальний аналіз технологічного процесу підготовки охолодженої води на пасажирському судні [2]. Встановлено, що якісна реалізація процесу залежить від точності підтримки режимних параметрів: стабілізації тиску та температури води з чіллера. Визначено, що в якості керуючих дій можуть виступати частота обертання компресора та положення клапана [3].

**2. Моделювання об'єкта керування.** Проведено ідентифікацію динамічних моделей об'єкта керування за допомогою активного експерименту [5]. Отримано передаточні функції каналів керування, які описуються моделями другого порядку з запізненням. Виконано моделювання в середовищі MATLAB/Simulink, що дозволило відтворити динамічні характеристики об'єкта та провести подальший синтез системи автоматичного регулювання [6].

**3. Синтез системи автоматичного регулювання.** Розроблено систему автоматичного регулювання (САР) базової структури з використанням ПІ та ПІД-регуляторів [8]. Проведено параметричний синтез та оптимізацію налаштувань регуляторів для забезпечення стабілізації тиску та температури води з чіллера. Для підвищення динамічної точності застосовано метод двоканальності Петрова, що дозволило компенсувати взаємні впливи каналів керування [9].

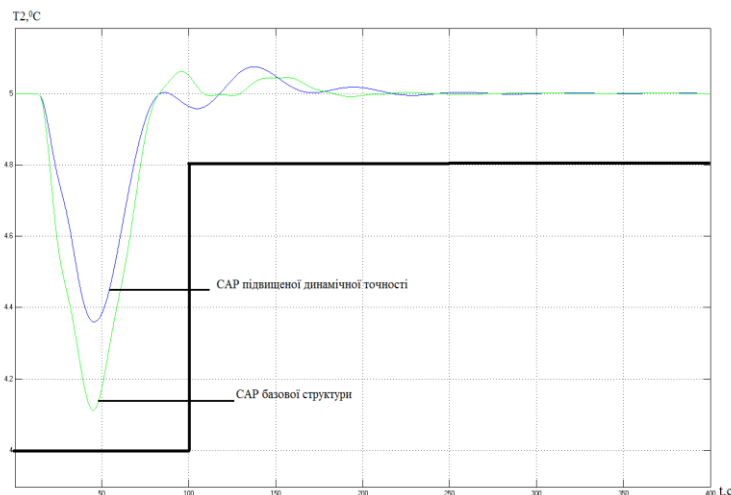


Рисунок 1 – Результати порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності

**4. Розробка алгоритмів дискретної логіки.** Створено алгоритми логічного керування для автоматизації пуску та зупинки установки, а також забезпечення безпечної експлуатації обладнання [10]. Алгоритми реалізовано у вигляді функціонально-логічних схем та протестовано в середовищі моделювання.

**5. Вибір та конфігурування технічних засобів автоматизації.** Обрано програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7-300 для реалізації системи автоматизації [7]. Розроблено структуру системи, підбрано необхідні модулі вводу/виводу, датчики та виконавчі механізми. Виконано програмне конфігурування контролера та розроблено програмне забезпечення в середовищі STEP 7.

**6. Розробка програмного забезпечення та SCADA-системи.** Створено програмне забезпечення для контролера, яке реалізує алгоритми регулювання та логічного керування [7]. Розроблено SCADA-систему на базі WinCC Flexible для забезпечення моніторингу та управління процесом з робочого місця оператора [11]. Інтерфейс користувача включає екрани технологічної схеми, графіки параметрів, систему повідомлень та можливості для налаштування регуляторів.

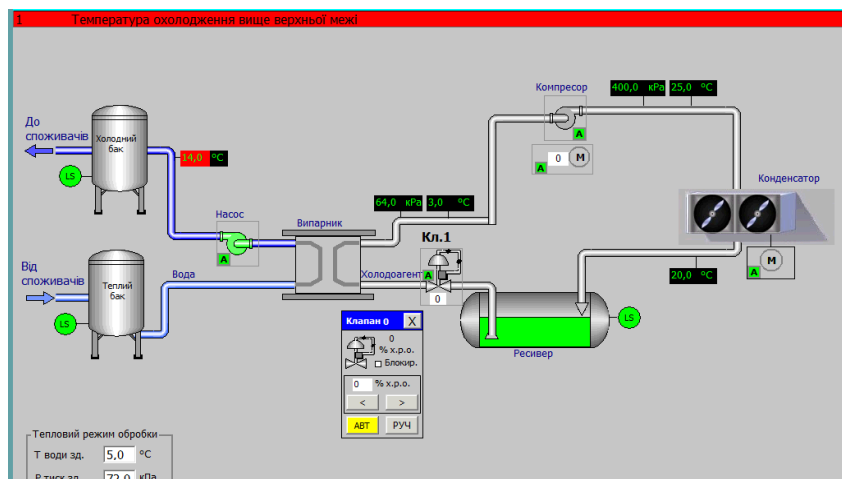


Рисунок 2 – Схема SCADA в тестовому режимі

**Висновки.** В результаті дослідження розроблено систему автоматизації процесу підготовки охолодженої води на пасажирському судні, яка забезпечує підвищення енергоефективності та комфортні умови для пасажирів. Застосування сучасних методів моделювання та регулювання дозволило створити ефективну систему управління, що відповідає сучасним вимогам до морських суден.

**Перспективи подальших досліджень** полягають у впровадженні адаптивних та інтелектуальних систем керування, розробці методів прогнозного управління та діагностики для подальшого підвищення надійності та ефективності системи автоматизації [9], [13].

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гринько В.І., Жовтоног О. М. Системи автоматизації та регулювання. – Київ: Наукова думка, 2017. – 416 с.
2. Бабак В.П., Литвиненко І. В. Автоматизація теплоенергетичних процесів суден. – Київ: Логос, 2018. – 520 с.
3. Шелест О. В. Технологічні системи охолодження та кондиціювання на суднах: Навчальний посібник. – Київ: ВД «Києво-Могилянська академія», 2019. – 378 с.
4. Петренко І. М., Романов В. І. Основи автоматизованого керування технологічними процесами. – Харків: ХНАДУ, 2015. – 344 с.
5. Соколов Є. Я., Ніколаєв Ю. М. Теплообмін та теплові процеси в судових установках. – Київ: Логос, 2016. – 320 с.
6. MathWorks Inc. MATLAB and Simulink Documentation. – 2020.
7. Siemens AG. SIMATIC S7-300 Programmable Controllers: System Manual. – Siemens Industry, 2018.
8. Коваленко В.П. Теорія автоматичного керування: Підручник. – Київ: КНЕУ, 2017. – 400 с.

9. Ковальов В. М. Методи підвищення динамічної точності систем автоматичного керування. – Харків: ХНАДУ, 2015. – 360 с.
10. Литвиненко І.В. Логічне керування технологічними процесами на суднах. – Київ: Логос, 2016. – 275 с.
11. Siemens AG. SIMATIC WinCC Flexible Engineering System. – Siemens Industry, 2017.
12. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпека машин. Електрообладнання машин. Частина 1: Загальні вимоги.
13. Мельник О.В. Адаптивні системи керування у морських технологіях. – Одеса: ОНПУ, 2019. – 310 с.

УДК 621.431.74

## ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ З ЕЛЕКТРОННИМ РЕГУЛЯТОРОМ

М. І. Будуров, аспірант  
Національний університет «Одеська морська академія»

**Анотація:** На суднах світового торгового флоту у складі суднових енергетичних установок у переважній кількості використовуються дизелі, на яких управління частотою обертання забезпечується електронними регуляторами частоти обертання (РЧО). У свою чергу, електронні РЧО мають велику кількість параметрів налаштування, які створюють технічну можливість для кращого адаптування дизелів до суднових умов плавання. Наприклад, одним із резервів оптимізації управління судновими дизельними установками під час хвилювання моря є облік стохастичних характеристик обурюючого впливу зі сторони гребного гвинта. Це може досягатися, у тому числі, за допомогою параметра чутливості вхідного сигналу РЧО, який дозволяє змінювати реакцію регуляторів на високочастотні збурення, що є характерною особливістю роботи дизелів. У свою чергу, завдання оптимізації роботи РЧО можна вирішувати математичним моделюванням, проте при цьому не підходять моделі дизеля, у яких допускається незмінність частоти обертання протягом робочого циклу. Ці моделі надмірно ідеалізують вхідний сигнал РЧО і, відповідно, можуть спотворити оптимальні значення налаштування РЧО. Це призводить до того, що налаштування РЧО не забезпечує задовільну стабільність швидкісних режимів особливо під час зміни різної інтенсивності та періоду коливань моменту опору на гребному валу. Тому необхідна спеціалізована модель для дизелів різної тактності, що буде враховувати циклову нестабільність крутного моменту, яка призводить до нестабільності вхідного сигналу РЧО. У зв'язку з цим удосконалення налаштування електронних РЧО головних суднових дизелів з урахуванням стохастичності навантаження під час хвилювання моря може покращити стабільність роботи системи автоматичного регулювання частоти обертання (САРЧ) з електронними регуляторами у всьому діапазоні можливих експлуатаційних режимів суднових дизелів, що безпосередньо підвищує безпеку мореплавання.

**Ключові слова:** торгові судна; судновий дизель; регулятор частоти обертання; чутливість регулятора; нестабільність частоти обертання.

## IMPROVING THE STABILITY OF AUTOMATIC SPEED REGULATION OF MARINE DIESEL ENGINE WITH ELECTRONIC SPEED GOVERNOR

M. Budurov, Postgraduate Student  
National University «Odessa Maritime Academy»

**Abstract:** On vessels of the world merchant fleet, diesel engines are predominantly used as part of ship power plants, where speed control is provided by electronic speed governors (SG). In turn, electronic SGs have a large number of setting parameters that create a technical opportunity for better adaptation of diesel engines to vessel navigating conditions. For example, one of the reserves for optimizing the control of ship diesel engines during rough seas is to take into account the stochastic characteristics of the disturbing

*influence from the propeller. This can be achieved, including, using the electronic SG input signal sensitivity parameter, which allows changing the governor response to high-frequency disturbances, which is a characteristic feature of diesel engines. In this case, the task of optimizing SG operation can be solved by mathematical modeling, but diesel engine models that allow for the invariance of the speed during the operating cycle are not suitable. These models excessively idealize the SG input signal and, accordingly, can distort the optimal SG setting values. This leads to the fact that the SG setting does not provide satisfactory stability of speed modes, especially when changing different intensities and periods of oscillations of the resistance moment on the propeller shaft. Therefore, a specialized model for diesel engines with different strokes is needed that will take into account the cyclic instability of the torque, which leads to instability of the SG input signal. In this regard, improving the setting of electronic SG of the main diesel engines, taking into account the stochasticity of the load during rough seas, can improve the stability of the automatic speed control system (ASCS) operation with electronic SG in the entire range of possible operating modes of marine diesel engines, which directly increases the safety of navigation.*

**Key-words:** merchant vessels; marine diesel engine; speed governor; sensitivity; cyclic instability.

Переважна більшість суден, які знаходяться в експлуатації, мають у складі своїх енергетичних установок суднові дизелі, тому що вони є найперспективнішими первинними приводами на водному транспорті. На сьогодні домінуюча кількість суднових дизельних установок обладнана електронними РЧО, у тому числі, через можливість забезпечення адаптації у залежності від експлуатаційного режиму роботи дизеля. Це може досягатися за допомогою управління параметром чутливості вхідного сигналу РЧО, що дозволяє змінювати реакцію регуляторів на височастотні збурення. У дизелів із розподільчим валом такі збурення генеруються при набіганні кулачків на штовхачі паливних насосів, а в дизелях з акумуляторною системою впорскування палива через використання для вимірювання частоти обертання індуктивних датчиків із зубчастою стрічкою на валу. Якщо дизель використовується як головний на суднах, то чутливість регулятора додатково дозволяє змінювати реакцію регулятора на коливання моменту опору гребного валу під час хвилювання моря [1]. Однак на практиці використання припущення про незмінність частоти обертання дизеля протягом робочого циклу під час налаштування чутливості електронного РЧО не знаходить реального відображення зміни вхідного сигналу на регулятор, що може спотворити оптимальні значення налаштування РЧО. Більше того, недостатній контроль коливань вхідного сигналу РЧО може призвести до недовикористання потужності суднових дизелів, зниження їхньої ефективності та моторесурсу, збільшення витрати палива, а також суттєвих похибок у діагностуванні технічного стану. Нестабільність вхідного сигналу на РЧО пояснюється неминучою нестабільністю крутного моменту в процесі здійснення робочого циклу, наявністю крутильних коливань валів і валопроводів, неоднорідністю механічних втрат по циліндрах, а також присутністю нерівноважених сил та моментів [2]. Серед причин виникнення нестабільності особливе місце займає різний характер протікання процесів згоряння по циліндрах, перш за все, через нестабільну від циклу до циклу роботу паливної апаратури [3]. Це пояснюється відмінністю по циліндрах циклових подачах палива, на які впливають поштовхи з боку плунжерних пар, викликані реакцією струменя в момент відсічення, сили інерції, зумовлені поздовжньою вібрацією остова дизеля, залишковий тиск у паливному трубопроводі. У свою чергу, посилення природної нестабільності частоти обертання дизеля може відбуватися і за рахунок незадовільної роботи САРЧ, що є характерним явищем для більшості експлуатованих суднових дизелів особливо під час роботи на часткових режимах навантаження, що, перш за все, пов'язано із величиною запізнення РЧО [4]. Як показало дослідження [5], однією з головних причин погіршення якості експлуатації суднових дизелів особливо під час роботи на часткових режимах, є те, що під час їхнього проектування не враховувався вплив нестабільності частоти обертання колінчастого валу на вхідний сигнал РЧО. Сформульована **практична проблема** ставить завдання налаштування електронного РЧО з урахуванням нестабільності вхідного сигналу на регулятор у всьому експлуатаційному діапазоні суднових дизелів різної тактності.



У зв'язку з викладеним метою роботи є удосконалення методики налаштування електронних регуляторів частоти обертання суднових дизелів з урахуванням нестабільності вхідного сигналу на електронний РЧО.

У роботі [6] показана модель САРЧ суднового двотактного дизеля з електронним регулятором, в якій доданий блок обліку циклічності роботи дизеля. Він відтворює циклову нестабільність обертаючого моменту, яка призводить до нестабільності вхідного сигналу РЧО. Для реалізації поставленої в даній роботі мети модель з роботи [6] була пристосована для чотиритактного суднового дизеля, у якій для кожного з циліндрів промодельована циклічна зміна за часом величини кута повороту колінчастого валу в діапазоні  $-180^\circ$  п.к.в. ...  $+540^\circ$  п.к.в., а також під час розрахунку індикаторної діаграми відтворені політропи стискування та розширення, які сполучені з відповідними графіками газових процесів наповнення та випуску.

Дослідження виконане для суднового чотиритактного дизеля MAN B&W 7L 58/64, який використовується у складі дизель-електричної пропульсивної установки пасажирського лайнера «NORWEGIAN SKY» компанії Norwegian Cruise Line. Цей двигун розвиває номінальну потужність 9275 кВт і номінальну частоту обертання  $428 \text{ хв}^{-1}$ , є тронковим, семициліндровим, нереверсивним. Має систему наддування при постійному тиску, яку забезпечує турбонагнітач MAN B&W NA57/T. Оснащений електронним РЧО WOODWARD 2301E у поєднанні з пропорційним електрично-гидравлічним актуатором PG MAS EG 200. Під час моделювання сталими параметрами налаштування обрані: амплітуда зміни збурюючого впливу  $\delta_\lambda = 0,12$  відн. од.; коефіцієнту підсилення пропорційної ланки  $k_p = 2$  відн. од.; час інтегруючої ланки  $T_i = 2$  с; коефіцієнт передачі диференціюючої ланки  $k_d = 0$  відн. од.; коефіцієнт передачі зони пониженої чутливості  $k_g = 0,5$  відн. од.; коефіцієнт передачі ланки, яка форсує розгін та гальмування виконавчого електродвигуна  $k_a = 0,4$  відн. од.; коефіцієнт передачі зворотнього зв'язку за частотою обертання виконавчого електродвигуна  $k_n = 0,06$  відн. од. На рис. представлений тривимірний графік перехідних процесів під час зміни відносної величини зони пониженої чутливості при номінальній частоті обертання суднового чотиритактного дизеля MAN B&W 7L 58/64.

На рис. спостерігаються високочастотні осциляції частоти обертання як наслідок циклічності роботи чотиритактного дизелю. Це, в свою чергу, надає можливість враховувати при оптимізації об'єкту регулювання циклову нестабільність обертаючого моменту, яка призводить до нестабільності вхідного сигналу, що надходить на РЧО.

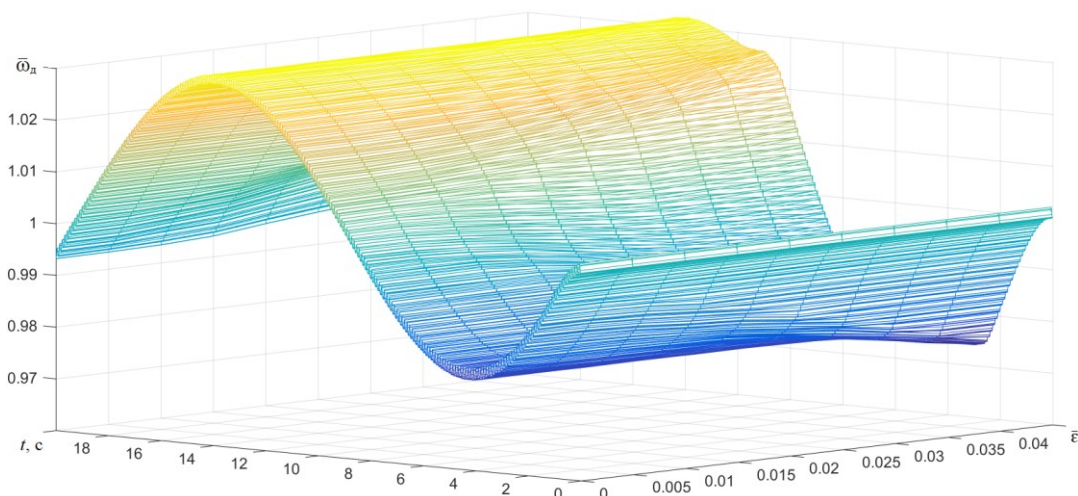


Рисунок – Перехідні процеси під час зміни відносної величини зони пониженої чутливості з періодом коливання збурюючого впливу  $T_0 = 20,9$  с

## Висновки.

Удосконалена модель судових дизелів різної тактності з сучасними електронними РЧО дозволяє оптимізувати роботу САРЧ з урахуванням циклічності роботи дизелів. У свою чергу, оптимізація чутливості вхідного сигналу на РЧО дозволяє покращити стабільність швидкісних режимів роботи судових багатопциліндрових дизельних установок із одночасним запобіганням перевантаження за тепловою напруженістю, а також підвищити адаптацію до змінних зовнішніх умов мореплавання, що, у свою чергу, суттєво підвищує надійність та економічність експлуатації.

У наступному дослідженні планується проаналізувати індикаторні діаграми судових дизелів різної тактності, з різною частотою обертання та з різною кількістю циліндрів, з урахуванням впливу нестабільності частоти обертання на вхідний сигнал РЧО.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Cheng M., Enzhe S., Guofeng Z., Chong Y. Study on Intelligent Speed Control Algorithm for Diesel Engine. // Proceedings of 14th International Naval Engineering Conference & Exhibition. – 2018. – 12 p.
2. Xie L., Sun S., Dong F. The Non-Uniformity Control Strategy of a Marine High-Speed Diesel Engine Based on Each Cylinder's Exhaust Temperature. // Processes. – 2023. – № 11 (1068). – 21 p.
3. Wang Y.H., Wang G.Y., Yao G.Z., Shen L.Z. Research on the Characteristics of Operating Non-Uniformity of a High-Pressure Common-Rail Diesel Engine Based on Crankshaft Segment Signals. // IEEE Access. – 2021. – № 9. – P. 64906 – 64917.
4. Hairui W., Lu W., Yongyi L., Hongwei Y. Research on Engine Speed Control System Based on Fuzzy Adaptive PID Controller. // Manufacturing Technology. – 2019. – № 19 (6). – P. 1080 – 1087.
5. Kyrtatos P., Hoyer K., Obrecht P., Boulouchos K. Apparent effects of in-cylinder pressure oscillations and cycle-to-cycle variability on heat release rate and soot concentration under long ignition delay conditions in diesel engines. // International Journal of Engine Research. – 2014. – № 15(3). – P. 325 – 337.
6. Горб С. І. УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ / С. І. Горб, М. І. Будуров, В. С. Павленко// Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.196-200.

УДК 621.181 – 629.5(045)

#### ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЛАБОРАТОРІЇ MITSUBISHI ELECTRIC У ПІДГОТОВЦІ МАГІСТРІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

**А.О. Дранкова**, к.т.н., доцент

**М.Й. Муха**, д.т.н., професор

Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:** наведені загальні характеристики обладнання компанії Mitsubishi Electric у лабораторії електромеханічних систем, яке використовується задля фахової підготовки магістрів електромеханічної спеціальності. Описано приклад використання програмованого логічного контролера у системі автоматичного управління судовим компресором пускового повітря.*

***Ключові слова:** програмовані логічні контролери, перетворювачі частоти, режими роботи обладнання, система управління, судовий компресор пускового повітря.*

## APPLIED ASPECTS OF USING THE MITSUBISHI ELECTRIC LABORATORY IN THE ELECTROMECHANIC'S MASTERS TRAINING

**Alla Drankova**, PhD, Assistant Professor  
**Mykola Mukha**, Dr. of Science, Professor  
National University «Odessa Maritime Academy»

**Abstract:** *the general characteristics of the Mitsubishi Electric company's equipment in the laboratory of electromechanical systems, which is used for the master's professional training in the electromechanical specialty, are given. An example of the programmable logic controller using in the automatic control system of the ship's starting air compressor is described.*

**Keywords:** *programmable logic controllers, frequency converters, equipment operating modes, control system, ship's starting air compressor.*

Розвиток промисловості та морської індустрії сьогодні супроводжується все більшим використанням сучасного обладнання світових виробників систем автоматики, до яких безумовно відноситься і компанія Mitsubishi Electric. На кафедрі електричної інженерії та електроніки функціонує та продовжує розвиватися лабораторія електромеханічних систем, яка є частиною інноваційного тренажерного комплексу [1,2]. Лабораторія облаштована сучасними передовими засобами промислової автоматизації, такими як програмовані логічні контролери (ПЛК) різного типу, перетворювачі частоти, пристрої плавного пуску, шагові двигуни, інтерактивні панелі оператора та мережеве комунікаційне обладнання. Обладнання лабораторії електромеханічних систем використовується у фаховій підготовці магістрів та аспірантів електромеханічної спеціальності [3,4].

Одним із ключових елементів сучасних автоматизованих систем є ПЛК, які здатні керувати комплексними процесами та виконувати завдання різноманітних систем автоматики, які раніше вимагали залучення чисельних релейних і контактних пристроїв. Наявність у лабораторії електромеханічних систем декількох типів контролерів з периферійним обладнанням, таких як ALPHA-2, FX3U, FX5U та контролери Q-серії дозволяють в повній мірі засвоїти їх програмування, побудову та конфігурування [5,6,7,8].

Навчальне навантаження магістрів електромеханіків передбачає опрацювання лекційного матеріалу, виконання практичних завдань та лабораторних робіт, самостійну роботу магістрів з технічної документацією компанії Mitsubishi Electric на англійській мові, виконання розрахунково-графічної роботи. Розрахунково-графічна робота з дисципліни «Програмовані логічні контролери» включає три завдання [9]:

1. Моделювання режимів роботи суднової автоматизованої електростанції з використанням ПЛК ALPHA-2.
2. Модернізація релейно-контакторних схем суднових систем автоматизації з використанням ПЛК ALPHA-2.
3. Розробка автоматизованої системи управління судновими електромеханічними комплексами з використанням ПЛК FX3U.

В роботі представлена модернізація системи автоматичного управління судновим компресором пускового повітря, яка була виконана магістром Ципою А.В. групи 3601 у рамках виконання розрахунково-графічної роботи. Згідно завданню окрім модернізації також була проведена апробація програми на лабораторному стенді з використанням прикладного контролера AL2-14MR-D з використанням програмного забезпечення AL-PCS/WIN-E у режимі симуляції.

При реалізації системи управління на контролері AL2-14MR-D в якості вхідних сигналів використовувалися такі пристрої управління, як кнопка «Стоп», кнопка «Пуск», командо-контролер системи управління судновим компресором та інше, а в якості вихідних виконавчих пристроїв - контактори, актуатори, магнітні клапани, лампи сигналізації та інше. При модернізації було збережено існуючі алгоритми роботи електрообладнання, а також перед-

бачено відповідні захисти та сигналізацію. У програмі було передбачено зрозумілу візуалізацію всіх режимів роботи електрообладнання, включаючи аварійні режими роботи.

В процесі модернізації штатної схеми (рис.1) управління компресором повітря була запропонована наступна схемна реалізація системи управління судновим компресором, що детально показана на схемах нижче (рис.2-6) та має кращий рівень захисту, вищий рівень автоматизації за рахунок використання контролера AL2-14MR-D, програму до якого розроблено у програмного середовищі AL-PCS/WIN-E з можливістю запису даної програми у реально існуючий контролер компанії Mitsubishi Electric.

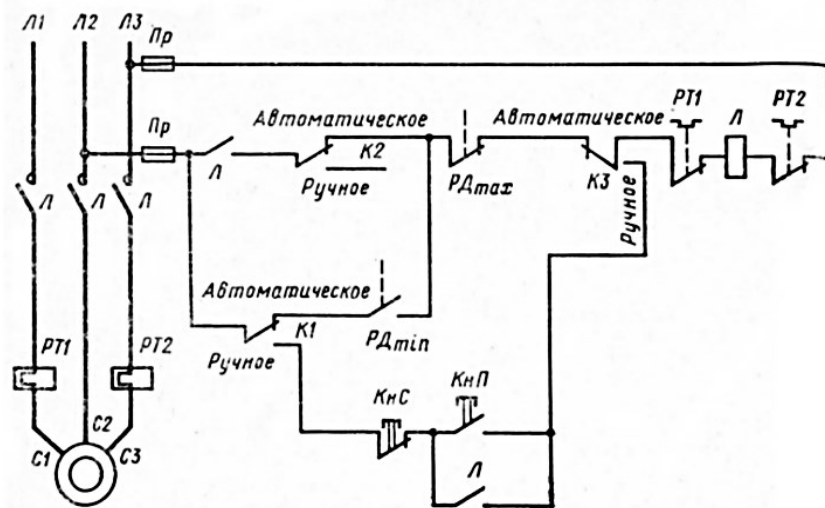


Рисунок 1 – Принципіальна схема управління компресором

Функціональна схема компресорної установки має наступні позначення (рис.2): LIT - level indication transmitter; LEC - level electrical controller; LIA - level indication alarm; NS - starting equipment; H - regulatory action; TIC - temperature indication controller; TIT - temperature indication transmitter; TIR - temperature indication registrar; TIA - temperature indication alarm; SIT- standing indication transmitter; SI - standing indication; PIT - pressure indication transmitter; PIA - pressure indication alarm; PIC - pressure indication controller; PLC - programmable logic controller; X – input; Y - output; I - indication; C - control; A --alarm; S - control logical ; R - registration; H - control from the keyboard.

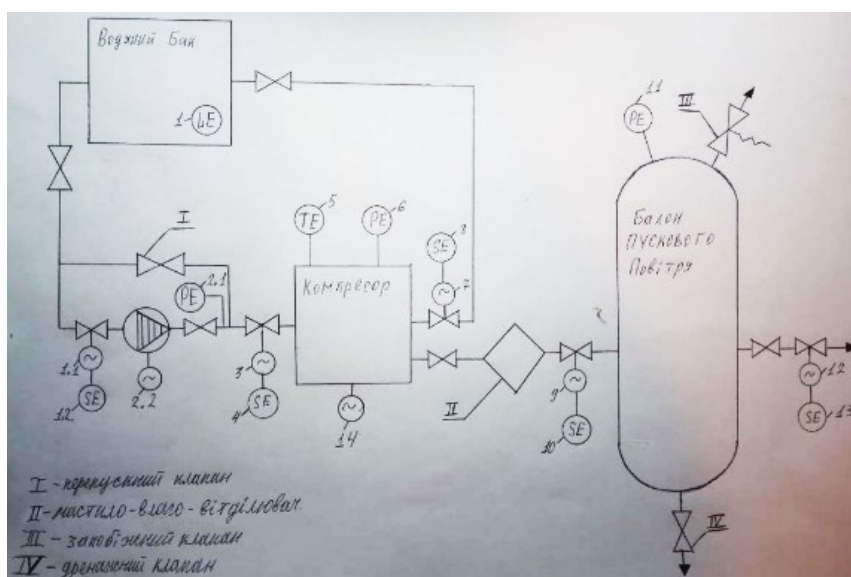


Рисунок 2 – Функціональна схема елементів компресорної установки

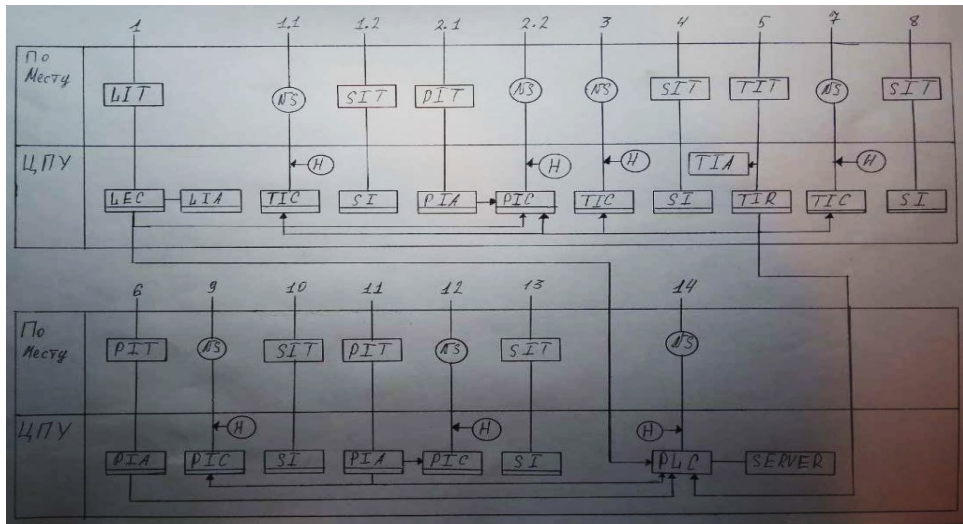


Рисунок 3 – Схема засобів автоматизації

Контролер PLC		1	1.1	1.2	2.1	2.2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Y	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
I	•		•	•			•	•		•		•		•		•		•
C	•	•			•	•			•			•						•
A	•			•				•							•			
S																		
Сервер/ Комп'ютер (ПК)	Y	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
I	•		•	•			•	•		•		•		•		•		•
R	•			•				•	•									
H	•	•		•	•	•			•	•		•	•		•		•	•

Рисунок 4 – Вибір функціональних можливостей інструментів та засобів автоматизації

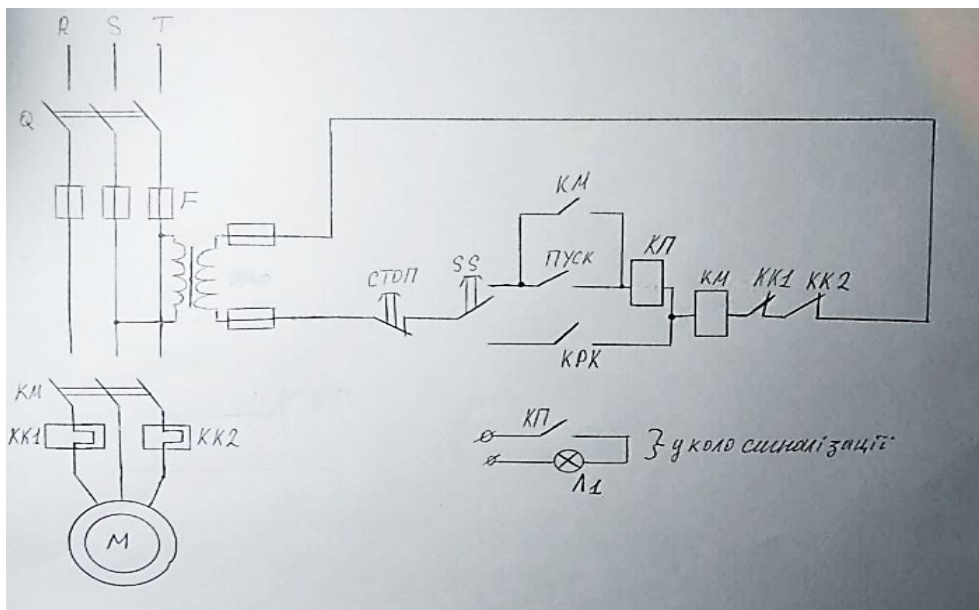


Рисунок 5 – Принципіальна схема управління компресором

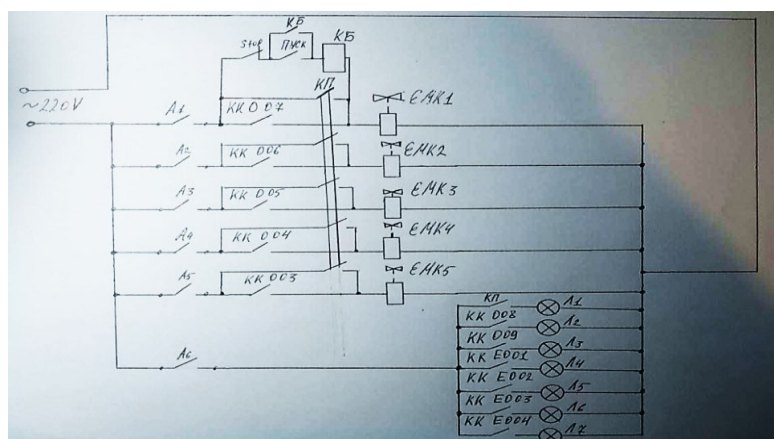


Рисунок 6 – Принципіальна схема управління електромагнітними клапанами та засобами індикації

Для включення електродвигуна М першим включається вимикач Q. Пуск двигуна здійснюється включенням кнопкового вимикача ПУСК. Котушка магнітного пускача КМ отримує живлення від мережі та замикає контакти КМ у головному колі та колі управління. Допоміжний контакт КМ у колі управління шунтує кнопку ПУСК та забезпечує тривалу роботу приводу. Для захисту електродвигуна від перевантаження в схемі є теплові реле КК1 і КК2, що включаються до двох фаз електродвигуна. Блок-контакти цих реле включаються до кола живлення котушки КМ магнітного пускача. КП – контакти, що йдуть у коло сигналізації й вказують на те, що компресор під напругою, у робочому стані. Для захисту від короткого замикання є запобіжники. Примусова зупинка виконується кнопкою СТОП. SS –select switch, перемикач, що дозволяє обрати режим роботи компресора: ручний або у автоматичний, керуючись замиканням контактів КРК (контакти реле контролера), активованих відповідною програмою ПЛК.

На рис.6 зображено схему управління клапанами та індикації (ламп) стану роботи певних підсистем.

A1-A5 – автомати захисту кожного з клапанів та окремо А6 для всієї системи індикації.

КК03-КК07 – вихідні контакти (output) ПЛК, що забезпечують відкриття та закриття клапанів, відповідно зі схемою розробленою на контролері.

КК08, КК09, ККЕ01-ККЕ04 – вихідні контакти (output) ПЛК, що забезпечують систему індикації та вказують на стан роботи компресору.

КП – ряд контактів, що вмикають електромагнітні клапани ЕМК1- ЕМК5, та лампу Л1, під час роботи системи у ручному режимі. За потреби залишити відкритим електромагнітний клапан виходу повітря з балону, натискається кнопка ПУСК, спрацьовує контактор КБ та замикається його контакт, який відкриває клапан ЕМК1 й залишається у такому стані до поки коло не буде розірвано кнопкою STOP.

При реалізації системи управління компресором на базі контролера AL2-14MR-D були використані наступні порти введення (INPUT)/виведення (OUTPUT).

INPUT: 1 - живлення контролера; 2 - датчик температури компресора; 3 - датчик тиску мастила; 4 - датчик тиску повітря у балоні; 5 - датчик рівня води у баку; 6 - датчик тиску води після насосу ; 7 - кнопка скидання таймера (reset), на випадок, якщо компресор працює більше 15 хвилин без зупинки, а тиск у балоні не досяг відповідного рівня (30 бар) за цей час, та скидання таймера, якщо через 12 секунд після запуску компресора не з'явився тиск мастила.

OUTPUT: 1 - вмикання насосу води (замикання котушки контактора); 2 - вмикання компресору (замикання котушки контактора); 3 - замикання котушки клапана 1.1 (відкриття клапану) для системи охолодження за допомогою насосу (на вході насоса); 4 - замикання котушки клапана 3 (відкриття клапану) для системи охолодження за допомогою насосу, або тиску у баку під тиском самої води та сили тяжіння (на вході в компресор); 5 - замикання ко-

тушки клапана 7 (відкриття клапану) для системи охолодження за допомогою насосу, або тиску у баку під тиском самої води та сили тяжіння (на виході з компресора); 6 - замикання котушки клапана 9 (відкриття клапану), для потрапляння повітря з компресора у балон; 7 - замикання котушки клапана 12 (відкриття клапану), на вихід повітря з балону; 8 - сигналізація високої температури компресора; 9 - сигналізація недостатній/відсутній рівень води у баку; 10 - сигналізація низький тиск мастила; 11 - сигналізація занижений тиск повітря у балоні або наявний витік повітря у системі; 12 - сигналізація низький/відсутній тиск води після насосу; 13 - індикація, що компресор знаходиться у роботі.

Блок-схема системи управління компресором забезпечує реалізацію наступного алгоритму (рис.7).

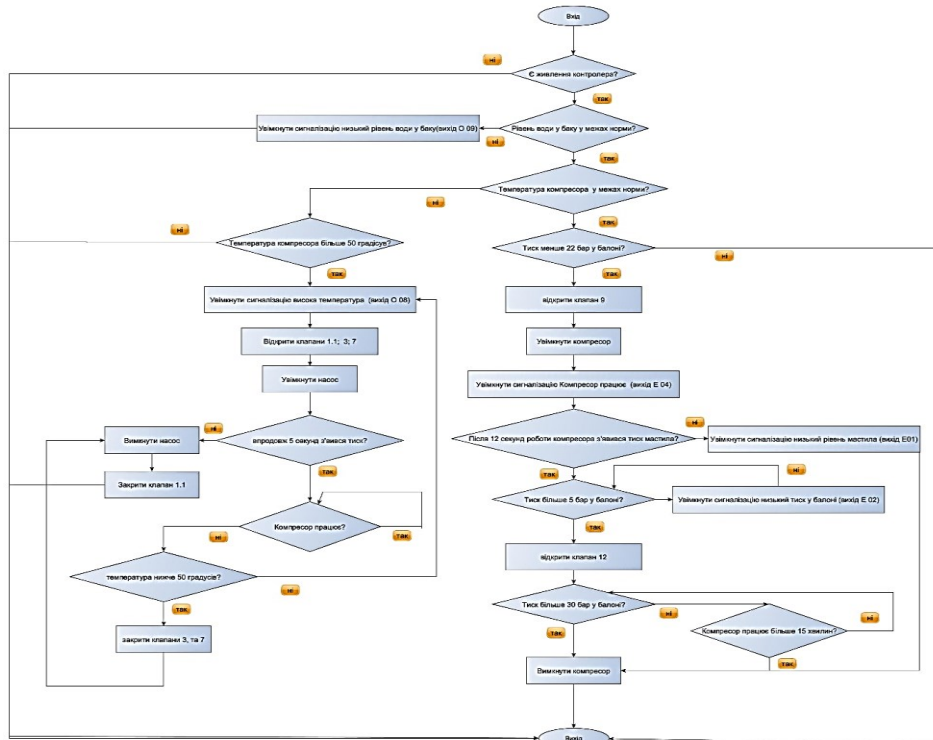


Рисунок 7 – Блок схема системи управління компресором

Програма автоматичного управління компресором у середовищі AL-PCS/WIN-E контролера AL2-14MR-D наведена на рис. 8, мова програмування FBD (Function Block Diagram).

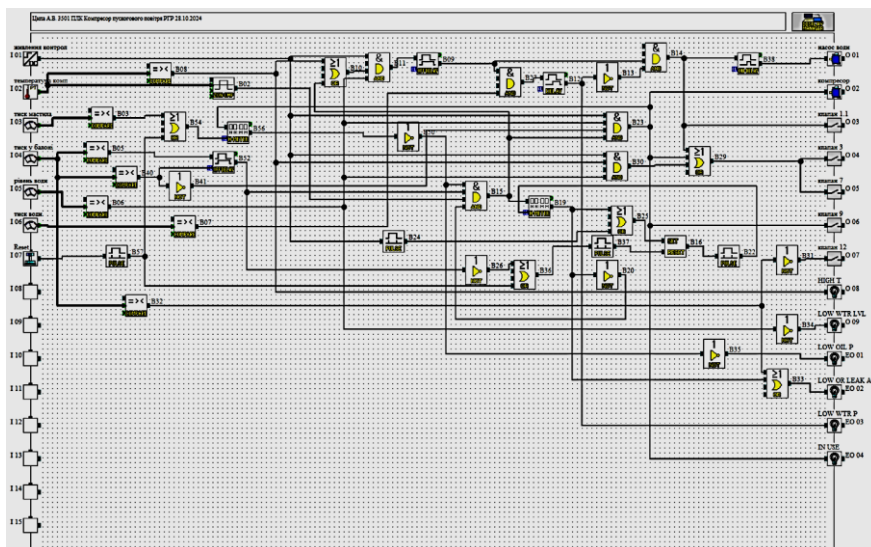


Рисунок 8 – Програма автоматичного управління компресором

**Висновок.** Реалізація системи автоматичного управління компресором пускового повітря з використанням контролера AL2-14MR-D забезпечує численні переваги з точки зору гнучкості, налаштування та ефективного управління об'єктом керування. Використання спеціального програмного забезпечення компанії Mitsubishi Electric в процесі побудови системи управління дозволяє уникнути багатьох помилок магістрів на етапі проектування, а можливість роботи магістрів безпосередньо з реальним обладнанням забезпечує отримання ними необхідних практичних навичок при роботі з сучасними системами автоматиками.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. PLC-based ship's electromechanical systems laboratory / M. Mukha, A. Drankova, V. Bousher, A. Shestaka // Proceedings of the 13-th International Conference on the Engine Room Simulators, September, 20-21. – Odessa, Ukraine: National University "Odessa Maritime Academy", 2017. – pp. 183-190.
2. Mykola Mukha, Alla Drankova "About Practical Preparation of Marine Engineers on the Electromechanical Systems Laboratory "Computational problems of electrical engineering", Vol. 8, No.2, 2018, pp. 66 -72.
3. Alla Drankova, Mykola Mukha, Sergiy Mikhaykov, Igor Krasovskyi / Electromechanical Laboratory Complex for Power Quality Studies of the Ship Electrical System // Conference: 2019 IEEE 20th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE). September 2019.
4. Муха М.Й. Реалізація модуля керування навантаження на базі ПЛК для частотно-регульованого електропривода / М.Й. Муха, А.О. Дранкова, І.І. Красовський, С.С. Міхайков // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.127-131.
5. Mitsubishi Electric.  $\alpha 2$  A simple application controller. Hardware manual. – Mitsubishi Electric Corporation: Main office, Himeji Works Tokyo Building, 2-7-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8310, Japan 840 Chiyoda Cho, Himeji, Japan, 2008. – 131 с.
6. Mitsubishi Electric.  $\alpha 2$  A simple application controller. Software manual. – Mitsubishi Electric Corporation: Main office, Himeji Works Tokyo Building, 2-7-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8310, Japan 840 Chiyoda Cho, Himeji, Japan, 2003. – 188 с.
7. Mitsubishi Electric. MELSEC FX. Programmable controllers. A guide for a beginner programmer. FX1S, FX1N, FX2N, FX2NC, FX3G, FX3U, FX3UC. – Mitsubishi Electric Corporation: Main office, Himeji Works Tokyo Building, 2-7-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8310, Japan 840 Chiyoda Cho, Himeji, Japan, 2010. – 116 с.
8. Mitsubishi Electric. MELSEC FX3U. Programmable logic controllers. Operating manual. Description of the hardware. – Mitsubishi Electric Corporation: Main office, Himeji Works Tokyo Building, 2-7-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8310, Japan 840 Chiyoda Cho, Himeji, Japan, 2008. – 256 с.
9. Дранкова А.О. Програмовані логічні контролери [Текст]: Методичні вказівки та завдання для виконання розрахунково-графічної роботи / Сост. Дранкова А.О., Муха М.Й. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – 13 с. (електронний варіант)

УДК 681.586.5

### ПІДВИЩЕННЯ ВІРОГІДНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ У ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Д.Д. Дулгеров**, здобувач вищої освіти бакалаврського рівня

**А.К. Сандлер**, к.т.н., доцент

Національний університет "Одеська морська академія"

**Анотація.** *Забезпечення безпечної експлуатації є основним завданням при проектуванні й створенні суднових гідравлічних систем, від якого надалі залежить увесь виробничий цикл виробництва, пов'язаний з їхнім застосуванням. Сучасні конструкції досить досконалі й мають достатній запас механічної міцності в процесі експлуатації. Однак аналіз аварійності показує, що руйнування елементів гідравлічних систем, як і раніше, є основною проблемою протягом багатьох років. Тому*



встає питання про впровадження інноваційних інженерно-технічних рішень, що дозволяють забезпечити додаткову вірогідність вимірювань тиску технічних речовин у трубопроводах та пристроях.

**Ключові слова:** гідравлічні системи, світловод, волоконні датчики.

## INCREASING THE PROBABILITY OF PRESSURE MEASUREMENT IN HYDRAULIC SYSTEMS ON BASICS OF FIBER-OPTIC TECHNOLOGIES

**D.D. Dulgerov**, graduate of higher education at the bachelor's level

**A.K. Sandler**, Ph.D., Assistant Professor

National University "Odessa Maritime Academy"

**Abstract.** Ensuring safe operation is the main task in the design and creation of ship hydraulic systems, on which the entire production cycle of production related to their application depends in the future. Modern designs are quite perfect and have a sufficient supply of mechanical strength during operation. However, the accident analysis shows that the destruction of the elements of hydraulic systems, as before, is the main problem for many years. Therefore, the question arises about the introduction of innovative engineering and technical solutions that allow to ensure additional reliability of pressure measurements of technical substances in pipelines and devices.

**Keywords:** hydraulic systems, optical fiber, fiber sensors.

Тиск є одним з найважливіших параметрів, контрольованих у технологічних процесах практично всіх елементів суднової енергетичної установки, і насамперед гідравлічних силових систем. У всіх цих випадках вимірювання тиску з більш високою точністю підвищує вірогідність результатів виміру. Потреба в приладах виміру тиску постійно наростає й одночасно вимагає розвитку їх функціональних можливостей, насамперед вбудованих засобів передачі даних – аналогових і цифрових інтерфейсів для роботи в системах, а також підвищення точності. Це досягається застосуванням нових конструкцій вимірювальних перетворювачів, схемотехнічних рішень, а також засобів сучасної цифрової електроніки й алгоритмічних методів корекції погрешностей. Питання підвищення точності вимірювань, підвищення довгочасної стабільності метрологічних характеристик, розширення функціональних можливостей перетворювачів і зниження собівартості є закономірними у постійному еволюційному процесі розвитку й удосконалювання засобів вимірювання тиску.

Аналіз стану проблеми дозволив сформулювати основну мету роботи - дослідження й розробка високоточних вимірювальних перетворювачів тиску (ВПТ).

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані й вирішені наступні завдання:

1. Проведення аналізу існуючих приладів для виміру тиску й огляду перспективних технічних рішень у цій області.

2. Створення нових конструкцій ВПТ, що відрізняються підвищеною стабільністю, високою швидкістю, поліпшеними вагогабаритними параметрами, можливістю масового виробництва, прийнятною вартістю.

3. Дослідження й розробка схемотехнічних і алгоритмічних методів зменшення погрешностей ВПТ, що дозволяють кардинально зменшити основну й додаткові погрешності сенсора, що й дозволяє створити високоточні вимірювальні пристрої.

Метою дослідження визначено зниження непродуктивних втрат та аварійності, забезпечення високої ефективності використання суднових газотурбінних установок, що досягається впровадженням сучасних засобів вимірювання тиску, які забезпечують підвищення вірогідності процесів моніторингу за рахунок використання принципів часткової інваріантності до зовнішніх дестабілізуючих факторів (ДФ) на вимірювання.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні завдання.

1. Визначення завадостійких до впливу експлуатаційних ДФ ВПТ з подальшою оцінкою можливостей корекції вимірювальних погрешностей.

2. Створення математичної моделі оцінювання впливу зміни параметрів на метрологічні характеристики завадостійких та безпечних волоконно-оптичних засобів вимірювання тиску.

Як об'єкт дослідження визначені процеси формування й перетворення інформаційного сигналу у волоконно-оптичному засобі вимірювання тиску у складних умовах експлуатації.

Відповідно, предметом дослідження є волоконно-оптичні засоби моніторингу, що функціонують у складних умовах експлуатації.

Теоретична частина роботи виконана з використанням: а) системного аналізу й дослідження операцій – при визначенні структурних зв'язків між елементами вимірювального засобу діагностики й декомпозиції об'єкта дослідження; б) теорії оптичних хвилеводів – при розрахунках втрат оптичного випромінювання при зв'язку ділянок оптичного волокна (ОВ); в) методів аналітичного дослідження процесів взаємодії полів хвилеводних елементів – при дослідженні процесів перетворення світлового випромінювання у оптичному чутливому елементі (ЧЕ) під впливом деформацій.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному.

1. Вперше запропоновані теоретичні основи побудови засобу вимірювання тиску, який, за рахунок обґрунтування і визначення конструкції та застосування матеріалів з особливими властивостями, відрізняється частковою інваріантністю до зовнішніх ДФ, що дозволяє здійснювати безперервний моніторинг тиску, підвищити якість та безпечність експлуатації гідравлічних систем.

2. Отримав подальший розвиток метод синтезу волоконно-оптичного засобу вимірювання тиску, який відрізняється від відомих схемотехнічних рішень оптимізацією сполучення конструктивних параметрів і комбінацією матеріалів, що дозволяє практично здійснювати запропонований спосіб одержання інформації про тиск речовини у гідравлічних системах.

3. Отримала подальшого розвитку математична модель волоконно-оптичного вимірювача тиску, яка відрізняється застосуванням модифікованої теорії зв'язаних мод, що дозволяє визначати та корегувати параметри засобу моніторингу за рахунок обліку властивостей реальних матеріалів, технології виробництва та особливостей експлуатації.

У цей час в умовах підвищення обсягів перекачування досить актуальним стає забезпечення ефективного експлуатаційного контролю й керування параметрами режимів суднових трубопроводів, при тисках нижче проектних. Проблема набуває особливого значення для ділянок трубопроводу, де виникають умови для прояву ефектів багатофазності, що транспортується середовища й сприятливого існування експлуатаційних ускладнень.

Більшість публікацій, присвячених трубопроводному транспорту багатофазних вуглеводнів, присвячена питанням транспорту двофазних вуглеводневих систем. Так у роботах [3, 4, 13], серед інших можливих варіантів транспортування багатофазних вуглеводневих середовищ, особлива увага приділяється режимам плинугазонасичених і газорідних сумішей з виділенням у структурі потоку газової й рідкої фаз.

Відомо, що при даних конкретних умовах експлуатації трубопроводів вуглеводневі середовища можуть перебувати в рідкому, газоподібному або у двофазному газорідному стані. Для вуглеводнів, узятих у чистому виді, граничним тиском між газоподібним і рідким станами при даній температурі є тиск їх пружності пар. При тиску пружності пар відбувається повний перехід розглянутого вуглеводню з однієї фази в іншу [4, 5].

Характерною рисою режимів плинугазонасичених двофазних вуглеводневих середовищ є пульсація тиску, наприклад у випадку транспорту газорідних сумішей. Пульсація тиску в трубопроводі приводить до порушення нормального режиму роботи перекачувального встаткування, контрольно-вимірювальних приладів тощо [5].

При перекачуванні багатофазних сумішей типу газ-нафта-вода, що полягає із двох взаємно нерозчинних рідких фаз - нафти й води, також виникають труднощі через утворення емуль-

сій у процесі їх руху по трубах. Крім того, у реальних умовах експлуатації трубопроводів, прокладених по пересіченій місцевості, на газорідний потік разом із силами тертя діють сили гравітації. У результаті чого, рідка фаза акумулюється на висхідних ділянках, а газова - на спадних ділянках траси трубопроводу. Так, наприклад, у процесі експлуатації трубопроводних систем виникають ускладнення, пов'язані зі зменшенням прохідного перетину або повною закупоркою труб, викликаних утвором стійких газових пробок і скупчень рідини (води або конденсату).

У нафтопродуктах, що перекачуються по суднових нафтопроводах, майже завжди втримуються розчинені нафтові гази, які можуть акумулюватися в локальні скупчення газу, що виділяється з рідини при зниженні тиску. Крім цього в нафтопроводах можливий утвір водяних пробок пов'язаних з перекачуванням обводнених нафтопродуктів. Скупчення води й газу зменшують робочий перетин труб, збільшують їхній гідравлічний опір [6].

При експлуатації трубопроводів наявність вологи в продукті, що транспортується, також ускладнює нормальний режим їх роботи, крім того, що збільшує сірководневу корозію вона ще й викликає різні експлуатаційні ускладнення. Пари води здатні конденсуватися, порушуючи нормальний рух газу по газопроводу. На горизонтальних і спадних ділянках траси рідина рухається у вигляді плівки по стінках труби. Наявність рідкої плівки значно збільшує гідравлічні опори газового потоку. Найбільша кількість рідини накопичується на висхідних ділянках газопроводу, утворюючи гідравлічний затвор, частково або, що повністю перекриває перетин труби. Крім цього присутність у трубопроводі гидратоутворювача й вільної води при відповідних температурі й тиску сприяє утвору гидратів [9].

Зазначені причини приводять до підвищення гідравлічного опору й гідростатичного перепаду тиску [4].

Таким чином, очевидно, що існування експлуатаційних ускладнень у роботі трубопроводів впливає на їхні гідродинамічні режими, що особливо актуально в сучасних умовах експлуатації об'єктів трубопроводного транспорту, при тисках нижче проектних. Тому з метою зниження енергетичних витрат на транспорт вуглеводнів необхідно здійснювати ефективний експлуатаційний контроль і керування режимами перекачування, особливо на ділянках трубопроводу, де виникають умови для прояву ефектів багатозначності, що транспортується середовища й сприятливого існування експлуатаційних ускладнень.

Тензометричний ВПТ. У цей час основна маса датчиків тиску випускаються на основі чутливих елементів (рис. 1), принципом яких є вимір деформації тензорезисторів, сформованих в епітаксильній плівці кремнію на підложці із сапфіру (КНС), припаяної твердим припоєм до титанової мембрани. Іноді замість кремнієвих тензорезисторів використовують металеві: мідні, нікелеві, залізні й ін.

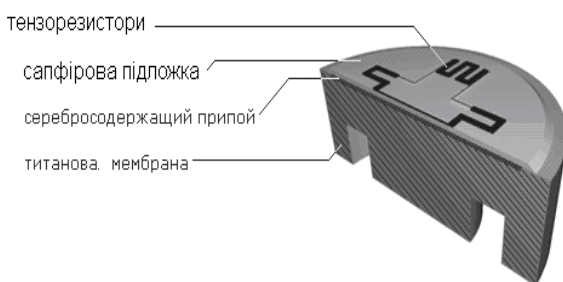


Рисунок 1 – Спрощений вид тензорезистивного чутливого елемента

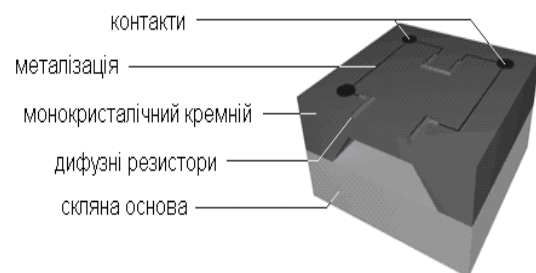


Рисунок 2 – Кремнієвий інтегральний перетворювач тиску

Принцип дії тензоперетворювачів заснований на явищі тензоефекту в матеріалах. Чутливим елементом служить мембрана з тензорезисторами, з'єднаними в мостову схему. Під дією тиску вимірюваного середовища мембрана прогинається, тензорезистори міняють свій опір, що приводить до розбалансу моста Уитстона. Розбаланс лінійно залежить від ступеня деформації резисторів і, отже, від прикладеного тиску.

Слід зазначити принципове обмеження КНС перетворювача – непереборну тимчасову нестабільність градуировочної характеристики й істотні гістерезисні ефекти від тиску й температури. Це обумовлене неоднорідністю конструкції й твердим зв'язком мембрани з конструктивними елементами датчика. Тому, вибираючи перетворювач на основі КНС, необхідно звернути увагу на величину основної погрішності з урахуванням гістерезису й величину додаткової погрішності.

До переваг можна віднести добру захищеність чутливого елемента від впливу будь-якого агресивного середовища, налагоджене серійне виробництво, низьку вартість.

П'єзорезистивний ВПТ. Практично всі виробники датчиків виявляють живу цікавість до використання інтегральних чутливих елементів на основі монокристалічного кремнію. Це обумовлене тим, що кремнієві перетворювачі мають на порядок більшу тимчасову й температурну стабільність в порівнянні із приладами на основі КНС - структур.

У більшості п'єзоелектричних датчиків вимір тиску заснований на п'єзоелектричному ефекті, який виявляється в деяких матеріалів із кристалічною структурою. Типовим прикладом їх може служити кварц, елемент кристалічних ґрат якого являє собою правильний шестикутник з по черзі розташованими по кутах іонами кремнію й кисню, що мають відповідно чотири позитивні й чотири негативні елементарні заряди. Цей елемент кристалічних ґрат, так само як і кристал у цілому, має три осі, звичайно називані електричними осями. Площини перетину кристала, перпендикулярні цим осям, при деформаціях кристала електрично заряджаються. Внаслідок симетричного розташування зарядів і, отже, їхньої взаємної компенсації при відсутності механічного навантаження електричний заряд, що є результатом, стає рівним нулю. Кристал кварцу має також три нейтральні осі, які розташовано під кутом  $90^\circ$  до відповідних до електричних осей. Є також оптична вісь, перпендикулярна до площини електричних осей.

Область робочих частот датчика обмежена також і зверху через наявність резонансних власних частот кристала перетворювача й мембрани, що сприймає тиск. Звичайно верхня гранична частота становить десятки кілогерців і також не вносить значних динамічних помилок у результати виміру тиску.

При використанні п'єзокристалів для виміру тиску слід урахувувати те що, сполучний кабель також має обмежену термостійкість. В області температур  $293 \dots 473$  К температурна погрішність становить приблизно  $0,017 \% / \text{K}$  [10]. Для виключення впливу температури звичайно використовують рідинне охолодження, яке не дозволяє перетворювачу нагріватися, і в той же час служить для передачі тиску від середовища до датчика.

Кремнієвий інтегральний перетворювач тиску (рис. 2) являє собою мембрану з монокристалічного кремнію з дифузійними п'єзорезисторами, підключеними в міст Вінстона. Чутливим елементом служить кристал ВПТ, установлений на діелектричну основу з використанням легкоплавкого скла або методом анодного зрощування.

Для виміру тиску чистих неагресивних середовищ застосовуються, так звані, *Low cost* – розв'язки (рис. 3), засновані на використанні чутливих елементів або без захисту, або із захистом силіконовим гелем.

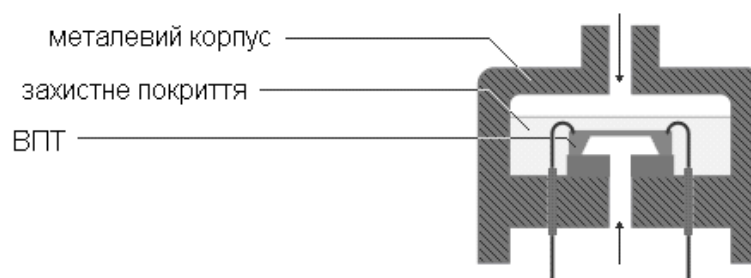


Рисунок 3 – П'єзорезистивні чутливі елементи з використанням захисного покриття

Для виміру агресивних середовищ і більшості промислових застосувань застосовується перетворювач тиску в герметичному металоскляному корпусі, з діафрагмою з нержавіючої сталі, що передає тиск вимірюваного середовища на ВПТ за допомогою кремнійорганічної рідини (рис. 4).

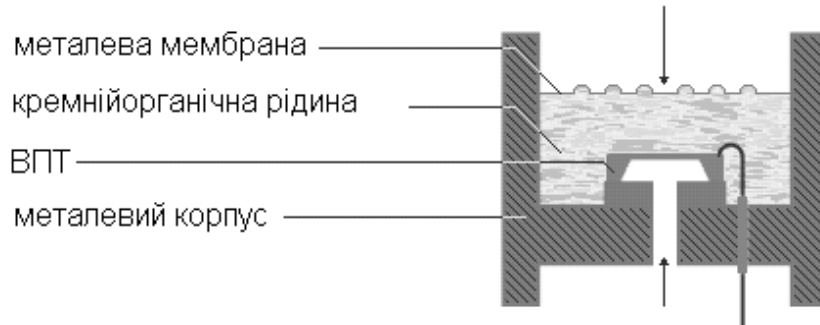


Рисунок 4 – Перетворювач тиску, захищений від вимірюваного середовища

Основною перевагою п'єзорезистивних датчиків є більш висока стабільність характеристик, у порівнянні із КНС– перетворювачами. ВПТ на основі монокристалічного кремнію стійкі до впливу ударних і знакозмінних навантажень. Якщо не відбувається механічного руйнування чутливого елемента, то після зняття навантаження він вертається до первісного стану, що пояснюється використанням ідеально-пружного матеріалу.

*Ємнісні ВПТ.* Ємнісні перетворювачі використовують метод зміни ємності конденсатора при зміні відстані між обкладками. Відомі керамічні або кремнієві ємнісні первинні перетворювачі тиску й перетворювачі, виконані з використанням пружної металевої мембрани. При зміні тиску мембрана з електродом деформується й відбувається зміна ємності.

В елементі з кераміки або кремнію, простір між обкладками звичайно заповнене мастилом або іншою органічною рідиною (рис. 5).

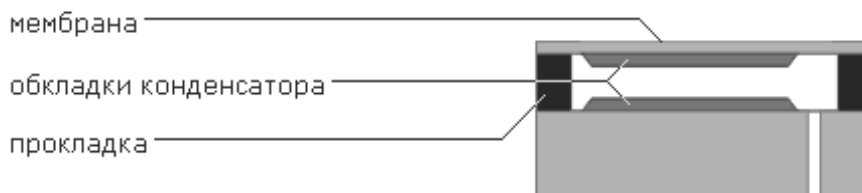


Рисунок 5 – Ємнісної перетворювач тиску.

У даному варіанті роль рухливої обкладки конденсатора виконує металева діафрагма

Гідністю чутливого ємнісного елемента є простота конструкції, висока точність і тимчасова стабільність, можливість вимірювати низькі тиски й слабкий вакуум.

До недоліку можна віднести нелінійну залежність ємності від прикладеного тиску.

*Резонансний ВПТ.* Резонансний принцип використовується в датчиках тиску на основі вібруючого циліндра, струнних датчиках, кварцових датчиках, резонансних датчиках на кремнії. В основі методу лежать хвильові процеси: акустичні або електромагнітні. Це й пояснює високу стабільність датчиків і високі вихідні характеристики приладу.

Частним прикладом може служити кварцовий резонатор (рис. 6). При прогині мембрани, відбувається деформація кристала кварцу, підключеного в електричну схему і його поляризація. У результаті зміни тиску частота коливань кристала міняється. Підібравши параметри резонансного контуру, змінюючи ємність конденсатора або індуктивність котушки, можна добитися того, що опір кварцу падає до нуля – частоти коливань електричного сигналу й кристала збігаються – настає резонанс.

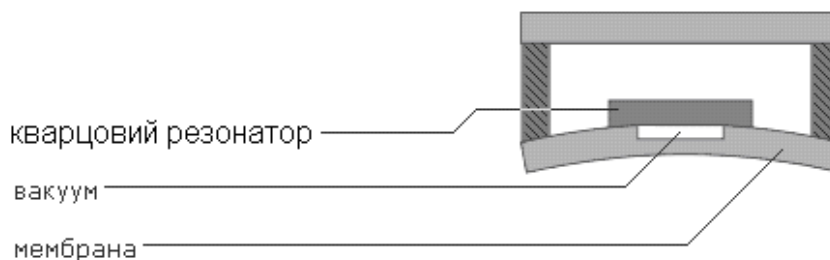


Рисунок 6 – Спрощений вигляд резонансного чутливого елемента, виконаного на кварці

Перевагою резонансних датчиків є висока точність і стабільність характеристик, яка залежить від якості використовуваного матеріалу.

До недоліків можна віднести індивідуальну характеристику перетворення тиску, значний час відгуку, неможливість проводити виміру в агресивних середовищах без втрати точності показань приладу.

*Магнітострикційні ВПТ.* Вимірювати тиск можна також за допомогою магнітострикційного датчика. У цьому випадку використовується спостережуваний у феромагнітних матеріалів зв'язок між механічним стиском (розтяганням) і напруженістю або індукцією магнітного поля. Такий взаємозв'язок особливо помітний у сплаву заліза з нікелем (нікелю 50 ... 80%) і в заліза, легованого 2 ... 4 % кремнію.

У датчику тиску на протилежній від середовища, що впливає, стороні мембрани наклеєно чотири напівпровідникові тензометри, розташовані таким чином, що два з них сприймають позитивні деформації, а два інших - негативні. Ці тензометри повинні мати близькі значення Д-фактора й однакові температурні залежності, інакше з'являється дрейф нуля й температура впливає на коефіцієнт перетворення. У всіх випадках необхідна ефективна теплоізоляція напівпровідникових перетворювачів.

Проблема нагрівання тензометрів може бути вирішена при використанні мембрани з напівпровідниковими тензометрами, виконаними як одне ціле з нею. У цьому випадку, на мембрану із кремнію з *n*-переходом наносять шляхом дифузії сітку резисторів із кремнію з *p*-переходом. Якщо для виміру тиску, крім змін опору напівпровідникового тензометра, використовують його п'єзоелектричні властивості, то такий пристрій називається п'єзорезистивним датчиком тиску. Край мембрани герметично з'єднується із другою кремнієвою мембраною, так що утворюється барометрична капсула.

У лабораторних умовах вірогідні результати отримані при включенні між соплом і трубопроводом спеціального розподільника тисків. Датчик тиску вводиться в арматури й накидною гайкою з'єднується з розподільником так, що чутливий елемент датчика виявляється з'єднаним із трубопроводом через короткий перехідний отвір. При відсутності датчика арматури заглушається різьбовою пробкою.

У якості чутливого елемента для датчика тиску може застосовуватися пружна трубка із хромонікелевої сталі, деформація стінок якої, що залежить від тиску, перетворюється в електричний сигнал напівпровідниковими перетворювачами. При цьому може виявитися шкідливим повітря, що потрапило усередину трубки. Вихід з положення полягає в ретельнім заповненні трубки нестисливим силіконом, який має постійну в'язкість у діапазоні робочих температур. Кардинально проблема вирішується при виконанні датчика у вигляді патрубку, включеного безпосередньо в трубопровід. Однак такий датчик, отвір трубки якого вибирається залежно від внутрішнього діаметра трубопроводу, менш зручний.

Головним недоліком виміру тиску упорскування: за допомогою датчиків, які повинні підключатися до трубопроводу або вводиться в нього, є необхідність конструктивних змін у системі.

Вимірювати тиск без цих змін стає можливим, якщо в якості чутливого елемента використовується сам трубопровід.

Технічно зручний варіант визначення тиску за допомогою виміру деформацій трубопроводу полягає в тому, що ці деформації переводяться спочатку на так званий проміжний елемент (рис. 7).

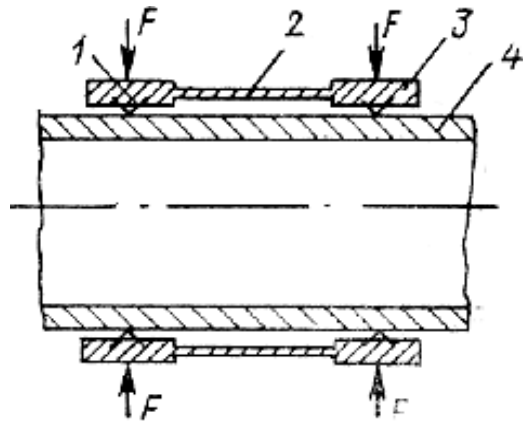


Рисунок 7 – Датчик тиску

Для цього на трубопроводі зміцнюються на відстані декількох сантиметрів друг від друга два вимірювальні "ножі", притиснутих до трубопроводу скобами. До скоб пригвинчується проміжний елемент, що полягає із двох частин, розташованих діаметрально-протилежно щодо трубопроводу. Якщо, зміну форми проміжного елемента треба виявити за допомогою магніостриктора, то застосовують матеріал із кращими магнітопружними властивостями. Можна застосовувати також проміжний елемент із напівпровідниковими перетворювачами. При цьому погрішність, викликана коливаннями трубопроводу, частково компенсується за рахунок діаметрального розташування обох половин проміжного елемента, якщо сигнали перетворювачів включені адитивно. Однак така, компенсація не може забезпечити досить високу точність вимірів. Якщо в якості чутливого елемента для виміру тиску використовується безпосередньо сам трубопровід, необхідно зробити калібрування до його установки.

Сучасні волоконно-оптичні датчики дозволяють вимірювати багато фізичних параметрів, наприклад: тиск, температуру, відстань, положення в просторі, швидкість обертання, швидкість лінійного переміщення, прискорення, коливання, масу, звукові хвилі, рівень рідини, деформацію, коефіцієнт переломлення, електричне поле, електричний струм, магнітне поле, концентрацію газу, дозу радіаційного випромінювання.

Якщо класифікувати волоконно-оптичні датчики з погляду застосування в них оптичного волокна, то їх можна грубо розділити на датчики, у яких оптичне волокно використовується як лінія передачі, і датчики, у яких воно використовується в якості чутливого елемента. Основними елементами волоконно-оптичного датчика є оптичний чутливий елемент волокна, світловипромінюючі та світлоприймальні пристрої, та оптичні лінії зв'язку. Крім того, спеціальні лінії необхідні для зв'язку між цими елементами або для формування вимірювальної системи з датчиком. Далі, для практичного впровадження волоконно-оптичних датчиків необхідні елементи системної техніки, які в сукупності з вищевказаними елементами й лінією зв'язку утворюють вимірювальну систему.

В Україні ведуться роботи з удосконалювання й створенню різних волоконно-оптичних пристроїв, систем, їх компонентів і технології виготовлення самих оптичних волокон [2]. Досить відпрацьовані й уже широко використовуються волоконно-оптичні телекомунікаційні системи. Ведуться інтенсивні розробки в області створення внутрішньооб'єктових волоконно-оптичних інформаційно-вимірювальних систем (ВОІВС), що забезпечують більш ефективну передачу інформації про стан об'єкта в порівнянні із традиційними системами збору й перетворення інформації в умовах впливу сильних електромагнітних перешкод і підвищеної вибухонебезпечності.

Відсутність широкої номенклатури волоконно-оптичних ВПТ і недостатні темпи в області їх розробки в найближчі роки стануть стримуючим фактором створення й впровадження ВОІВС. Тому існує настійна потреба в найшвидшому створенні ВПТ різних типів, придатних для промислового освоєння, що й сполучаються як із традиційними, так і знову розроблювальними ВОІВС систем контролю, керування, діагностики, аварійного захисту для різних об'єктів.

У той час, використання традиційних електричних ВПТ у складі захищених ВОІВС вимагає підведення до них енергії живлення по додатковій електричній провідній лінії, а також наявності перетворювача неоптичного інформаційного сигналу такого ВП в оптичний і пристроїв узгодження з волоконно-оптичним каналом. Усе це з урахуванням погрешностей самих електричних ВП знижує рівень перешкодозахищеності й точність ВОІВС, підвищує їхні розміри й масу. Тому для волоконно-оптичних ВОІВС переважно використовувати ВП, що використовують у своїй роботі сигнали тієї ж фізичної природи, що й у волоконному світловоді.

Використання взаємодії зовнішнього середовища з оптичним випромінюванням у процесі реєстрації змін її параметрів відкриває можливість створення перетворювачів ряду фізичних впливів, вимір яких традиційними методами виявляється досить складним. Пошук єдиної базової схеми, що є загальною для перетворювачів різних фізичних впливів, пов'язаний з розробкою нового підкласу волоконно-оптичних перетворювачів. Для визначення оптимального схемотехнічного рішення були проаналізовані класичні схеми вимірювачів тиску.

Відомий оптичний датчик тиску амплітудного типу, до складу якого входять призма, мембрана з силіконового матеріалу та волоконні світловоди [3].

Недоліки пристрою, які обумовлені модуляцією світлового випромінювання при застосуванні матеріалу на основі силікону:

- неможливість вимірювання тиску в системах паливо- та мастилопостачання;
- необхідність порушення геометрії трубопроводів середнього та високого тиску для вбудови датчику;
- наявність елементів, виконаних з матеріалів з коефіцієнтами теплового поширення, що відрізняються один від одного;
- залежність пружності силіконової мембрани від температури середовища, чий тиск вимірюється.

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до винаходу, що пропонується, є поляризаційний оптичний датчик тиску, який містить металеву циліндричну основу та відрізок волоконного світловода, намотаний на основу у вигляді багатовиткової котушки [4 -7].

Недоліки пристрою, які обумовлені виконанням сенсорного елемента у вигляді котушки:

- наявність температурної залежності геометричних параметрів світловодної котушки, що приводить до перекручування результатів вимірювання;
- необхідність обробки контактної поверхні основи з надзвичайно високою якістю для уникнення створення умов для появи паразитної модуляції;
- необхідність застосування додаткового захисного покриття датчику з зовні.

Задачею знаходження схемотехнічного рішення є створення волоконно-оптичного датчику тиску, у якому застосовані елементи, виконані з однорідних матеріалів, відсутня необхідність корегування температурних похибок порушення геометрії чутливих елементів та одночасно збережені високий рівень чутливості амплітудних та робочий діапазон поляризаційних оптичних датчик тиску.

Поставлена задача вирішується тим, що волоконно-оптичний датчик тиску, що складається з багатошарової циліндричної вставки у трубопроводі з вводом та виводом для світловодів, тороїдального сенсорного елемента з кварцового скла з нанесеним на поверхню віддзеркалюючим шаром, випромінюючого та приймаючого світловодів, який відрізняється тим, що



сенсорний елемент вбудовано у фрагмент трубопроводу без порушення геометрії його прохідного перерізу.

Суть схемотехнічного рішення пояснюється кресленням (рис. 8), де зображено циліндричну вставку 1 з вводом 2 та виводом 3 для випромінюючого 4 та приймаючого світловода 5, багат шаровий тороїдальний сенсорний елемент 6 який вкрито віддзеркалюючим шаром 7 з сапфірового скла, та вироблено з кварцового скла, яке змінює свої оптичні якості під впливом тиску, що приводить до порушення умов повного внутрішнього відбивання світла у сенсорному елементі та модуляції інтенсивності світлового потоку у ньому пропорційно величині тиску, який, після відбивання випромінювання від віддзеркалюючого шару, надходить до приймаючого світловода [10].

Трубчастий сенсорний елемент використовується при роботі у середовищах середньої й високої в'язкості. Тому що трубчастий пристрій повністю інтегрується в трубопроводі, при вимірах не утворюються турбуленції, кути, мертві простори та інші перешкоди в напрямку протікання. Вимірюване середовище протікає без перешкод і сприяє самостійному очищенню вимірювальної камери. Трубчастий пристрій передачі тиску встановлюється безпосередньо у трубопроводі між двома фланцями. Таким чином, відпадає необхідність підготовки спеціальних місць з'єднання для проведення вимірів, не порушується геометрія потоку, а також не порушується цілісність трубопроводу.

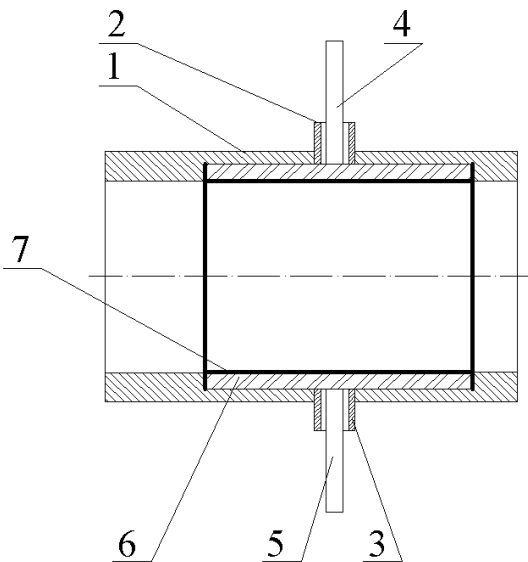


Рисунок 8 – Волоконно-оптичний датчик тиску (розріз у діаметральній площині): 1 - циліндрична вставка, 2 - ввід, 3 - вивід; 4 - випромінюючий світловод; 5 - приймаючий світловод, 6 - сенсорний елемент, 7 – віддзеркалюючий шар.

Порушення умов повного внутрішнього відбивання світла, яке виникає як відклик на зміни показника переломлення сенсорного світловоду. Порушення умов повного відбивання світла у сенсорному елементі знаходить своє відображення у зміні величини інтенсивності світлового випромінювання.

Для здійснення винаходу застосовано складний світловод, у якому роль керованого світловода виконує тороїдальний сенсорний елемент. Під впливом тиску змінюється показник переломлення сенсорного елемента, що в свою чергу викликає порушення умов зв'язку випромінюючого та приймаючого світловодів. Таким чином, сенсорний елемент буде застосовуватися у якості оптичного затвору, чия пропускна спроможність буде пропорційна величині тиску, тобто співвідношення інтенсивностей випромінювання, що надійшло до сенсорного елемента і того, що надійшло до приймаючого світловода, буде також пропорційна величині вимірювального тиску.

З рис. 8 видно, що трубчастий сенсорний елемент є механічним аналогом коаксіального трубчастого світловода. У коаксіальному світловоді, умови зв'язку між якими залежать від показників переломлення й геометричних параметрів цієї багат шарової структури.

Базова оптична схема з керованим зв'язком хвилеводів забезпечує вимір змін параметрів шарів світловода. Для додання їй тієї або іншої функціональної спрямованості використана схема приведення, що забезпечує перетворення зовнішнього впливу  $f_{om}$  за допомогою відповідних ефектів у зміну показників переломлення й геометричних розмірів шарів. Варіації цих параметрів приводять до зміни умов зв'язку в керованому світловоді. Така конструк-

Номинальні діаметри різних розмірів забезпечують припасування до відповідного до поперечного перетину труби.

При появі зміни величини тиску відбувається порушення умов повного внутрішнього відбивання світла, яке виникає як відклик на зміни показника переломлення сенсорного світловоду. Порушення умов повного відбивання світла у сенсорному елементі знаходить своє відображення у зміні величини інтенсивності світлового випромінювання.

Для здійснення винаходу застосовано складний світловод, у якому роль керованого світловода виконує тороїдальний сенсорний елемент. Під впливом тиску змінюється показник переломлення сенсорного елемента, що в свою чергу викликає порушення умов зв'язку випромінюючого та приймаючого світловодів. Таким чином, сенсорний елемент буде застосовуватися у якості оптичного затвору, чия пропускна спроможність буде пропорційна величині тиску, тобто співвідношення інтенсивностей випромінювання, що надійшло до сенсорного елемента і того, що надійшло до приймаючого світловода, буде також пропорційна величині вимірювального тиску.

ція оптичного датчика дозволяє проводити ефективне управління розподілом оптичної потужності за рахунок зміни показника переломлення зовнішн середовища, що оточує трубку.

Для математичного опису чотиришарової коаксіальної структури потрібна система з 12 диференціальних рівнянь, а у випадку п'ятишарової структури, що забезпечує можливість корекції зони ефективного зв'язку хвилеводів, - з 16. Для спрощення розрахунків трубка розглядається незалежно, а потім ураховується зовнішній вплив [1].

Наступним етапом є визначення постійної поширення для хвилі оптичного випромінювання по трубці  $\beta_T$ .

Запишемо хвильове рівняння для компонента електричного поля  $E_{zt}$ , що поширюється уздовж осі світловоду

$$\nabla^2 E_{zt} - (\mu_{\text{про}} \epsilon_0) \epsilon (\partial^2 E_{zt} / \partial t^2) = 0. \quad (1)$$

Будемо шукати розв'язок, припускаючи наявність тільки однієї гармоніки:

$$E_{zt} = E_{tA} \exp(j \omega t), \quad (2)$$

де  $E_{tA}$  - амплітуда хвилі;

Для трубки розв'язок рівняння зручніше записувати в циліндричних координатах.

$$\nabla^2 = (\partial^2 / \partial r^2) + (1/r)(\partial / \partial r) + (1/r^2)(\partial^2 / \partial \theta^2) + (\partial^2 / \partial z^2). \quad (3)$$

Для хвилі, що поширюється в напрямку  $OZ$ , усе компоненти поля повинні змінюватися пропорційно  $\exp j (\omega t - \beta_T z)$ , де постійна  $\beta_T$  характеризує швидкість поширення хвилі уздовж осі. Таким чином,

$$E_{zt} = E_z \exp j (\omega t - \beta_T z). \quad (4)$$

Отже, рівняння можна записати

$$(\partial^2 E_z / \partial r^2) + (1/r)(\partial E_z / \partial r) + (1/r^2)(\partial^2 E_z / \partial \theta^2) - \beta_T^2 E_z + \mu_{\text{про}} \epsilon_0 \epsilon \omega^2 E_z = 0. \quad (5)$$

Розв'язок рівняння (5) будемо шукати у вигляді

$$E_z = R(r)Q(\theta). \quad (6)$$

Отже,

$$\frac{r^2 \hat{R}''(r)}{\hat{R}(r)} + \frac{r \hat{R}'(r)}{\hat{R}(r)} + r^2 (\epsilon_0 \mu_0 \epsilon \omega^2 - \beta_T^2) = - \frac{Q''(\theta)}{Q(\theta)}. \quad (7)$$

Рівність лівої частини рівняння, що залежить від  $r$ , і правої, що залежить від  $\theta$ , досяжна й має фізичний сенс. Допустимо, що вони дорівнюють постійній величині  $v^2$ , де  $v$  - ціле натуральне число. У цьому випадку одержуємо два рівняння:

$$\begin{aligned} Q''(\theta) + v^2 Q(\theta) &= 0; \\ \hat{R}''(r) + \frac{1}{r} \hat{R}'(r) \left[ (\epsilon_0 \mu_0 \epsilon \omega^2 - \beta_T^2) - \frac{v^2}{r^2} \right] \hat{R}(r) &= 0. \end{aligned} \quad (8) (9)$$

Для одномодового режиму роботи трубки значення постійної поширення хвилі повинне лежати в межах

$$\max(k_0 n_2, k_0 n_4) < \beta_T < k_0 n_3. \quad (10)$$

Таким чином, розв'язок рівняння (10) залежить від того, у якій області трубки перебуває розглянута крапка, і його вид буде мінятися при переході через границю між цими областями.

В області  $n_3$ , тобто,  $\beta_T < k_0 n_3$ . Рівняння (3.10) має коріння  $J_\nu(kr)$  і  $Y_\nu(kr)$  - бесселеві функції першого й другого роду відповідно, де

$$Kr = (k_0 n^2 - \beta_T)^{1/2}. \quad (11)$$

Фізичний зміст мають обоє розв'язку, тому що в розглянутій зоні  $Y_\nu(kr)$  не прямує до нескінченності.

Отже, точний розв'язок для постійної поширення хвилі по трубі  $\beta_T$ , що визначає періодичність поля уздовж осі волокна

$$\frac{J_1(\hat{k}c) \left[ \frac{J_0(\hat{k}c)}{\hat{k}c J_1(\hat{k}c)} - \frac{K_0(\hat{\gamma}c)}{\hat{\gamma}c K_1(\hat{\gamma}c)} \right]}{Y_1(\hat{k}c) \left[ \frac{Y_0(\hat{k}c)}{\hat{k}c Y_1(\hat{k}c)} - \frac{K_0(\hat{\gamma}c)}{\hat{\gamma}c K_1(\hat{\gamma}c)} \right]} = \frac{J_1(\hat{k}b) \left[ \frac{J_0(\hat{k}b)}{\hat{k}b J_1(\hat{k}b)} + \frac{I_0(\hat{\gamma}b)}{\hat{\gamma}b I_1(\hat{\gamma}b)} \right]}{Y_1(\hat{k}b) \left[ \frac{Y_0(\hat{k}b)}{\hat{k}b Y_1(\hat{k}b)} + \frac{I_0(\hat{\gamma}b)}{\hat{\gamma}b I_1(\hat{\gamma}b)} \right]} \quad (12)$$

Чисельний розв'язок рівняння (12) щодо постійної поширення хвилі по трубі  $\beta_T$  показує, що її значення збільшується при зростанні показника переломлення матеріалу світловода. Це дозволяє робити керування значенням  $\beta_T$  за рахунок зміни зовнішніх впливів. Збільшення показника переломлення при зовнішньому впливі  $F$  волноводного шару підвищує значення  $\beta_T$ . Варіації геометричних розмірів дозволяють створювати волноводні трубки з бажаним діапазоном зміни  $\beta_T$  (рис. 9).

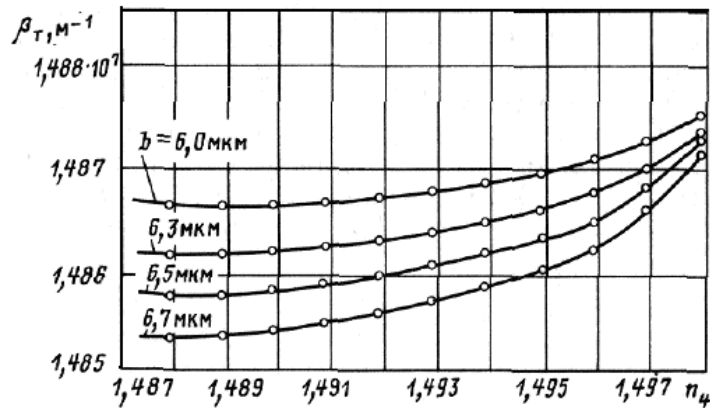


Рисунок 9 – Залежність  $\beta_T = f(F)$  при різних значеннях товщини світловода

Вираз (12) повністю збігається з аналогічним вираженням, отриманим для розв'язку завдання зв'язку стрижня й зовнішньої трубки. Виходячи з ідентичності процесів, зроблено припущення про можливість використання в подальших розрахунках виражень для визначення коефіцієнта зв'язки й потужності у хвилеводному шарі.

Потужність, передана по трубі,

$$P_m = 0,25 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} z(E_T^- \times H_T + E_T \times H_T^-) dx dy \quad (13)$$

Для випадку плоскої хвилі ( $E_y = 0, H_y = 0$ ) маємо

$$P_T = 0,25 \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} (E_{yx} H_{xT} + E_{yT} H_{Tx}) r dr d\Theta,$$

де  $E_{ym}, H_{xT}, E_T^-, H_T^-$  описуються різними вираженнями для інтервалів  $[b; c]$  і  $[c; \infty]$ . Розкривши їх значення, після перетворення одержимо

або

$$P_T = A_T^2 p_T (\epsilon_0/\mu_0)^{1/2} \pi/2, \quad (14)$$

де  $p_T$  – коефіцієнт пропорційності.

Таким чином, для початкових умов  $A_T(0) = 0$  потужність у коаксіальному сенсорному елементі буде визначатися як

$$P_T(z) = P_0 (\sin^2 [Cz (1 + ((\beta_T^* - \beta_T)/2C)^{2,5})] / (1 + ((\beta_T^* - \beta_T)/2C)^2), \quad (15)$$

де  $P_0$  – потужність випромінювання на вхідному торці коаксіального світловода;  $\beta_T^*$  – постійна поширення в необуреному хвилеводі;  $c$  – коефіцієнт зв'язку;  $z$  – довжина сенсорного елемента.

Для визначення характеру зміни постійна поширення в середовищі спеціалізованого САПР проведено моделювання навантажень на циліндричний сенсорний елемент, виконаний із кварцового скла. Результати моделювання наведені на рис. 10.

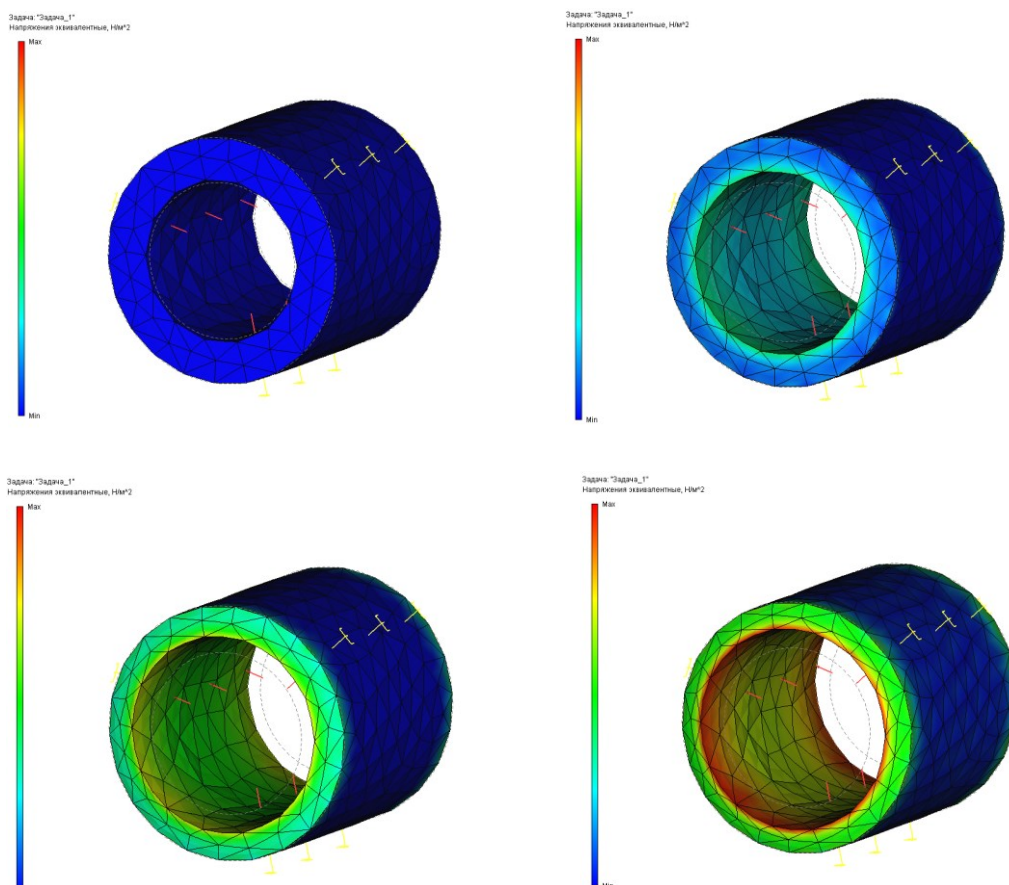


Рисунок 10 – Динаміка еквівалентних напруг при стиску циліндричного сенсорного елемента

Аналіз рис. 4.6 показує, що під впливом тиску в трубчастому світловоді з'являється область, яку можна ідентифікувати як тонку проміжну оболонку (рис. 11).

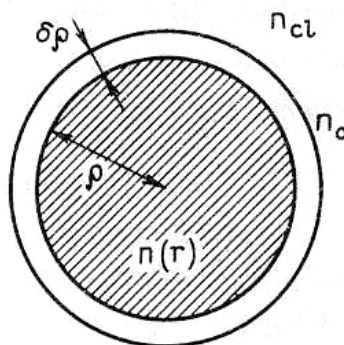


Рисунок 11 – Поперечний переріз трубчастого світловода, з тонкою проміжною оболонкою

Проміжна оболонка являє собою тонке концентричне кільце товщиною  $\delta\rho$  і з показником переломлення  $n_0$ . Оскільки  $\delta n = n_0 - n_{cl}$ , то

$$\beta = \bar{\beta} + \delta\rho (n_0 - n_{cl}) k\rho \bar{\Psi}^2(\rho) / \int_0^{\infty} \bar{\Psi}^2 r dr, \quad (16)$$

де  $\Psi(\rho)$  - поле незбуреного ОВ на границі серцевини з оболонкою.

$$\beta = \bar{\beta} + 2(n_0 - n_{cl}) k \frac{\delta\rho}{\rho} \left[ \frac{U}{V} \frac{K_0(W)}{K_1(W)} \right]^2.$$

де  $K_1$  – модифікована функція Бесселя другого роду.

Якщо застосувати гауссове наближення. Оскільки розмір плями моди визначається вираженням у табл. 15.2 [2], те за умови, що  $V > 1$ , маємо

$$\beta_T = \beta^* + 2(n_0 - n_{cl}) k(\delta\rho/\rho) ((\ln V^2)/V^2). \quad (17)$$

Функція перетворення [1, 2] волоконно-оптичного перетворювача (залежність напруги  $U_{out}$  на вході фотоприйомної схеми від зовнішнього впливу  $f_{om}$ ) може бути визначена в такий спосіб

$$U_{out}(f_{om}) = P_{em} K_c K_{tr1} K_{fb} K_{coax} K_{tr2} K_{pd}, \quad (18)$$

де  $P_{em}$  – потужність джерела оптичного випромінювання:

$K_c$  – коефіцієнт ефективності введення випромінювання від джерела у світловод;

$K_{tr1, 2}$  – коефіцієнти світлопропускання, світловодів що підводять й відводять випромінювання відповідно;

$K_{coax}(f_{om}) = K_{sen} f_{om}$  – коефіцієнт передачі випромінювання в коаксіальному світловоді;

$K_{pd}$  – коефіцієнт перетворення оптичного випромінювання фотоприйомною схемою у вихідну напругу.

Для розрахунків і побудови графічної залежності функції перетворення використовувалися дані про перераховані вище коефіцієнти, наведені в [7, 8, 9] (рис. 12).

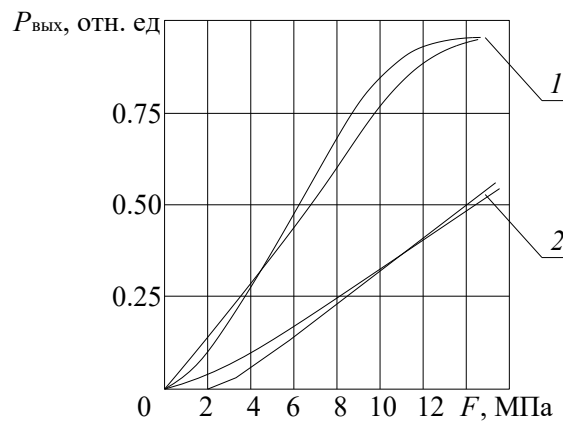


Рисунок 12 – Функція перетворення оптичного перетворювача тиску довжиною: 1 ... 70 мм; 2 ... 35 мм

Експериментальні дослідження полягали в оцінюванні динамічних характеристики макетного зразка.

Для здійснення експериментальних досліджень був використаний комплекс, що складається з встаткування, що серійно випускається, і супроводжуючого програмного забезпечення, та такого, що використовується в центральній заводській лабораторії ПАТ "Одескабель".

У рефлектометрі сполучені функції рефлектометра, джерела лазерного випромінювання й вимірника потужності для роботи з усіма типами ОВ на довжинах хвиль 0,85, 1,30, 1,31, 1,55 і 1,625 мкм. Обробка результатів вимірів виконується програмою *Wintrace*.

Контроль оптичних параметрів на обох стендах виконувався рефлектометром *Wavetek*. Підготовка ОВ до вимірів виконана за допомогою спеціалізованого зварювального пристрою *Fujikura*.

У якості контрольної характеристики прийняте загасання оптичної потужності. Цей параметр, з одного боку, підлягає найбільшим змінам, і це дозволяє більш точно виявити ступінь і характер змін, що відбуваються в об'єкті контролю. З іншого боку, контроль загасання можливо здійснювати в реальному масштабі й за мінімальний час на виконання вимірів. Усі дослідження проведені в кліматичних умовах у відповідності зі стандартом МЭК 60068-1. Випробування ОВ на стійкість до вібрації виконані відповідно до *Bellcore TR-NWT-001121*.

На основі банку рефлектограм оцінювалася залежність величини загасання в оптичному ЧЕ від частоти коливачь, а також наявність залишкових втрат оптичної потужності. Таким чином, формувалася графік експериментальної динамічної характеристики моделі ВОДТ. Зразок отриманих рефлектограм наведений на рис. 13.

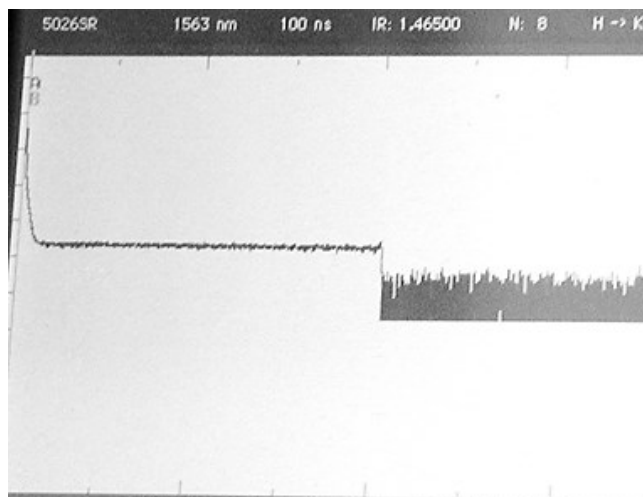


Рисунок 13 – Зразок рефлектограми

Найбільш важливими науковими і практичними результатами, отриманими у ході виконання дослідження, є наступні.

Визначено, що найбільш завадостійкими до впливу експлуатаційних факторів є волоконно-оптичні засоби вимірювання тиску, які побудовані на основі перетворювача з закритим оптичним каналом і чутливим багатошаровим тороїдальним елементом. Запропонована схема забезпечує ефективний контроль тиску у трубопроводі без порушення геометрії струмочовини у всьому робочому діапазоні температур.

Синтезована математична модель волоконно-оптичного датчика тиску на основі багатошарового оптичного хвилеводу дозволила визначити параметри засобу вимірювання з урахуванням властивостей матеріалів та особливостей технології виробництва.

Технічний ефект досягається завдяки тому, що комбінація елементів забезпечує:

- підвищення якості функціонування за рахунок розташування сенсорного елемента безпосередньо у потоці робочого середовища, чий тиск вимірюється;
- застосування матеріалів, рівних по міцності до матеріалу трубопроводів;
- можливість уникнення похибок вимірювання за рахунок відмови від використання кабелів електричного живлення електродинамічних датчиків тиску або довгих відгалужень трубопроводів до манометрів традиційної конструкції;
- можливість використання волоконно-оптичних ліній у якості інформаційного каналу та створення на їх базі розгалужених систем;

- високу надійність і ресурс (більш 10000 г);
- іскровибухонебезпечність;
- відсутність випромінюваних електромагнітних полів;
- малі масу і габарити.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дрозд, Е. В., Сандлер, А. К. Волоконно-оптический датчик давления // Аграрний вісник Причорномор'я. – 2008. – № 45. – Одеса: ОДАУ. – С. 178 - 183.
2. 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.
3. Сандлер, А. К., Логишев, И. В. Разработка волоконно-оптических устройств для систем контроля и управления СЭУ // Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт: матеріали науково-технічної конференції – Одеса: ОНМА. – 2012. – С. 19 - 22.
4. Сандлер, А. К., Сандлер, О. А. Волоконна оптика в задачах діагностування гідроприводу // Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт: матеріали науково-технічної конференції. – Одеса: ОНМА. – 2013. – С. 113 - 115.
5. Сандлер, А. К. Моделирование акселерометра маятникового типа // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2019. – №1. – Черкаси: ЧДТУ. – С. 75 - 81. DOI: 10.24025/2306-4412.1.2019.166254.
6. Сандлер, А. К., Карпилов, А. Ю. Волоконно-оптическая система контроля тяги газотурбинных двигателей // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2019. – Т. 11. – №. 3. – Одеса: ОНАХТ. – С. 74 - 79. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i3.1499>.
7. Сандлер, А. К. Чувствительный элемент волоконно-оптического акселерометра на основе сапфирового стекла // IX міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 05-06 листопада 2019 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ "ОМА". – 2019. – С. 27 - 33. dx.doi.org/10.31653/2706-7874.
8. Сандлер, А. К., Опришко, М. О. Засіб автоматизації контролю вмісту нафтопродуктів // Slovak international scientific journal. – 2020. – № 45. – VOL. 3. – P. 36 - 39.
9. Сандлер, А. К., Опришко, М. О. Волоконно-оптический датчик контроля состояния технических жидкостей и газов // X міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 24.11.2020 - 25.11.2020 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ "ОМА". – 2020. – С. 63 - 68. DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245.
10. Сандлер, А. К. Метод підвищення ефективності діагностування технічного стану судових газотурбінних установок на основі волоконно-оптичних технологій: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Київський університет інфраструктури та технологій. – К., 2021. – 20 с.
11. Сандлер, А. К., Макачук, Є. В. Схематичне рішення високотемпературного датчику тиску // XI міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 23.11.2021 - 24.11.2021 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ "ОМА". – 2021. – С. 90 - 194. DOI: 10.31653/2706-7874.SEEEA-2021.11.1-238.
12. Сандлер, А. К., Глазева, О. В., Марчук, Д. В. Захисна підвіска трейлерів для транспортування військової техніки // XIII міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 22.11.2023 - 23.11.2023 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУОМА. – 2023. – С. 227 - 232. DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2023.11.1-248.
13. Сандлер, А. К., Омельченко, Т. Ю. Про необхідність впровадження новітніх технологій моніторингу технічного стану безпілотних суден // Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche: Raccolta di articoli scientifici "ΛΟΓΟΣ" con gli atti della V Conferenza scientifica e pratica internazionale, Bologna, 26 aprile, 2024. Bologna-Vinnitsia: Associazione Italiana di Storia Urbana & UKRLOGOS Group LLC, 2024. – P. 240 - 244. DOI 10.36074/logos-26.04.2024.049.

## Секція 9. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 628.32.2

### ОГЛЯД ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДЕН ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ОСНОВІ КОНТРОЛЮ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ

**В.Б. Удолатій**, асистент

Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація.** Представлено огляд заходів щодо енергоефективності на основі контролю викидів на етапі експлуатації судна та можливі механізми енергозбереження. Розглядаються заходи щодо енергоефективності з точки зору відповідних правил контролю викидів у судноплавній галузі. Проілюстровані концепції спостережень в зонах контролю викидів (ECA), скорочення CO<sub>2</sub>, обмеження SO<sub>x</sub> та NO<sub>x</sub>, а також контроль показників, які відомі як фактичний експлуатаційний індекс EEOI (Energy Efficiency Operational Index), та план управління енергоефективністю судна (SEEMP).*

***Ключові слова:** енергоефективність судна, експлуатаційний індекс, контроль шкідливих викидів.*

### MARINE LIFE CYCLE AND COST ASSESSMENT SCRUBBER INSTALLATION

**V.B. Udolatiy**, Assistant

National University «Odesa Maritime Academy», Ukraine

***Annotation.** The article provides an overview of energy efficiency measures based on emission control at the ship's operational stage and possible energy saving mechanisms. Energy efficiency measures are discussed in terms of the relevant emission control regulations in the shipping industry. The concepts of emission control area (ECA) observations, CO<sub>2</sub> reduction, SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> emission limitation, monitoring of indicators known as the actual Energy Efficiency Operational Index (EEOI) and the Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) are illustrated.*

***Keywords:** energy efficiency of the vessel, operational index, control of harmful emissions.*

Морський транспорт за обсягом перевозить понад 85% світових вантажів. Очікується, що найближчими роками обсяг морських вантажоперевезень зросте більш ніж на 2,8%, та значно збільшиться відстань перевезень. І це зростання продовжить збільшуватися у найближчі роки [1]. Ця ситуація призвела до того, що ІМО ввела різні важелі для регулювання енергоефективності як на етапі проектування, так і на етапі експлуатації з використанням Індексу енергоефективності конструкції (EEDI), Експлуатаційного показника енергоефективності (EEOI), Плану управління енергоефективністю судна (SEEMP), Індексу енергоефективності існуючих суден (EEXI) та Індикатора інтенсивності викидів вуглецю (CII) [2].

Але ці показники не враховують потенціали викидів, пов'язаних з морськими системами. Іншими словами, бракує заходів для оцінки цілісного впливу на навколишнє середовище. Поточна практика це лише визначення рівнів скорочення викидів SO<sub>x</sub> без урахування інших ефектів викидів, пов'язаних із скрубєрними системами [3, 7, 6]. Значне зниження вмісту сірки в бункерному паливі є хорошим рішенням не тільки для SO<sub>x</sub>, але й для викидів твердих частинок. Крім того, скрубєрна технологія є ще одним з рішень для зменшення викидів SO<sub>x</sub> шляхом очищення вихлопних газів двигуна від вмісту SO<sub>x</sub> [5, 10]. Однак цей підхід має додаткові проблеми у модернізації (наприклад, для умов остійності судна), де існуючі судна можуть мати значні витрати на встановлення та обслуговування скрубєрних систем. Викиди NO<sub>x</sub> можна контролювати за допомогою технології селективного каталітичного відновлення (SCR), де оксиди азоту у вихлопних газах перетворюються в азот за допомогою хімічних ре-



акцій [11]. Крім того, підходи до зволоження та прямого вприскування води знижують робочу температуру двигуна, що також мінімізує викиди  $\text{NO}_x$ . Однак це також може мати ті ж проблеми, що й технологія скрубєрів при модернізації існуючих суден. Крім того, ці зовнішні пристрої контролю викидів (скрубєри, SCR тощо) можуть споживати додаткову енергію, що ставить під сумнів здатність судна відповідати критеріям енергоефективності. Це очевидна сфера можливого вдосконалення.

Розглянемо заходи щодо енергоефективності на основі контролю викидів та можливі механізми енергозбереження на етапі експлуатації судна. Загалом викиди  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  та  $\text{SO}_x$  пов'язані з витратою палива судном, тому зниження витрати палива на кожному рейсі може підвищити енергоефективність судна.

Мірою оцінки енергоефективності судових операцій є EEOI, це інструмент для вимірювання викидів  $\text{CO}_2$  у навколишнє середовище. Він відображає реальну ефективність на одиницю транспортної роботи на судні в режимі експлуатації. Судно, в залежності від умов завантаження, може здійснювати рейси в двох типах умов: з вантажем і в баласті. Розмежування між цими двома типами перевезень є дуже важливим, оскільки параметр EEOI варіюється. У випадку стану вантажу, маса продукту, що перевозиться на судні, використовується безпосередньо, в той час як у випадку з баластом потрібні інші розрахунки. ІМО визначає EEOI як масу викидів  $\text{CO}_2$ , поділену на робоче навантаження заздалегідь визначений період часу і розраховується за формулою, наведеною у рівнянні (1).

Для цих випадків, коли рейс здійснюється в баласті використовується Річний коефіцієнт ефективності AER (Annual Efficiency Ratio). Це відношення викидів вуглецю судном до фактичної вантажопідйомності. AER використовує параметри витрати палива, пройденої відстані та проектного дедвейту. У цьому випадку дедвейт судна використовується як вантаж, що перевозиться протягом усього року. Розрахунок AER відбувається за формулою, наведеною у рівнянні (2). Обидві формули мають багато спільних змінних і представлені нижче:

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j * C_{Fj}}{m_{cargo} * D}, \quad (1)$$

$$AER = \frac{\sum_j FC_j * C_{Fj}}{\sum(DWT * D)}. \quad (2)$$

де  $j$  – вид палива,  $FC_j$  – маса палива  $j$ , витраченого в рейсі,  
 $C_{Fj}$  – коефіцієнт перетворення маси палива в  $\text{CO}_2$  для палива  $j$ ,  
 $m_{cargo}$  – це перевезений вантаж (у тонах) або виконана робота (кількість контейнерів або пасажирів),

$D$  – відстань, у морських милях, на яку транспортується вантаж,

$DWT$  – дедвейт судна у тонах.

Одиницею вимірювання для обидвох показників є  $\frac{\text{грам } \text{CO}_2}{\text{тона вантажу} * \text{нм}}$ .

Хоча ІМО встановила стандартну формулу для розрахунку EEOI, вона не визначила суворі критерії, за якими слід розглядати конкретні дані для забезпечення репрезентативності результатів

У методології розрахунку EEOI прийнято використовувати середнє значення останніх десяти рейсів. Однак ця методологія викликає проблеми репрезентативності, змішуючи вантажні рейси з баластними рейсами в середньому та однаково зважуючи короткі денні рейси з далекими. Така суміш може спотворити результати, оскільки баластні рейси і короткі рейси можуть мати істотно різну витрату палива та енергоефективність порівняно з вантажними і далекими рейсами. Тому поточна методологія не завжди точно відображає експлуатаційну енергоефективність судна в нормальних умовах експлуатації.

Підвищення енергоефективності на судах має впроваджуватися як безперервний процес за допомогою системи моніторингу в реальному часі різними бортовими датчиками і системними модулями. Принципова схема бортової системи моніторингу в режимі реального часу представлено на (рис. 1). Дані про роботу судна та навігаційні дані, що збираються такими системами вздовж судових маршрутів, мають бути проаналізовані для спостереження за енергоефективністю в рамках плану управління енергоефективністю судна.

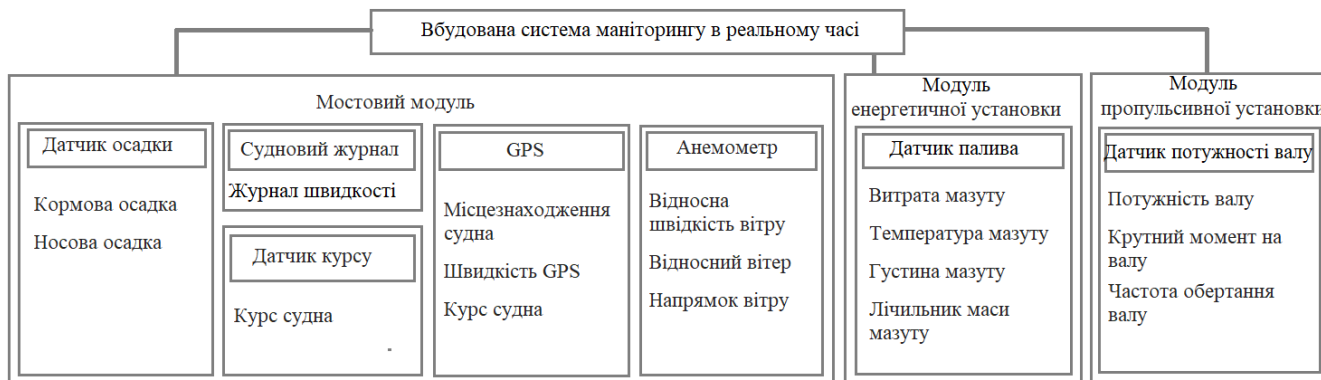


Рисунок 1 – Бортова система моніторингу.

SEEMP складається з механізму, який має можливість підвищити енергоефективність судна шляхом моніторингу продуктивності судна протягом певного періоду, використовуючи ЕЕОІ як базовий рівень. Цей обов'язковий механізм змушує покращувати умови експлуатації суден та впроваджувати більш енергоефективні технології для судноплавної галузі. Він складається з декількох обов'язкових кроків (тобто планування, впровадження, моніторинг, самооцінка та вдосконалення) і відіграє важливу роль у підвищенні енергоефективності на судах на етапі їх експлуатації [8].

Етап планування в SEEMP стосується специфічних вимог до експлуатації судна. Таким чином, цілі щодо підвищення енергоефективності на кожному судні починається на цьому етапі.

Етап реалізації починається зі створення механізму реалізації для досягнення відповідних цілей з енергоефективності. На цьому етапі слід реєструвати прогрес у впровадженні.

Етап моніторингу складається з розробки механізму моніторингу в режимі реального часу за допомогою різних бортових датчиків і систем.

Заключним етапом SEEMP є етап самооцінки, проведення добровільного звітування та процес аналізу. Крім того, ця фаза ілюструє отримані уроки та подальші вдосконалення в майбутньому, які можуть бути запроваджені в рамках SEEMP. На цьому етапі повинні бути визначені можливі варіанти економії енергії, які можуть сприяти оптимізації енергоефективності судна [9].

Судновий план управління енергоефективністю судна розробляється компанією для кожного судна з використанням експлуатаційного коефіцієнта енергетичної ефективності ЕЕОІ відповідно до рекомендацій МЕРС.

Метою SEEMP є розробка заходів, які спрямовані на покращення енергетичної ефективності морських перевезень при безумовному дотриманні вимог щодо захисту довкілля.

Загальні методи підвищення енергоефективності:

1. Планування рейсу. Оптимальний маршрут і ретельне його виконання. Комунікація з наступним портом дає можливість раннього сповіщення про доступність причалу, що дозволяє оптимізувати швидкість судна.

2. Погодне планування. На окремих маршрутах витрати на подолання поганих умов плавання можуть бути вищими, ніж витрати на додатковий шлях, щоб уникнути поганих умов.

3. Оптимальне управління судном. Включає в себе використання оптимального

диференту, прийняття оптимальної кількості баласту.

4. Оптимізація швидкості судна, це один із ефективніших методів покращення енерго-ефективності.

5. Оптимізація роботи суднової енергетичної установки. Обслуговування суднової енергетичної установки та використання системи контролю зносу може бути корисним інструментом для підтримки високої ефективності.

6. Утилізація теплоти, коли тепло вихлопних газів використовується при виробництві електрики.

7. Управління використанням електроенергії.

8. Обслуговування корпусу.

9. Оптимізація вантажних операцій.

10. Удосконалення системи управління суднами. Наприклад, мінімізація переходів у баласті.

11. Вживання альтернативних видів палива.

Основна частина експлуатаційних витрат судна пов'язана з його споживанням палива і може становити приблизно 35-70% від загальних експлуатаційних витрат судна [4]. Таким чином, відповідне зниження витрат палива може скоротити значну частину експлуатаційних витрат, що зрештою підвищує енергоефективність судна та знижує відповідне забруднення морського середовища.

**Висновки.** Експлуатація звичайних суден базується на заходах з енергоефективності на основі контролю за викидами, де План управління енергоефективністю судна і Експлуатаційний показник енергоефективності зосереджені на контролі середньострокових викидів парникових газів до помірного рівня. Однак контроль за викидами  $\text{NO}_x$  та  $\text{SO}_x$  суперечать вимогам ЕЕОІ та SEEMP. Зовнішні пристрої контролю викидів  $\text{NO}_x$  та  $\text{SO}_x$  (скрубери, SCR тощо) споживають додаткову енергію, що ставить під сумнів здатність судна відповідати критеріям енергоефективності. Запроваджені критерії перевірки та жорсткіші правила контролю за викидами, особливо в ЕСА, ще більше впливають на вимоги до ЕЕОІ.

Проведено детальний аналіз плану управління енергетичною ефективністю судна, що дає можливість стверджувати, що він є регулятором експлуатаційної і екологічної ефективності. Огляд заходів з енергоефективності на основі контролю за викидами є очевидною сферою можливого вдосконалення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. UN Trade and Development, Review of Maritime Transport 2023: Towards a Green and Just Transition, UNCTAD. Available online: <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023> (accessed on 15 July 2024).

2. Dewan, M.H.; Godina, R. Seafarers involvement in implementing energy efficiency operational measures in maritime industry. *Procedia Comput. Sci.* 2023, 217, 1699–1709. [CrossRef]

3. Удолатій, В.Б. Огляд методів зниження токсичності газових викидів суднових енергетичних установок від оксидів сірки [Текст] / В.Б. Удолатій // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С.146-149. DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2022.11.1-203

4. Карпілов, О. Ю., Удолатій, В. Б., Сандлер, А. К. Автоматизований вітрильно-рушійний комплекс - новітні вітрила на "старих" щоглах // Грааль науки: міжнар. наук. журнал. – Вінниця: ГО "Європейська наукова платформа"; НУ "Інститут науково-технічної інтеграції та співпраці", 2024. – № 39. – С. 369 - 374. DOI 10.36074/grail-of-science.10.05.2024.056

5. Удолатій, В.Б. Автоматизована установка десульфурації відпрацьованих газів суднових двигунів внутрішнього згоряння // V International Scientific and Theoretical Conference Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives: collection of scientific papers «SCIENTIA», May 10, 2024. – Stockholm, Kingdom of Sweden: International Center of Scientific Research. – P. 80 – 83. DOI 10.36074/scientia-10.05.2024.

6. Удолатій, В. Б., Карпілов, О. Ю., Сандлер, А. К. Засіб для автоматизованого контролю вмісту вуглеводнів у льяльних водах // Грааль науки: міжнар. наук. журнал. – Вінниця: ГО "Європейська наукова платформа"; НУ "Інститут науково-технічної інтеграції та співпраці", 2024. – № 44. – С. 334 - 339.

7. Удолатій, В. Б. Аналіз сучасних систем зниження шкідливих викидів оксидів сірки судновими енергетичними установками // Річковий та морський флот: експлуатація та ремонт: матеріали науково-технічної конференції – Одеса: НУ "ОМА". – 2021. – С. 286-291.

8. IMO, Resolution MEPC.213(63), 2012 Guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP), 2012.

9. L.P. Perera, V. Mo, L.A. Kristjansson, P.C. Jonvik, J.O. Svardal, Evaluations on ship performance under varying operational conditions, in: Proceedings of the 34th International Conference on Ocean, Off-shore and Arctic Engineering (OMAЕ 2015), Newfoundland, Canada, 2015 (OMAЕ2015-41793).

10. Сандлер, А. К., Карпілов, О. Ю., Удолатій, В. Б. Волоконно-оптичний пристрій для систем автоматизованого екологічного моніторингу // Automation of Technological and Business Processes. – 2024. – № 16 (3). – P. 95 - 99. <https://doi.org/10.15673/atbp.v16i3.2880>.

11. O. Servin, K. Boriboonsomsin, M. Barth, An energy and emissions impacts evaluation of intelligent speed adaptation, in: Intelligent Transportation Systems Conference, 2006. ITSC '06, IEEE Toronto, Ont., 2006, pp. 257–1262.

УДК 621.01

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ МУФТ ФІРМИ RENK ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИВОДІВ

**А.К. Сандлер**, к.т.н, доцент

**О.В. Глазєва**, к.т.н, доцент

**Т.О. Столярик**, к.т.н.

***Анотація:** У процесі експлуатації різних суднових механізмів можуть виникати різні порушення їх конструкції, наприклад, вироблення опорних поверхонь, і навіть деформація опорних поверхонь, де розташовані механізми і устаткування. Природно, що при цьому можуть виникати різні вібраційні коливання, які можуть стати причиною виходу з ладу як окремого пристрою, так і механізму в цілому, якщо не вжити відповідних заходів. У статті представлена методика вибору пружних муфт компанії RENK з урахуванням багаторічного досвіду їх експлуатації стосовно морських суден.*

***Ключові слова:** судно, вал, підшипник, обертання, вібрація, пружні муфти*

## ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF RENK ENERGY-EFFICIENT COUPLINGS FOR REDUCING VIBRATION IN ELECTROMECHANICAL DRIVES

**A.K. Sandler**, Ph.D., Assistant Professor

**O.V. Glazeva**, Ph.D., Assistant Professor

**T.O. Stoliaryk**, Ph.D

National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract:** During the operation of various ship mechanisms, various violations in their design may occur, for example, the development of bearing surfaces, as well as deformation of the support surfaces on which the mechanisms and equipment are located. Naturally, in this case, various vibration vibrations may occur, which in the future may cause failure of both the individual device and the mechanism as a whole, if appropriate measures are not taken. The article presents a methodology for selecting flexible couplings from RENK, taking into account many years of experience in their operation as applied to marine vessels.*

**Key words:** motor vessel ship, shaft, bearing, rotating, vibration, flexible couplings

У процесі експлуатації різних механізмів з обертальним рухом на морських судах відбувається зношування підшипникових вузлів, деформації поверхонь на яких встановлено обладнання. При цьому виникають різні вібрації, які регламентуються у відповідних нормативно-технічних документах. Вони призначені для оцінки допустимості фактичних рівнів вібрації механізмів та обладнання суден під час будівництва або після ремонту, а також суден, що знаходяться в експлуатації за результатами вимірювань параметрів їхньої вібрації. Відповідно до такого підходу розрізняють три категорії технічного стану механізмів та обладнання суден: А – стан механізмів та обладнання після спорудження судна або ремонту при введенні в експлуатацію; В – стан механізмів та обладнання під час нормальної експлуатації; С – стан механізмів та устаткування, у якому воно вимагає проведення технічного обслуговування чи ремонту. Норми, які визначають верхні межі категорій А та В представлені в [1].

Пристроями, що дозволяють знизити вібрації, є гнучкі муфти обертання, які призначені для цілеспрямованого впливу на вібраційні характеристики приводних систем при обертанні. Їх використання може значно знизити амплітуди напруг і частоту піків перевантаження під час нерегулярних фаз роботи в частинах приводних пристроїв, що передають крутний момент. На сучасних морських судах поширення набули муфти фірми RENK (ФРН) [2]. У разі їх вибору слід враховувати ряд особливостей.

Перш ніж переходити до вибору муфт, необхідно ознайомитися з їх основними типами.

1. Втулки типу U - компресійні втулки з модифікованого натурального каучуку з вулканізованими внутрішніми поліамідними втулками використовуються для всіх стандартних приводів. Вони також зарекомендували себе як відмінне рішення для асиметрично працюючих приводів зі змінним крутним моментом, зокрема, для машин, схильних до вібрації, тобто, дизельних та інших поршневих двигунів.

2. Втулки типу V - компресійні муфти з хлоропренового полімеру з вулканізованими поліамідними внутрішніми втулками спеціально розроблені для муфт, схильних до дії парів нафти (мінеральні масла). Вони також можуть використовуватися для машин у тропічних районах, схильних до впливу термітів.

3. Втулка типу W -компресійні втулки з оболонкою з азотистої гуми і внутрішнім поліамідним наповнювачем, використовуються для приводів, що вимагають кутів закручування менше, ніж ті, які досягаються за допомогою втулок типу U. Втулки типу W мають певний ступінь малостійкості.

Типові застосування гнучких муфт фірми RENK на морських судах з урахуванням типорозмірів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Типові застосування гнучких муфт фірми RENK на морських судах

Розмір муфти	Частота обертання, хв-1	Потужність, кВт	Механізм
149	2000	15	Компресор
271	1475	730	Відцентровий насос
454	585	7100	Генератор
149	5000	17	Машина постійного струму
247	1480	132	Перетворювач
335	1800	2500	Судновий турбогенератор
231	3600	410	Реверсивний судновий редуктор

При виборі гнучких муфт, визначальною величиною буде момент, що обертає, створюваний первинним двигуном (електричним, двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ)) або паровим:

$$M = \frac{9550 \cdot P_H}{n_H}, \quad (1)$$

де  $P_H$  – номінальна потужність двигуна, кВт;  
 $n_H$  – номінальна частота обертання, об/хв.

Значення комплексного коефіцієнта, який впливає на вибір гнучкої муфти, з урахуванням різних чинників, визначається:

$$K = K_H \cdot K_T \cdot K_B \cdot K_D, \quad (2)$$

де  $K_H$  – коефіцієнт навантаження;  
 $K_T$  – температурний коефіцієнт;  
 $K_B$  – коефіцієнт включення;  
 $K_D$  – коефіцієнт, що враховує тип первинного двигуна.

При цьому, момент у муфті, відповідні йому напруги або температура в матеріалі пружного елемента, зумовлені крутильними коливаннями, при тривалій роботі і швидкому проході не повинні перевищувати значень, встановлених виробником для зазначених режимів [1]. Значення коефіцієнта навантаження ( $K_H$ ) наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Коефіцієнти навантаження для компресійних втулок різних типів, що застосовуються у різних механізмах

Механізми	Коефіцієнт навантаження $K_H$	
	Тип втулки U	Тип втулки V, W
Генератори з постійною вихідною потужністю, легкі лінійні вали, невеликі вентилятори, відцентрові насоси, легкі підйомники.	1,3	1,5 - 1,6
Допоміжні машини для суден, крани, важкі підйомники, генератори зі злегка змінюваною продуктивністю, лебідки, відцентрові насоси, роторні помпи та компресори.	1,4 - 1,5	1,6 - 1,7
Суднові гвинти	1,6 - 1,7	1,8 - 1,9

Значення коефіцієнтів температури ( $K_T$ ), включення ( $K_B$ ) та коефіцієнта що враховує тип первинного двигуна ( $K_D$ ) наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Значення температурного коефіцієнта, коефіцієнта включення та коефіцієнта, що враховує тип первинного двигуна

Температурний коефіцієнт $K_T$				Коефіцієнт включення $K_B$		Коефіцієнт, який враховує тип двигуна $K_D$			
Тип муфти	U	V	W						
-20 – +30 °C	1,0	1,0	1,0	< 40	1,0	Електродвигун, турбіна	ДВЗ дизельний/бензиновий		
> +30 – +40 °C	1,1	1,2	1,0						
> +40 – +60 °C	1,2	1,4	1,1						
> +60 – +70 °C	1,3	1,5	1,2						
> +70 – +80 °C	-	1,7	1,4						
				< 80	1,1				
				< 120	1,2				
				< 120 – 360	1,3				
						> 6 цил.    ≥ 3 цил.    ≥ 1 цил.			
						1,0	1,1	1,4	1,6

З урахуванням коефіцієнтів, визначених відповідно до таблиці 2 та таблиці 3, момент у муфті складе:

$$M_M = M \cdot K. \quad (3)$$

Технічні характеристики гнучких муфт різних типів типорозмірів представлені у таблиці 4.

Гнучкі муфти, зазначених вище типів та типорозмірів, можуть застосовуватися при різних видах кутових та радіальних зсувів, що виникають у процесі експлуатації судових механізмів. Порядок їх вибору для конкретних умов експлуатації представлений на рис. 1. При цьому допустиме радіальне або кутове зміщення задається як вимірюваний лінійний розмір.

У процесі експлуатації може виникнути і неспіввісність сполучених валів, що призводить до динамічних деформацій компресійних втулок, які мають частоту обертання трансмісії. Ці сили деформації поєднуються з силами, що виникають при передачі крутного моменту.

Таблиця 4 – Технічні характеристики гнучких муфт різних типорозмірів

Типорозмір	Частота обертання [хв <sup>-1</sup> ]	Момент у муфті [Н*м]		Статичний кут скручування φ [град] при T <sub>KN</sub>		
		I	II	T <sub>KN</sub>	Тип U	Тип V
018 036	6000	—	18 · 10 <sup>3</sup> 36 · 10 <sup>3</sup>	3,4	2,9	2,2
044 066	6000	—	44 · 10 <sup>3</sup> 66 · 10 <sup>3</sup>	3,0	2,5	1,9
098 113	6000	—	98 · 10 <sup>3</sup> 13 · 10 <sup>4</sup>	2,9	2,4	1,9
123 129	6000	—	23 · 10 <sup>4</sup> 29 · 10 <sup>4</sup>	3,1	2,0	2,0
149 161	3600	5600	49 · 10 <sup>4</sup> 61 · 10 <sup>4</sup>	3,3	2,2	2,2
184 210	3000	5000	84 · 10 <sup>4</sup> 10 · 10 <sup>5</sup>	2,9	1,9	1,9
214 215	2650	4500	14 · 10 <sup>5</sup> 15 · 10 <sup>5</sup>	2,9	1,9	1,9
222 228	2250	4000	22 · 10 <sup>5</sup> 28 · 10 <sup>5</sup>	3,0	2,1	2,1
231 237	2000	3600	31 · 10 <sup>5</sup> 37 · 10 <sup>5</sup>	2,6	1,8	1,8
247 259 W	1800	3300	47 · 10 <sup>5</sup> 59 · 10 <sup>5</sup>	3,2	2,3	2,3
271 285 W	1650	3000	71 · 10 <sup>5</sup> 85 · 10 <sup>5</sup>	2,8	2,0	2,0
311 314 W	1500	2800	11 · 10 <sup>6</sup> 14 · 10 <sup>6</sup>	3,3	2,3	2,3
316 319 W	1250	2500	16 · 10 <sup>6</sup> 19 · 10 <sup>6</sup>	2,8	2,0	2,0
324 329 W	1120	2250	24 · 10 <sup>6</sup> 29 · 10 <sup>6</sup>	3,0	2,1	2,1
335 341 W	1000	2000	35 · 10 <sup>6</sup> 41 · 10 <sup>6</sup>	2,5	1,8	1,8
353	850	1750	53 · 10 <sup>6</sup>	2,7	2,0	2,0
378	750	1500	78 · 10 <sup>6</sup>	2,1	1,5	1,5
412	630	1300	12 · 10 <sup>7</sup>	2,6	1,8	1,8
416	630	1300	16 · 10 <sup>7</sup>	2,4	1,7	1,7
420	560	1200	20 · 10 <sup>7</sup>	2,0	1,5	1,5
426	500	1050	26 · 10 <sup>7</sup>	2,7	1,9	1,9
432	500	1050	32 · 10 <sup>7</sup>	2,5	1,8	1,8
443	450	890	43 · 10 <sup>7</sup>	2,2	1,5	1,5
454	400	750	54 · 10 <sup>7</sup>	1,6	1,2	1,2

Сили реакції, що виникають через радіальне зміщення, протидіють напрямку зміщення та впливають на навантаження сусідніх підшипників.

Значення статичної сили реакції опори  $F_r$  можна розрахувати за формулою (4).

$$F_r = \frac{C_{Tstat} \cdot 10^3}{[0,5 \cdot D_L]^2} \cdot \Delta_r \quad (4)$$

де  $C_{Tstat}$  – ефективна статична жорсткість при крученні, Н·м/рад;

$D_L$  – діаметр муфти, мм;

$\Delta_r$  – радіальне зміщення, мм;

$F_r$  – сила реакції, Н.

$$C_{Tstat} = C_{Tustat} \cdot \left[ \frac{C_{Tostat}}{C_{Tustat}} \right]^{M/M_M}, \quad (5)$$

де  $C_{Tustat}$  – статична жорсткість на крутіння при номінальному моменті  $M_M$ , Н·м/рад;  
 $C_{Tostat}$  – статична жорсткість на крутіння при нульовому переміщенні, Н·м/рад.

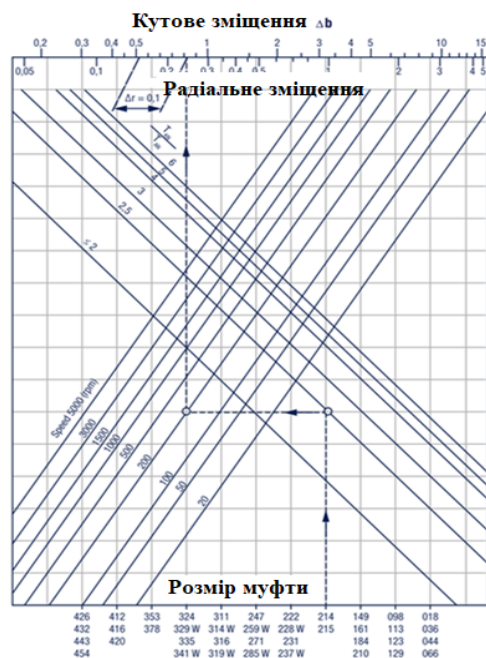


Рисунок 1 – Допустимі зміщення

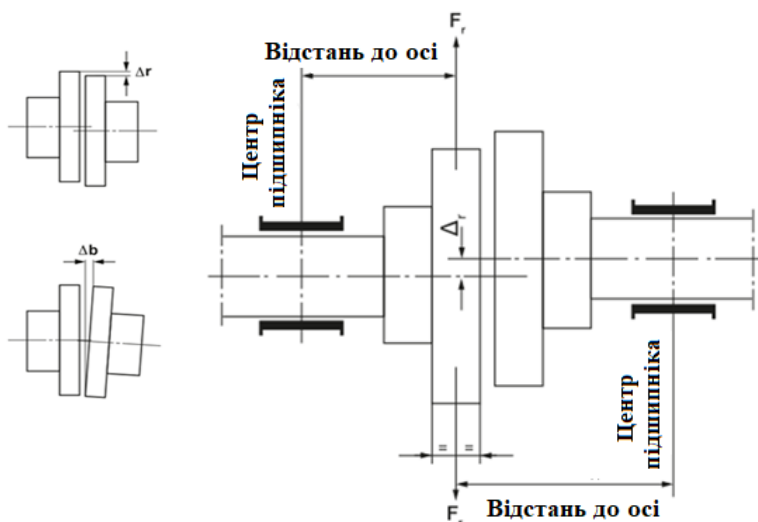


Рисунок 2 – Визначення сили реакції опори при неспіввісності валів

Крім характерної поведінки матеріалу втулок стиснення, на величину сили  $F_r$ , також впливає і відношення параметрів  $M/M_M$ . При цьому також повинні враховуватися й інші технічні характеристики муфт, наприклад, габаритні розміри та статичні жорсткості муфт. Для гнучких муфт типу U їх технічні характеристики представлені у таблиці 5.

Таблиця 5 – Технічні характеристики муфт типу U

Типорозмір DL	$C_{Tu stat}$	$C_{To stat}$	Типорозмір DL	$C_{Tu stat}$	$C_{To stat}$
018	58	$2,2 \cdot 10^2$	271	$7,8 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^5$
036		$4,4 \cdot 10^2$	285 W	$9,4 \cdot 10^4$	$3,8 \cdot 10^5$
044	68	$6,0 \cdot 10^2$	311	$1,0 \cdot 10^5$	$4,4 \cdot 10^5$
036		$9,0 \cdot 10^2$	314 W	$1,3 \cdot 10^5$	$5,7 \cdot 10^5$
098	78	$1,4 \cdot 10^3$	316	$1,7 \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^5$
113		$1,9 \cdot 10^3$	319 W	$2,1 \cdot 10^5$	$8,8 \cdot 10^5$
123	95	$2,8 \cdot 10^3$	324	$2,5 \cdot 10^5$	$9,8 \cdot 10^5$
129		$3,5 \cdot 10^3$	329 W	$3,0 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^6$
149	116	$5,3 \cdot 10^3$	335	$4,3 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^6$
161		$6,7 \cdot 10^3$	341 W	$5,0 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^6$
184	145	$1,0 \cdot 10^4$	353	$5,9 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^6$
210		$1,2 \cdot 10^4$	378	$1,2 \cdot 10^6$	$4,2 \cdot 10^6$
214	170	$1,7 \cdot 10^4$	412	$1,5 \cdot 10^6$	$5,6 \cdot 10^6$
215		$1,9 \cdot 10^4$	416	$2,1 \cdot 10^6$	$8,3 \cdot 10^6$
222	205	$2,5 \cdot 10^4$	420	$3,1 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^7$
228		$3,1 \cdot 10^4$	426	$2,9 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^7$
231	235	$4,1 \cdot 10^4$	432	$4,0 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^7$
237		$4,9 \cdot 10^4$	443	$5,9 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^7$
247	255	$4,7 \cdot 10^4$	454	$8,5 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^7$
259 W		$5,9 \cdot 10^4$			



### Висновки

1. Представлено спрощену методику, що дозволяє вибирати пружні муфти для найбільш поширених судових механізмів з урахуванням утворених зносів.
2. Застосування гнучких муфт при з'єднанні поршневіх машин з механізмами, що приводяться в дію, дозволяє забезпечити більш тиху роботу за рахунок зміщення областей критичного крутного моменту.
3. Завдяки загальним характеристикам пружності гнучких муфт радіальні, осьові та кутові зміщення валу можуть бути компенсовані, що усуває необхідність у дорогих фундаментах машин.
4. Незважаючи на широкі можливості гнучких муфт, крім всього, слід виявляти і причини виникнення порушення конструкцій механізмів.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Правила класифікації та побудови морських суден. Том 3. Київ.: Регістр судноплавства України. 2016 р. – 535 с. <https://www.shipregister.ua/wp-content/uploads/2022/09/PSVP3u.pdf>
2. Innovative Power Transmission. ELCO Coupling Flexible Compression Sleeve Coupling. <http://www.renk.eu>
3. <https://soleadvantage.com/en/flexible-couplings-for-marine-engine-gr0409>
4. <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/flexible-coupling>
5. <https://www.renold.com/company/latest-news/couplings-marine-application>
6. [https://www.comintec.com/download/cataloghi/ELASTOMERIC\\_COUPLING-RIGID\\_COUPLING.pdf](https://www.comintec.com/download/cataloghi/ELASTOMERIC_COUPLING-RIGID_COUPLING.pdf)

## Секція 10. НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ПОШУКИ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

УДК 656.225

### АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЗАСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ

**А.К. Сандлер**, к.т.н., доцент

**В.В. Будашко**, д.т.н., професор

**О.В. Глазєва**, к.т.н., доцент

Національний університет "Одеська морська академія"

***Анотація.** Обґрунтовано схематичне рішення засобу визначення кольорових характеристик захисних покриттів. Запропонована конструкція волоконно-оптичного колориметра, який містить джерело світла, кювету, мікропроцесор оброблення інформації, блок керування параметрами, інформаційний екран, світловоди та датчик кольору, зв'язаний з мікропроцесором. На відміну від існуючого аналогу, джерело випромінювання, датчик кольору та чутливі світловоди зв'язані двобічним волоконно-оптичним розгалужувачем, кожна гілка якого містить оптичний фільтр. Торці світловодів мають віддзеркалюючий шар, а самі світловоди з ущільненням містяться у кюветі.*

***Ключові слова:** колориметр, колір, світловод*

### AUTOMATED TOOL FOR DETERMINING COLOR CHARACTERISTICS OF PROTECTIVE COATINGS

**Albert Sandler**, PhD, Assistant Professor

**Vitalii Budashko**, Dr. Sc, Professor

**Oksana Glazeva**, PhD, Assistant Professor

National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract.** The schematic and technical solution of the means of determining the color characteristics of protective coatings is substantiated. The proposed design of a fiber-optic colorimeter, which includes a light source, a cuvette, an information processing microprocessor, a parameter control unit, an information screen, light guides, and a color sensor connected to the microprocessor. Unlike the existing analogue, the radiation source, color sensor and sensitive light guides are connected by a two-way fiber-optic splitter, each branch of which contains an optical filter. The ends of the optical fibers have a reflective layer, and the optical fibers themselves with sealing are contained in a cuvette.*

***Key words:** colorimeter, color, fiber optic light guide*

Основне завдання оптичного маскування об'єктів цивільної інфраструктури полягає в тому, щоб максимально зменшити контрасти між об'єктом і навколишнім його фоном і добитися невидимості або, принаймні, непомітності об'єкта. Для того, щоб об'єкт був повністю невидимий, необхідно, щоб при заданих умовах висвітлення кутові розміри предмета й контраст, утворений їм із фоном, не давали можливість його побачити, навіть якщо спостерігачеві відомо, що об'єкт є у полі зору. А тому що часто доводиться зважати на можливість застосування оптичних приладів з більшим збільшенням, то природно, що основним способом досягнення невидимості об'єкта робиться зменшення контрастів до порога чутливості ока.

Отже, для повної невидимості потрібно пред'явити дуже жорсткі вимоги до збігу оптичних властивостей об'єкта й фону. Але для непомітності об'єкта виконання таких вимог

у більшості випадків зовсім не обов'язково. Справа в тому, що природні фони рідко бувають рівними, без помітних коливань яскравості й кольору; звичайно фон являє собою ряд природніх контрастів – яскравіших і колірних. Плями цих контрастів мають якоюсь мірою загальну форму, характерну для даної місцевості. При цих умовах для непомітності об'єкта, який маскується буде зовсім досить, якщо характер контрастів, які він внесе своєю присутністю в поле зору спостерігача буде відповідати характеру контрастів уже існуючих. Так формульована вимога непомітності вже не зажадає такої високої точності в припасуванні властивостей об'єкта до властивостей фону, як це було потрібно для повної його невидимості, і тому буде легше здійсненне.

Очевидно, що й для відмінності у кольоровостях об'єкта й фону вимога непомітності буде не так жорстко, як вимога невидимості, але яка величина припустимого відмінності указати зараз неможливо.

Звідси зовсім очевидні головні завдання маскування. Перше – прагнути підібрати покриття об'єкта таким чином, щоб його коефіцієнт відбиття по всьому спектру збігався з коефіцієнтами відбиття фону. Тому що умови їх висвітлення однакові, то цього буде досить для рівності променистих потоків, що випромінюються ними [1]. Для вимірювання інтенсивності кольору у будь-якої кольорової моделі зазвичай використовуються колориметри.

Схема відомого фотометричного колориметра наведена на рис. 1 [3].

Однак конструкція цього приладу є складною, не захищеною від експлуатаційних дестабілізуючих факторів, і не дозволяє дослідження поза межами лабораторій.

Більш досконалим та вільним від зазначених недоліків є волоконно-оптичний колориметр, схема якого представлена на рис. 2 [4].

Але застосування єдиного датчику кольору, який розташований з боку кювети протилежного до джерела випромінювання та світловодів для передачі білого світла обумовлюють такі недоліки:

- певна обмеженість робочого діапазону визначення кольору;
- складність конструкції;
- не достатня вірогідність результатів вимірювань.

Таким чином, в умовах, що склалися, доцільним уявляється створення волоконно-оптичного колориметра, що забезпечить можливість поширення робочого діапазону пристрою за рахунок застосування розгалужувачів з різними оптичними фільтрами, спрощення конструкції, підвищення вірогідності вимірювань, можливість вимірювань у середовищах різного ступеня мутності та у якому одночасно збережені простота схематехнічних рішень колориметрів відомих типів.

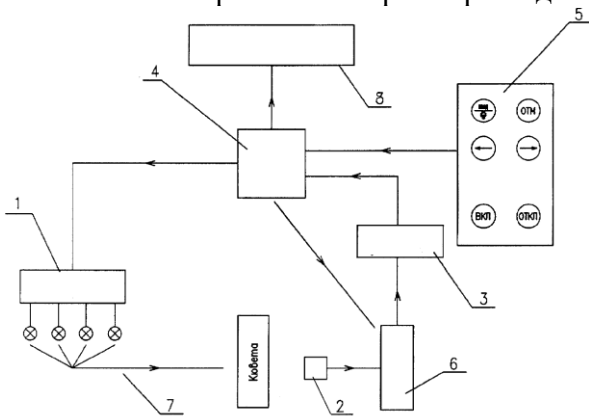


Рисунок 1 – Фотометричний колориметр: 1 – джерело випромінювання; 2 – фотоприймач; 3 – операційний підсилювач; 4 – центральний процесор; 5 – панель управління; 6 – підсилювач; 7 – оптиволоконний колектор; 8 – дисплей

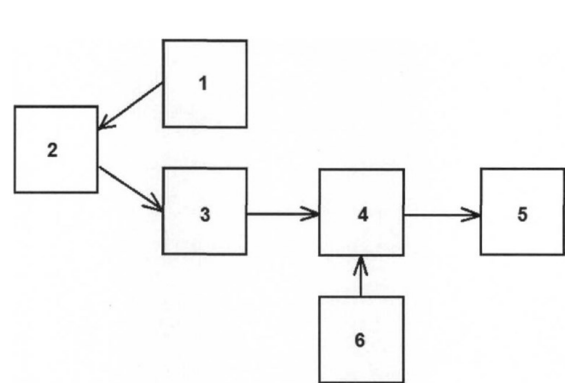


Рисунок 2 – Волоконно-оптичний колориметр

Для вирішення поставленої задачі запропоновано схемотехнічне рішення волоконно-оптичного колориметра, який містить джерело світла, кювету, мікропроцесор оброблення інформації, блок керування параметрами, інформаційний екран, світловоди та датчик кольору, зв'язаний з мікропроцесором. На відміну від існуючого аналогу, джерело випромінювання, датчик кольору та чутливі світловоди зв'язані двобічним волоконно-оптичним розгалужувачем, кожна гілка якого містить оптичний фільтр. Торці світловодів мають віддзеркалюючий шар, а самі світловоди з ущільненням містяться у кюветі.

Конструкція колориметру пояснюється кресленням (рис.1), де зображений блок керування параметрами 1, який пов'язаний з джерелом випромінювання 2 та датчиком кольору 3.

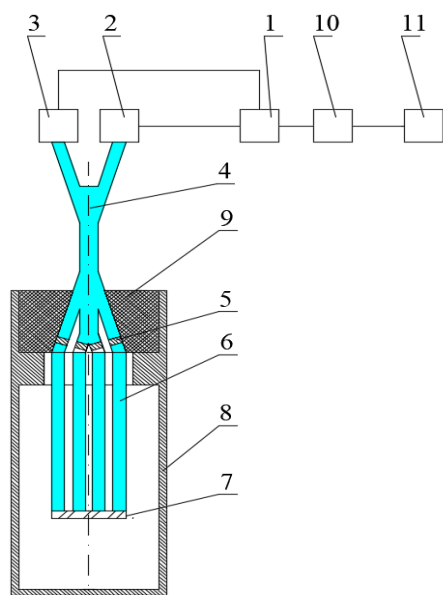


Рисунок 1 – Волоконно-оптичний колориметр: 1 – блок керування параметрами; 2 – джерело випромінювання; 3 – датчик кольору; 4 – двобічний волоконно-оптичний розгалужувач; 5 – оптичний фільтр; 6 – чутливі світловоди; 7 – віддзеркалюючий шар; 8 – кювета; 9 – ущільнення; 10 – мікропроцесор оброблення інформації; 11 – інформаційний екран.

довжиною хвилі визначеного кольору, випромінюються у зовнішнє середовище, та оптична потужність, яка повертається до датчика кольору зменшується [6]. Датчик кольору працює у по-кроковому режимі – опитування світловодів проводиться по черзі. Таким чином визначається співвідношення визначених кольорів (зазвичай червоного, синього та зеленого). Сигнал після датчика кольору та блоку керування параметрами потрапляє до мікропроцесору оброблення інформації.

Комбінація волоконно-оптичних елементів у пристрої може потенційно забезпечити можливість поширення робочого діапазону пристрою за рахунок застосування розгалужувачів з різними оптичними фільтрами; спрощення конструкції; підвищення вірогідності вимірювань; можливість вимірювань у середовищах різного ступеня мутності.

Використання унікальних властивостей альтернативних оптичних матеріалів надасть змогу створення волоконно-оптичних вимірювальних перетворювачів і ліній зв'язку комплексних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС). ІВС такого типу можуть являти собою розподілені вимірювальні системи зі значним числом вимірювачів, що дозволить охоплювати великі площі об'єктів, що потребують захисних покриттів [7, 8].

Суттєвою перевагою запропонованої конструкції є адаптивність щодо вибору локальних робочих точок вимірювання [9].

Випромінювання з джерела випромінювання потрапляє у двобічний розгалужувач 4, кожна гілка якого містить оптичний фільтр 5 [5]. Завдяки оптичному фільтру випромінювання після нього потрапляє до кожного з чутливих світловодів 6 з індивідуальною довжиною хвилі, яка співпадає з довжиною хвилі визначеного кольору. Після проходження чутливих світловодів випромінювання відбивається від віддзеркалюючого шару 7 і повертається крізь світловоди та розгалужувач до датчика кольору. Розгалужувач та світловоду ущільнені у кюветі 8 ущільненням 9. Сигнал після датчика кольору та блоку керування параметрами потрапляє до мікропроцесору оброблення інформації 10. Підсумкова інформація візуалізується на інформаційному екрані 11.

Завдяки оптичному фільтру випромінювання після нього потрапляє до кожного з чутливих світловодів з індивідуальною довжиною хвилі, яка співпадає з довжиною хвилі визначеного кольору. Завдяки оптичному тунельному ефекту частина випромінювання зі світловоду, довжина хвилі якого співпадає з

Крім того, впровадження новітніх вимірювальних засобів є важливим аспектом співпраці стейкхолдерів та закладів вищої освіти. Компанії можуть відібрати кандидатів, які відповідають їхнім стандартам, прискорюючи процес підбору. Навчання за інноваційними стандартами компаній дозволяє майбутнім фахівцям краще засвоювати необхідні навички, а компаніям – більше часу для оцінки потенційних співробітників [10].

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Разумовский, И. Т. Оптика в военном деле. – М.: Изд-во ДОСААФ, 1988. – 205 с.
2. Патент РФ № 2289799 С1. МПК G01N 33/52, G01J 3/46 Фотоколориметр/ Д. В. Красный, В. М. Бару, О. Т. Рудягина; заявитель и правообладатель: ООО NPP ENKONIKS. – № 2005139935/28. – заявл. 21.12.2005. – опубл. 20.12.2006.
3. Патент України № 139939. МПК G01J 3/46 (2006.01). Колориметр / Ю. І. Сенник, Р. Б. Сіправський; заявники та володарі патенту Сенник Ю. І., Сіправський Р. Б. – № u201908249. – заявл. 15.07.2019. – опубл. 27.01.2020, бюл. № 2. – 3 с.
4. Патент України № 78611. МПК (2011) G01M 11/02 (2006.1). Волоконно-оптичний газоаналізатор / А. К. Сандлер, Ю. М. Цюпко; заявники та володарі патенту Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М. – № u201210906. – заявл. 18.09.2012; опубл. 25.03.2013, бюл. № 6. – 3 с.
5. Патент України № 147071. МПК (2006) G01M 11/00. Волоконно-оптичний турбидиметр / А. К. Сандлер, М. О. Опришко; заявник та володар патенту Національний університет "Одеська морська академія". – № u202007437. – заявл. 23.11.2020; опубл. 07.04.2021, бюл. № 14/2021. – 3 с.
6. Снайдер, А., Лав, Д. Теория оптических волноводов. – М.: Радио и связь, 1987. – 656 с.
7. Сандлер, А. К. Інформаційно-вимірювальні пристрої на основі волоконно-оптичних технологій. – Одеса: Видатінформ НУ"ОМА", 2018. – 165 с.
8. Сандлер, А. К. Застосування альтернативних скломатеріалів для датчиків деформації та вібрації елементів пропульсивного комплексу // Автоматизація суднових технічних засобів. – 2023. – Вип. 28. – Одеса: НУ ОМА. – С. 79 – 89.
9. Sandler, A., Budashko, V., Khniunin, S., Bogach, V. Improving the mathematical model of a fiberoptic inclinometer for vibration diagnostics of elements in the propulsion system with sliding bearings // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Applied physics. – 2023. – Vol. 5. – №. 5(125). – P. 24 - 31: DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289773.
10. Бабаченко, М. В., Сандлер, А. К. Підвищення ефективності взаємодії стейкхолдерів та морських закладів вищої освіти // Education and science of today: intersectoral issues and development of sciences: Collection of scientific papers "ΛΟΓΟΣ" with Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, Cambridge, March 29, 2024. Cambridge-Vinnitsia: P.C. Publishing House & UKRLOGOS Group LLC. – 2024. – P. 82 - 84. DOI 10.36074/logos-29.03.2024.019.

УДК 631.1:339.1

## СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ЕКСПОРТУ АГРОПРОДУКЦІЇ

**В. Д. Слюсаренко, аспірантка**

*Одеський національний економічний університет*

**Анотація:** У даному огляді проведено аналіз сучасного стану експорту продукції аграрного сектору України та його перспектив подальшого розвитку. Дослідження базується на даних Державної служби статистики України. Виявлено ключові фактори, які впливають на стан аграрного експорту, серед яких основними є проблеми в логістичних ланцюгах, курс долара, обсяги виробництва агропродукції, скорочення земельних ділянок для сільського господарства та інвестиції в цю галузь. Обґрунтовано напрями підвищення експортного потенціалу аграрного сектору України в умовах воєнної агресії.

**Ключові слова:** агропродукція, експорт, зернова логістика, стратегія розвитку

## CURRENT CHALLENGES OF AGRICULTURAL PRODUCTION EXPORT

V. Sliusarenko, postgraduate student  
Odessa National Economic University

**Abstract:** This review analyzes the current state of agricultural product exports from Ukraine and the prospects for further development. The research is based on data from the State Statistics Service of Ukraine. Key factors affecting the condition of agricultural exports have been identified, among which the main ones are issues in logistics chains, the exchange rate of the dollar, volumes of agricultural production, reduction of agricultural land, and investments in the sector. The directions for increasing the export potential of Ukraine's agricultural sector in the context of military aggression are substantiated.

**Key-words:** agricultural production, export, grain logistics, development strategy

Повномасштабна військова агресія, розв'язана РФ проти України, накладає значні виклики на функціонування економіки країни. Ця війна не лише порушує торгівлю та інвестиційні стратегії, але й створює великий тиск на ключові галузі, загрожуючи стабільності та зростанню нашої країни. Особливо помітними є наслідки для агропромислового комплексу - системи господарських структур і підприємств, що займаються виробництвом сільськогосподарської продукції, її переробкою, збутом та постачанням сільськогосподарських матеріалів, а також виробництвом та постачанням продуктів харчування.

Сільськогосподарська продукція завжди відігравала ключову роль в економіці України. Це пояснюється тим, що близько 50% цієї продукції йде на експорт. Зокрема, майже 80% аграрного та харчового експорту складають зернові та олійні культури.

У чинній Стратегії експортної політики України [1] зазначено, що основними її цілями є: підвищення конкурентоспроможності продукції та розширення товарної номенклатури експорту; диверсифікація ринків збуту, підтримка і розвиток існуючих ринків; просування українського бренду та інформаційно-аналітичне забезпечення аграрного експорту.

З початком російської агресії географія експорту з України зазнала суттєвих змін. У довоєнному 2021 році частка експорту агропромислової продукції до Європи становила 32%, тоді як за підсумками 10 місяців 2023 року вона зросла до 59%. Це зростання було вимушеним через значне скорочення поставок до інших регіонів. Частка експорту до країн Африки зменшилася з 14% до 7%, в Азію – з 19% до 12%, а в південно-східну Азію – з 13% до 4%. Основною причиною цих змін стало блокування російськими військами українських морських портів. Раніше ці порти могли експортувати близько 7 млн тонн зернових щомісяця, тоді як максимальний обсяг альтернативними маршрутами досягав лише 3,7 млн тонн. Постачання до країн Африки та Азії під час війни стали можливими лише завдяки роботі зернового коридору в співпраці з ООН та Туреччиною, а також тимчасовому зерновому коридору, який здійснює відвантаження зараз.

Упродовж десяти місяців 2024 року загальний вантажообіг портів України досяг 82,3 млн тонн. Це на 78,5% більше, ніж за аналогічний період минулого року (46,1 млн тонн), і на 20 млн тонн перевищує показник за весь 2023 рік.

Основу вантажопотоку становить продукція аграрного сектора, яка у жовтні перевищила 50 млн тонн, досягнувши 50,7 млн тонн. Морські порти продовжують виконувати ключову роль в експорті аграрної продукції: з моменту запуску Українського коридору майже 3 тисячі суден доставили зерно та інші продовольчі товари до півсотні країн Африки, Азії, Європи та Америки.

У вересні 2024 ворог здійснив ще одну потужну спробу зруйнувати морський експорт української продукції, коли ледь не щодня бив ракетами та дронами по портах, припортовій інфраструктурі, іноземних суднах, намагаючись залякати наших партнерів та припинити користування портами України.

У жовтні 2024 року через морські порти України (чорноморські та дунайські) пройшло 8 млн тонн вантажів, що на 60% більше порівняно з аналогічним місяцем минулого року. Обсяг перевалки зернових досяг 5 млн тонн (+42,9% у порівнянні з минулим роком), а руд-

них вантажів - 1,4 млн тонн (більш ніж удвічі порівняно з жовтнем 2023 року). Левова частка відвантажень продукції припадає на Український коридор, який пропустив 6,8 млн тонн вантажів (85% від загального обсягу), з яких 4,5 млн тонн (90%) становлять зернові. Завдяки цьому експорт зернових підтримує ключову роль України у глобальній продовольчій безпеці

У 2024 році за оперативними даними Держмитслужби на 17 листопада Україна поставила закордонним споживачам товарів на загальну суму **36,3 млрд. доларів** (за весь 2023 рік експорт становив 36,2 млрд. доларів). **Найбільше експортної виручки нам принесли наступні позиції:** олія соняшникова, сафлорова або бавовняна – 4,4 млрд. дол.; кукурудза – 4,2 млрд. дол.; пшениця, суміш пшениці та жита – 3,4 млрд. дол.; руда та концентрати залізні – 2,5 млрд. дол.; насіння ріпаку або кользи – 1,7 млрд. дол.; проводи ізольовані, кабелі – 1,1 млрд. дол.; соєві боби – 1,1 млрд. дол.

Попри деяке уповільнення у жовтні, за 10 місяців 2024 року економіка зросла на **4,2 %**. З січня повернулось аграріям, які є нині основною експортною галуззю, для введення у господарський обіг **255 тис. га** сільськогосподарської землі.

Протягом десяти місяців 2024 року обсяг обстежених земельних ділянок сільськогосподарського призначення на предмет вибухонебезпечності становив 282 тис. га. Наразі над гуманітарним розмінуванням працює понад 4 тисячі фахівців, 789 груп протимінної діяльності, які мають у своєму розпорядженні 66 машин для механічного розмінування.

Ринок операторів протимінної діяльності поступово зростає: 64 компанії вже сертифіковано, а 53 перебувають у процесі сертифікації. Це завдання є вкрай важливим для країни, оскільки на значній частині сільськогосподарських земель не можливо проводити господарську діяльність. Багато з цих територій або окуповані, або під постійними обстрілами і засмічуються вибухонебезпечними предметами, або заміновані. За оцінками експертів, порівняно з 2021 роком було втрачено п'яту частину посівних площ.

Тому кожний повернутий у сільськогосподарське використання гектар землі – це додатковий врожай, нові робочі місця, внесок у зростання економіки та збільшення експорту, додаткові надходження до бюджету.

Однак технологічно організувати експортні операції можливо лише при наявності відповідних логістичних можливостей. Відвантаження експортних партій сільськогосподарської продукції, зокрема зернових, супроводжується значними сезонними коливаннями — від 2,0 млн тонн до 4,0 млн тонн. Мінімальні обсяги відвантажень спостерігаються в червні-липні, а потім вони починають стрімко зростати, досягаючи максимуму у вересні-жовтні. Це явище пояснюється специфікою функціонування ринку та технологічними особливостями інфраструктури.

В цілому логістичний ланцюг для експорту зернових виглядає так. Після збору врожаю зерно доставляється на вантажівках до основного приміщення сільськогосподарського підприємства, звідки вже більшими партіями воно відвозиться на хлібоприймальний пункт. Іноді зерно доставляється безпосередньо на хлібоприймальний пункт. Там його зважують, сушать і складають на деякий час (від кількох днів до кількох тижнів). Однак для тривалого зберігання великих обсягів зерна хлібоприймальний пункт не має відповідних умов.

На хлібоприймальному пункті формуються великі партії зерна, які доставляються на найближчий лінійний елеватор - основний сегмент логістичного ланцюга. В Україні існує розвинута мережа таких елеваторів, де відбуваються основні етапи обробки зернових (прийом, класифікація, зважування, сушіння, очищення) та їх зберігання. Важливо, що елеватори повинні бути розташовані на перетині транспортних шляхів, і кожен великий елеватор в Україні має сполучення з залізницею. Тут зберігається основна частина зібраного врожаю, зокрема й та, що призначена для експорту. На лінійних елеваторах великі партії зерна завантажуються у залізничні вагони, спрямовуючись або до морських перевантажувальних комплексів (для подальшого експорту), або до промислових елеваторів, які обслуговують потреби великих харчових підприємств. [2].

Говорячи про системні проблеми, які стримують розвиток логістичної інфраструктури, слід зазначити, що для кожного виду транспорту вони мають свою специфіку. Проте спільним є те, що ці проблеми викликані не лише специфічними умовами в кожній галузі, а й кри-

зовими явищами в економіці загалом. Основне обмеження для автотранспорту полягає в тому, що мережа автошляхів в Україні вже не відповідає основним транспортним потокам, а якість покриття більшості доріг є незадовільною. Додатково, обмеження максимальної ваги вантажівок (як нормативні, так і фактичні) ускладнює можливість використання великотоннажних машин. Це, в свою чергу, робить нерентабельним перевезення зернових автотранспортом на великі відстані.

Додаткову складність створює неефективна територіальна дислокація логістичних потужностей, яка була орієнтована на зберігання зерна на місцях. Сьогодні нерівномірний розвиток регіонів привів до зміни дислокації основних вантажоутворюючих факторів. Велике значення мають фермерські господарства, що концентрують на місцях великі запаси зерна. Наявність змішаних перевезень на зерновому ринку ускладнює координацію роботи всього ланцюга, яка априорі не може бути вертикально інтегрованою. Зміни тарифів залізничних перевезень приводять до зміни структур транспортного балансу, збільшення автомобільних перевезень зерна, особливо на короткому плечі – в останні роки їхня частка значно зросла. Це приводить до перерозподілу вантажопотоку, недозавантаження елеваторів, зниження їх капіталізації і, як наслідок, до розширення передумов щодо формування нових вузьких місць у зерновій логістиці.

Альтернативою як залізничним, так і автомобільним перевезенням може стати річковий транспорт, оскільки він є найбільш рентабельним, особливо для транспортування зернових з внутрішніх регіонів країни до морських портів на експорт. Однак розвиток цього виду транспорту стримується, головним чином, загальною занедбаністю галузі в країні. Перевезення зерна річковим транспортом (від навантажувальних терміналів на Дніпрі до Чорноморських портів) є найбільш економічно вигідними, оскільки дозволяють транспортувати великі партії зерна з мінімальними витратами. Проте, загальний стан річкового флоту, зокрема зношеність суден, а також обмежені можливості перевантажувальних терміналів значно уповільнюють зростання обсягів перевезень. Водночас, зважаючи на постійне погіршення стану залізничної та автомобільної інфраструктури, річковий транспорт може стати реальним і вигідним варіантом для заміни цих видів транспорту. [3].

Гармонізацію логістики виробництва та ринкового обігу зерна можна розглядати в кількох напрямках: узгодженість розвитку виробництва та супутньої інфраструктури; відповідність динаміки складових зернового балансу країни, що визначає напрямок його подальших коригувань; емпірична переоцінка ролі зернового експорту через призму практичного аналізу та оцінки можливостей оновлення, модернізації й реорганізації його логістичної інфраструктури.

**Висновки.** Для подальшого зростання експорту необхідно: збільшення кредитування експортно-орієнтованих підприємств; нарощення обсягів страхування воєнних ризиків – для збільшення обсягів контрахування української продукції та залучення додаткових інвестицій; посилення захисту Українського морського коридору, розбудова та розширення пропускної спроможності пунктів пропуску на суходільних кордонах з сусідами – адже ЄС наш стабільний торговельний партнер №1; більше динаміки на шляху до запуску «промислового безвізу» – укладання Угоди про оцінку відповідності та прийнятність промислової продукції (АСАА).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Про схвалення Стратегії розвитку експорту продукції сільського господарства, харчової та переробної промисловості України на період до 2026 року. Розпорядження КМУ від 10 липня 2019 р. № 588-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/588-2019-%D1%80#Text>
2. Івашків І. М. Аналіз формування логістичних систем зберігання насіння олійних та зернових культур в Україні / І. М. Івашків // Економічний аналіз, №3; 2014. – С. 26-39.
3. Дзюбенко Т. Г. Потенціал внутрішнього водного транспорту України в системі зернової логістики / Т. Г. Дзюбенко // Економіка АПК, №2; 2015. – С. 100-104.
4. <https://ukragroconsult.com/>



Секція 11. МЕНЕДЖМЕНТ, ЛОГІСТИКА ТА ТРАНСПОРТНІ  
ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 656.225

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНОВИХ  
КУЛЬТУР НА СУДНО

А.К. Сандлер, к.т.н., доцент

Т.Ю. Омельченко, к.т.н., доцент

Ю.І. Журавльов, к.т.н., доцент

Національний університет "Одеська морська академія"

**Анотація.** Впровадження новітніх технологій перевезення зерна, спрямованих на зниження логістичних витрат є досить актуальною науково-прикладною проблемою для економіки України. Існуючі вантажні системи для перевантаження зерна за технічними характеристиками не повною мірою відповідають зазначеному завданню. Запропоновано нове схемотехнічне рішення для реалізації прискореного перевантаження з залізничних вагонів до суднових трюмів. У розробленій системі запропоновано застосування залізничної колії, яка обладнана пневмомеханічними міжрейковими замками та стопорами вагонів, та міститься на платформі. Платформа розташована у діаметральній площині судна та сполучена поворотними опорами з силовим набором апарелі і палуби, а кришки вантажних трюмів мають секційну конструкцію. Застосування системи, що пропонується, дозволить у цілому сприяти скороченню часу на вантажні операції.

**Ключові слова:** зерно, вагон, вантажна система

## IMPROVING THE TECHNOLOGY OF LOADING CEREALS ONTO A SHIP

Albert Sandler, PhD, Assistant Professor

Taras Omelchenko, PhD, Assistant Professor

Yury Zhuravlev, PhD, Assistant Professor

National University "Odessa Maritime Academy"

**Abstract.** The implementation of the latest grain transportation technologies aimed at reducing logistics costs is a very relevant scientific and applied problem for the economy of Ukraine. The existing cargo systems for grain transshipment do not fully meet the specified task in terms of technical characteristics. A new schematic and technical solution is proposed for the implementation of accelerated transshipment from railway cars to ship holds. In the developed system, it is proposed to use a railway track, which is equipped with pneumatic-mechanical inter-rail locks and carriage stoppers, and is located on the platform. The platform is located in the diametrical plane of the vessel and is connected by rotary supports to the power set of the rigging and the deck, and the covers of the cargo holds have a sectional design. The application of the proposed system will help reduce the time for cargo operations in general.

**Key words:** grain, wagon, cargo system

Зерно є одним з основних товарів, експортованих Україною на міжнародний ринок. При цьому конкурентоспроможність українського зерна на зовнішніх ринках залежить не тільки від якості роботи агропромислового комплексу країни, але й від можливості її транспортної системи забезпечити вивезення зерна в порти для перевалки на морський транспорт із найменшими витратами та зайняти відповідний сектор у світовому руху агропродукції у світі (рис. 1).

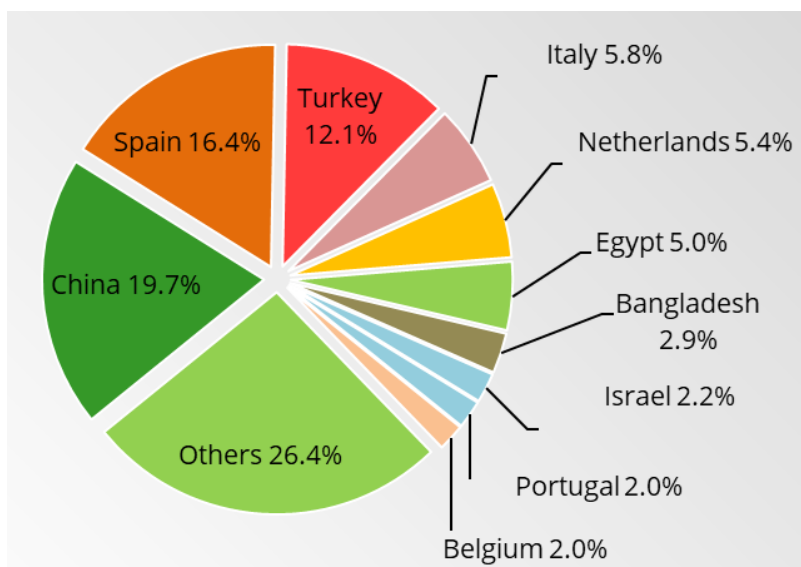


Рисунок 1– Експорт агропродукції морськими шляхами у 2022/23 pp

У цьому зв'язку впровадження новітніх технологій перевезення зерна, спрямованих на зниження логістичних витрат є досить актуальною науково-прикладною проблемою для економіки України. Основна частина зернових вантажів вивозиться з України морськими суднами, на які доводиться більш 90 % експорту. При цьому доставка зерна в морські порти здійснюється по залізницях (61 %), автомобільним транспортом (36 %) і річковим транспортом (3 %). Морський транспорт дозволяє перевозити великі обсяги – зерна, обходячи території, що перебувають під контролем супротивника, і забезпечує доступ до світових ринків, зокрема, до країн, що не мають прямого сухопутного сполучення з Україною.

Таким чином, морське перевезення зерна життєво важливе для економічної стабільності України, підтримки глобальної продовольчої безпеки й виконання зобов'язань перед міжнародними партнерами країни в умовах війни.

Однак успішне впровадження новітніх технологій певним чином стримується недостатнім розвитком припортової залізничної інфраструктури. Переважно припортові залізничні станції на території України були побудовані в часи СРСР для забезпечення імпорту. Однак після знаходження Україною незалежності в структурі економіки країни відбулися значні зміни. У цей час зовнішньоекономічна діяльність переважно пов'язана з експортом сировини, який здійснюється через морські порти.

Досить гостра ситуація з роботою припортових станцій зложилася вже до кінця 2000-х років, яка загострилася в цей час через критичне зношування інфраструктури й рухомого складу залізниць. Додаткові проблеми пов'язані зі змінами структури вантажопотоків, що відбувся після 2014 року. В умовах зростання обсягів перевалки зернових припортові станції змушені переробляти додаткові вагонопотоки, пов'язані з перевезенням імпортованого вугілля, а також експортом надлишку залізничної сировини, що утворювався після зменшення обсягів виробництва металу у країні. У цьому зв'язку нарощування обсягів експорту зерна вимагає інвестицій у розвиток припортової залізничної інфраструктури.

Зазначені проблеми приводять до виникнення суперечливої ситуації, коли, з одного боку, дефіцит рухомого складу й пропускних здатностей інфраструктури залізниць обмежує можливості експорту зерна, а з іншого масове відновлення парку вантажних вагонів-зерновозів і будівництво інфраструктури викличе збільшення вартості залізничних перевезень і їх витиснення автомобільним транспортом. У цьому зв'язку для освоєння бімодальних перевезень зерна залізничним і морським транспортом необхідне використання інноваційних технологій перевезень разом з рухливим складом, що забезпечує їхнім інноваційним рухомим складом [1 - 3].

Для пошуку можливостей зменшення собівартості та часу на здійснення бімодальних перевезень зерна залізничним і морським транспортом проаналізовано застосування найбільш поширених типів технічних засобів для організації перевантажувальних операцій.

Найбільш часто у портах при перевантаженні зерна застосовується система, який містить підкатний розвантажувач під вагон типу "хопер", пересувні стрічкові транспортери, пересувний поворотний стрічковий транспортер для завантаження у судові трюми (рис. 2) [4].



Рисунок 2– Підкатний розвантажувач під вагон типу "хопер"

Багатокомпонентність системи та складність технічного використання та обслуговування обумовила перелік недоліків, що обмежують подальшу модернізацію, а саме. Експлуатація вантажної системи пов'язана з надмірними витрати та залежністю від наявності електроенергії. Надвеликий час на завантаження однієї тони вантажу. Складність загальної установки. Утворення пилового забруднення навколишнього середовища під час вантажних операцій.

Системою, яка має великі резерви для вдосконалення є система, що містить залізничні колії, розташовані на палубі судна, яке обладнано носовими або кормовими апарелями, та відповідний причальний пандус, який змінює свій рівень для сполучення залізничних колій при зміні осадки судна при завантаженні та припливах та відливах (рис. 3) [5].



Рисунок 3 – Залізничний пором під час вантажної операції

Поряд з істотними перевагами цього виду перевезення зерна разом з вагонами сполучене з втратою вантажопідйомності судна за рахунок ваги вагонів, у яких міститься зерно. Велика кількість важких вагонів на палубі створює негативний вплив ваги

вагонів на остійність судна. Існує необхідність вживання додаткових мір з захисту вантажу зерна від впливу агресивного морського середовища.

Таким чином існує негайна необхідність створення суднової вантажної системи для прискореного завантаження зернових культур, конструкція створює непродуктивних втрат вантажопідйомності судна, забезпечує зменшений час вантажних операцій, захист вантажу від впливу агресивного морського навколишнього середовища та у якій одночасно збережені переваги систем відомих типів.

Для розв'язання зазначеного науково-технічного завдання запропонована вантажна система для прискореного завантаження зернових культур на судно, що містить залізничну колію, кормову апарель судна, та відповідний причальний пандус, який змінює свій рівень для сполучення залізничних колій при зміні осадки судна при завантаженні та припливах та відливах. Головна відмінність запропонованої системи полягає у тому, що залізнична колія обладнана пневмомеханічними міжрейковими замками та стопорами вагонів та міститься на платформі, яка розташована у діаметральній площині судна та сполучена поворотними опорами з силовим набором апарелі і палуби, а кришки вантажних трюмів мають секційну конструкцію.

До складу системи входять залізнична колія 1, яка розташована на платформі 6, апарелі 2 та причальному пандусі 3 (рис. 4). Платформа 6 має секційну конструкцію, окремі секції якої сполучені з поворотними опорами 7 [6, 7]. Секції платформи на поворотних опорах 6, обладнані пневмомеханічними міжрейковими замками 5 та мають можливість переводитися у положення перпендикулярно до діаметральної площини судна (рис. 5).

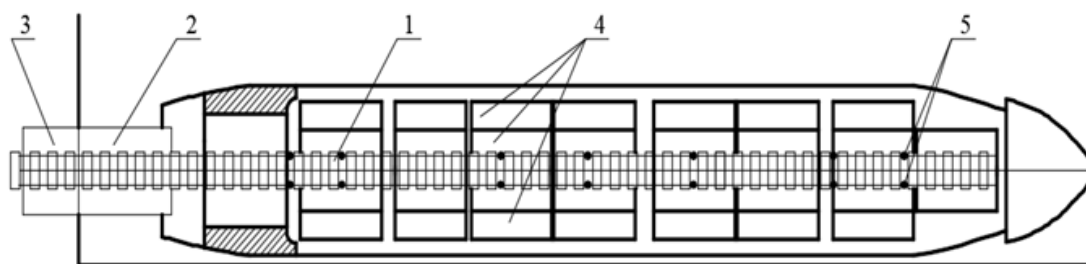


Рисунок 4 – Вантажна система для прискореного завантаження зернових культур на судно: 1 – залізнична колія; 2 – апарель; 3 – причальний пандус; 4 – кришки вантажних трюмів; 5 – пневмомеханічні міжрейкові замки

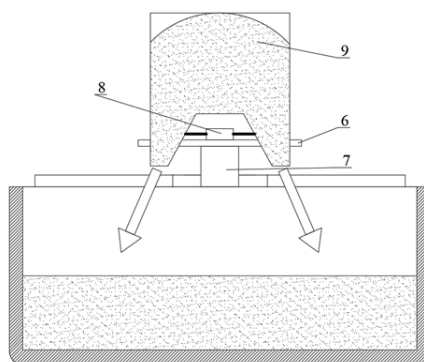


Рисунок 5 – Вантажна система для прискореного завантаження зернових культур на судно: 6 – платформа; 7 – поворотна опора; 8 – пневмомеханічний стопор вагонів; 9 – вагон-хопер з зерновими культурами

Для фіксації вагонів під час вантажних операцій застосовано пневмомеханічні стопори 8 вагонів 9 типу "хопер". Для потрапляння зерна у трюми відкриваються кришки вантажних трюмів 4.

Перед початком вантажної операції усі секції платформи розташовуються уздовж діаметральної площини судна та замикаються пневмомеханічні міжрейкові замки. Апарель сполучується з причальними пандусом. Кришки трюмів відкриваються.

Для початка вантажної операції вагони з зерном пересуваються через пандус та апарель на платформу, фіксуються пневмомеханічними стопорами та у вагонів відкриваються нижні вантажні люки. Після вивільнення вагонів від вантажу зерна вони звільняються від стопорів та пересуваються на причал. Операція повторюється до необхідного рівня завантаження судна. Після чого кришки трюмів закриваються та фіксуються. Апарель розмикається з причальним пандусом та переводиться у похідний стан.

Для розвантаження судна пневмомеханічні міжрейкові замки розмикаються та секції платформи переводяться у положення перпендикулярно до діаметральної площини судна. Це дозволяє відкрити усі секції кришок вантажних трюмів для прискорення вивантаження зерна. Після вивантаження кришки закриваються, секції платформи переводяться у положення уздовж діаметральної площини судна та блокуються пневмомеханічними міжрейковими замками [8, 9].

Технічний ефект досягається завдяки тому, що можливість розвантаження вагонів безпосередньо у вантажні трюми судна забезпечує:

- відсутність втрати вантажопідйомності судна за рахунок ваги вагонів, які транспортуються разом з зерновими культурами;
- підтримку остійності судна у специфікаційних межах;
- відсутність вживання додаткових мір з захисту вантажу зерна від впливу агресивного морського середовища.

Окрім перелічених можливостей зазначений спосіб розвантаження вагонів може надати новий імпульс розвитку системам безпеки морських поромних перевезень придушення пилового забруднення атмосфери, а також сприяти подальшому розвитку новітніх технологій морських перевезень [10 - 12].

Застосування системи, що пропонується, дозволить у цілому сприяти суттєвому збільшенню кількісних показників економічності морських перевезень зернових культур.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Николаева, Л. Л. Морские перевозки. – Одесса: Феникс, 2012. – 187 с.
2. Мямлин, С. В., Коробьева, Р. Г., Малашкин, В. В., Бесараб, Д. А. Совершенствование зерновой логистики за счет внедрения бимодальных технологий // Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – 2017. – Вип. 14. – С. 69 - 77.
3. Перевозка зерна по морю. URL: <https://ukragroconsult.com/ru/perevozka-zerna-po-moryu>.
4. Передвижная линия перегрузки зерновых из вагонов на корабль, до 200 т/час. URL: <https://www.fasovka.com.ua/korabl.html>
5. Железнодорожные паромы. URL: <https://korabley.net/publ/1046.html>
6. Горячев, А. М., Подругин, Е. М. Устройство и основы теории морских судов. – Л.: Судостроение, 1983. – 224 с.
7. Дрозд, О. В. Суднове такелажне обладнання для надважких вантажів // Theoretical and practical aspects of modern scientific research: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, Seoul, June 21, 2024. Seoul-Vinnitsia: Case Co., Ltd. & UKRLOGOS Gr. – С. 179-185.
8. Дрозд, Е. В., Сандлер, А. К. Техногенна безпека при обробці зернових культур // Аграрний вісник Причорномор'я. – 2009. – № 48. – Одеса: ОДАУ. – С. 72 - 76.
9. Сандлер, А. К., Опришко, М. О. Автоматизований засіб підвищення безпеки під час перевантаження зернових культур на судах // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2021. – Т. 13. – №. 1. – Одеса: ОНАХТ. – С. 50 - 54. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v13i1.2000>.
10. Сандлер, А. К. Автоматизований засіб підвищення безпеки морських поромних перевезень // XI міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автомати-

ка", 23.11.2021 - 24.11.2021 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ "ОМА". – 2021. – С. 169 - 174. DOI: 10.31653/2706-7874.SEEEE -2021.11.1-238.

11. Сандлер, А. К., Савчук, О. С. Автоматизований засіб очищення повітря під час вантажних операцій з зерновими культурами у портах // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2021. – Т. 13. – №. 3. – Одеса: ОНАХТ. – С. 34 - 38. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v13i3.2145>.

12. Сандлер, А. К., Омельченко, Т. Ю. Удосконалення технології перевезення зернових культур на судах // VI International Scientific and Theoretical Conference "The process and dynamics of the scientific path" 05.07.2024 Athens, Hellenic Republic. UKRLOGOS Group LLC., 2024. – P. 40 - 42. DOI: <https://doi.org/10.36074/scientia-05.07.2024>.

УДК 338.264:504.42

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ІСНУЮЧИХ МЕХАНІЗМІВ КОНТРОЛЮ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ В ПОРТАХ

**А.В. Допіра**, здобувач другого рівня вищої освіти  
**І.А. Голубкова**, д.е.н., професор  
Національний університет "Одеська морська академія"

**Анотація:** У статті проаналізовано сучасні механізми контролю та попередження забруднення повітря в портах. Досліджено основні джерела забруднення повітря в портових зонах та їх вплив на довкілля. Розглянуто міжнародні стандарти щодо викидів та методи моніторингу якості повітря, включаючи безперервний моніторинг та періодичний контроль. Особлива увага приділена інноваційним технологіям контролю, таким як диференціальна оптична абсорбційна спектроскопія та використання безпілотних літальних апаратів. Визначено основні тенденції розвитку методів контролю забруднення повітря в портах.

**Ключові слова:** порти, забруднення повітря, екологічний моніторинг, викиди суден, екологічні стандарти, системи контролю.

## ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF EXISTING MECHANISMS FOR CONTROLLING AND PREVENTING AIR POLLUTION IN PORTS

**A.V. Dopira**, second-level graduate of higher education  
**I.A. Golubkova**, Dr. of Science, Professor  
National University "Odessa Maritime Academy"

**Abstract:** The article analyzes modern mechanisms for controlling and preventing air pollution in ports. The main sources of air pollution in port areas and their environmental impact are investigated. International emission standards and air quality monitoring methods, including continuous monitoring and periodic control, are examined. Special attention is paid to innovative control technologies such as differential optical absorption spectroscopy and the use of unmanned aerial vehicles. The main trends in the development of air pollution control methods in ports are identified.

**Key-words:** ports, air pollution, environmental monitoring, vessel emissions, environmental standards, control systems.

У сучасному світі, що швидко змінюється, портова галузь стикається з безпрецедентними викликами, які охоплюють широкий спектр факторів: від технологічних інновацій та зміни глобальних торговельних потоків до посилення екологічних норм та зростаючих очікувань суспільства. Для збереження та покращення своїх ринкових позицій порти змушені відповідати все більш складним та багатогранним вимогам, які стосуються не лише опера-

ційної ефективності та економічної продуктивності, але й екологічної стійкості, соціальної відповідальності та технологічної інноваційності.

Одним з найбільш значущих аспектів сучасних викликів для портів є сфера захисту навколишнього середовища, де вимоги стають все більш жорсткими та комплексними, охоплюючи такі питання як зменшення викидів парникових газів, управління відходами, зниження шумового забруднення, захист морського біорізноманіття, підвищення енергоефективності та управління якістю води.

Порти та пов'язана з ними діяльність мають значний вплив на довкілля та здоров'я людей. Вони не лише споживають різноманітні ресурси, як-от воду, електроенергію та землю, а й суттєво погіршують якість повітря в прибережних районах. Особливо небезпечними для здоров'я є дрібнодисперсні частинки та діоксид азоту. За оцінками, щорічні викиди оксидів азоту від суден можуть сягати 5-10% від загальносвітових, а в окремих регіонах - навіть 30-40%.

Забруднення від суден концентрується переважно поблизу узбережжя та в самих портах. При цьому кораблі більше забруднюють повітря, стоячи біля причалу, ніж під час маневрування. Важливими факторами є також діяльність терміналів, портової промисловості та логістики. У деяких азійських портах концентрація дрібнодисперсних частинок може сягати 7-26% від загального забруднення повітря.

Різні види вантажів створюють специфічні проблеми. Наприклад, при перевалці рідких вантажів основною проблемою є викиди летких органічних сполук, а сипучі вантажі (зерно, вугілля, руда) можуть бути джерелом пилу. Круїзне судноплавство, яке швидко розвивалося в останнє десятиліття, також значно впливає на якість повітря.

Для зменшення проблеми одним із найбільш впливових рішень стало, без сумніву, введення в дію нового стандарту щодо викидів оксидів сірки. Затверджений Міжнародною морською організацією (ІМО) та чинний з 01.01.2020, він встановлює нову межу вмісту сірки в паливі, що використовується на суднах, з 3,5% маси/поточної маси до 0,5%. Однак відповідно багатьох судноплавних компаній стала установка скрубєрів або газових очищувачів. Ця альтернатива дозволяє використовувати той самий тип палива, але зменшує викиди сірки. Проблема полягає в тому, що в багатьох випадках надлишки зливаються в море, що може поставити під загрозу морське біорізноманіття.

Також ІМО прийняла початкову стратегію щодо скорочення викидів парникових газів із суден у 2018 році. У відповідності з цією початковою стратегією ІМО прийняла Розділ 4 Додатку VI до MARPOL. Важливі поправки до Розділу 4 Додатку VI MARPOL щодо енергоефективності існуючих суден та викидів вуглецю в міжнародному судноплавстві. Так, з 1 січня 2023 року судна, зареєстровані в країнах, які підписали MARPOL, перевірятимуть свої викиди вихлопних газів під час наступного щорічного, проміжного або поновленого обстеження судна з використанням шкали, відомої як індекс енергоефективності існуючих суден (ЕЕХІ) [1].

Нові екологічні стандарти вимагають певних методів контролю за їх дотриманням. Методи контролю за забрудненням повітря в портових зонах можна розділити на дві основні категорії: безперервний моніторинг та періодичний контроль. Кожен з цих методів має свої особливості та сфери застосування.

Безперервний моніторинг здійснюється за допомогою автоматизованих систем, які використовують різні технологічні рішення. Одним з найефективніших є метод диференціальної оптичної абсорбційної спектроскопії (DOAS), який дозволяє одночасно вимірювати концентрації різних забруднюючих речовин. Принцип роботи базується на законі Ламберта-Бера, згідно з яким світловий промінь, проходячи через середовище, взаємодіє з ним, що дозволяє визначити концентрацію газів.

Інший поширений метод - використання електрохімічних сенсорів та газових аналізаторів. Сучасні системи моніторингу часто базуються на комбінації різних типів сенсорів: електрохімічних, каталітичних, напівпровідникових, інфрачервоних недисперсійних (NDIR)

та фотоіонізаційних детекторів (PID). Кожен тип сенсорів має свої переваги та обмеження, тому їх комбінування дозволяє досягти оптимальних результатів.

Особливу увагу приділяють моніторингу суднових викидів. Для цього використовують як стаціонарні системи на терміналах, так і мобільні рішення. Інноваційним підходом є застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА), оснащених спеціальними сенсорними модулями. БПЛА можуть ефективно відстежувати викиди суден під час їх руху в акваторії порту, передаючи дані через мережі 4G або 5G [4].

Періодичний контроль здійснюється шляхом відбору проб повітря та їх подальшого аналізу в лабораторних умовах. Існує два основні методи відбору проб: прямий та збагачувальний (концентраційний). Прямий метод застосовується при високих концентраціях забруднювачів, а збагачувальний - при низьких. Збагачувальний метод може бути активним (з використанням насосів) або пасивним (заснованим на молекулярній дифузії).

Сучасні пробовідбірники стають все більш інтелектуальними та інтегрованими. Наприклад, існують комбіновані пробовідбірники, здатні одночасно відбирати проби різних забруднюючих речовин через незалежні канали. Деякі системи оснащені функціями дистанційного керування та автоматичного регулювання швидкості відбору проб.

Важливим аспектом є інтеграція різних методів моніторингу в єдину систему управління якістю повітря в порту. Сучасні системи використовують технології бездротової передачі даних (ZigBee, LoRa) для створення мережі моніторингових станцій. Це дозволяє отримувати комплексну картину забруднення та оперативно реагувати на зміни ситуації.

Тенденції розвитку методів контролю спрямовані на:

- Підвищення точності та надійності вимірювань.
- Розширення спектру забруднювачів, що відстежуються.
- Зменшення розмірів та вартості обладнання.
- Покращення інтеграції різних систем моніторингу.
- Розвиток технологій обробки та аналізу даних.
- Впровадження предиктивної аналітики для прогнозування рівнів забруднення.

**Висновки.** На нашу думку, оптимальним підходом є комбінування різних методів контролю, що дозволяє забезпечити надійний моніторинг якості повітря та відповідність екологічним нормам. При цьому автоматизовані системи забезпечують безперервний контроль, а періодичні лабораторні аналізи служать для валідації їх показань та калібрування. Майбутнє розвитку методів контролю лежить у площині підвищення точності вимірювань, розширення спектру контрольованих забруднювачів та впровадження предиктивної аналітики. Це дозволить не лише реагувати на поточні проблеми, але й прогнозувати потенційні ризики забруднення та вживати превентивних заходів для їх запобігання. Таким чином, успішне вирішення екологічних проблем у портовій галузі вимагає збалансованого підходу, що поєднує впровадження жорстких міжнародних стандартів, розвиток ефективних технологій очистки та створення комплексних систем моніторингу забруднення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, London, 2 November 1973, <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/ConferencesMeetings/Documents/MARPOL%201973%20-%20Final%20Act%20and%20Convention.pdf> (дата звернення: 02.10.2024).
2. Protocol relating to the International Convention for the Prevention of Pollution by Ships, 1973, London, 17 February 1978. <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/ConferencesMeetings/Documents/MARPOL%20Protocol%20of%201978.pdf> (дата звернення: 02.10.2024).
3. Amendments to Annex 6 of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships: Prevention of air pollution from ships, London, 1 November, 2022. [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.328\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.328(76).pdf) (дата звернення: 02.10.2024)



4. Ye Y, Geng P. A Review of Air Pollution Monitoring Technology for Ports. Applied Sciences. 2023; 13(8):5049. <https://doi.org/10.3390/app13085049>

5. César Ducruet, Bárbara Polo Martin, Mame Astou Sene, Mariantonia Lo Prete, Ling Sun, Hidekazu Itoh, Yoann Pigné, Ports and their influence on local air pollution and public health: A global analysis, Science of The Total Environment, Volume 915, 2024

УДК 656.615:005.332.4:338.47

## УПРАВЛІНСЬКІ ВИКЛИКИ ДЛЯ СТИВІДОРНИХ КОМПАНІЙ УКРАЇНИ ПІД ЧАС ВОЄННИХ ДІЙ ТА БЛОКАДИ ЧОРНОГО МОРЯ

**О. В. Міклухо**, здобувач другого рівня вищої освіти  
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:** Дослідження присвячене управлінським викликам для українських стивідорних компаній під час воєнних дій і блокади Чорного моря. Розглянуто адаптаційні стратегії, спрямовані на підтримку стабільності діяльності компаній, забезпечення безпеки, пошук альтернативних логістичних маршрутів і підтримку фінансової стійкості. Запропоновані рекомендації для зміцнення стійкості національної морської логістики в умовах кризи.*

***Ключові слова:** управлінські виклики, стивідорні компанії, воєнні дії, адаптаційні стратегії, блокада Чорного моря, фінансова стійкість, логістичні маршрути.*

## MANAGEMENT CHALLENGES FOR UKRAINIAN STEVEDORING COMPANIES DURING MILITARY ACTIONS AND THE BLOCKADE OF THE BLACK SEA

**O. Miklukho**, second-level graduate of higher education  
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:** The study addresses the managerial challenges faced by Ukrainian stevedoring companies during the military actions and Black Sea blockade. It examines adaptation strategies aimed at maintaining company stability, ensuring security, exploring alternative logistics routes, and supporting financial resilience. Recommendations are provided to enhance the resilience of the national maritime logistics sector under crisis conditions.*

***Key-words:** managerial challenges, stevedoring companies, military actions, adaptation strategies, Black Sea blockade, financial resilience, logistics routes.*

Управлінські виклики, з якими стикаються українські стивідорні компанії під час війни, є важливим питанням для подальшого розвитку морської логістики та міжнародної торгівлі України. З початком повномасштабних військових дій та блокади Чорного моря національні стивідорні підприємства опинилися перед безпрецедентними проблемами, які вимагають швидкого реагування та впровадження ефективних управлінських рішень. Ці компанії, які займаються вантажними операціями, втратили можливість повноцінно працювати через блокування основних морських шляхів, що стало серйозним ударом для національної економіки, оскільки обмежило доступ до зовнішніх ринків для українського експорту.

Забезпечення стабільності критично важливих логістичних потоків в умовах військової загрози потребує суттєвих змін у стратегіях та підходах до управління. Для стивідорних компаній важливими є не тільки пошук альтернативних маршрутів і партнерських зв'язків із сусідніми країнами, але й адаптація інфраструктури для використання дунайських портів та внутрішніх водних шляхів. Це питання є актуальним також з огляду на те, що національні стивідорні компанії намагаються зберегти свою позицію на міжнародному ринку в умовах серйозних економічних ризиків та обмежених інвестиційних можливостей.

Управлінські виклики в цих умовах включають необхідність забезпечення безпеки як персоналу, так і інфраструктури, пошук нових логістичних рішень, управління фінансовими ризиками та підтримку конкурентоспроможності на світовій арені. Це дослідження спрямоване на те, щоб окреслити основні проблеми, з якими стикаються стивідорні компанії під час воєнних дій, а також розробити рекомендації для ефективного подолання цих викликів, що сприятиме збереженню та розвитку української морської логістики.

Основні управлінські виклики для стивідорних компаній під час воєнних дій. Воєнні дії та блокада Чорного моря поставили українські стивідорні компанії перед численними управлінськими викликами, які потребують оперативних, адаптивних рішень. У сучасних умовах ці компанії відіграють ключову роль у підтримці стабільності національної економіки, забезпечуючи експортний потік вантажів через альтернативні маршрути. У цій ситуації управління стивідорними компаніями вимагає особливої уваги до питань безпеки, оперативного планування, адаптації інфраструктури та управління фінансовими ризиками.

Першим викликом для стивідорних компаній є безпека персоналу та інфраструктури. Блокада портів та загроза обстрілів створюють серйозні ризики для працівників і можуть призводити до пошкоджень обладнання та споруд. У відповідь компанії розробляють та впроваджують протоколи евакуації, заходи щодо посилення безпеки, а також змінюють логістику для зниження ризиків під час обробки вантажів.

Другий виклик — логістичні обмеження та пошук альтернативних маршрутів. Через закриття основних чорноморських портів українські стивідорні компанії змушені переорієнтувати вантажі на Дунайські порти, зокрема Ізмаїл і Рені, а також на залізничний транспорт. Це потребує додаткових інвестицій у внутрішню інфраструктуру та партнерство з європейськими країнами для забезпечення транзитних перевезень. Наприклад, Румунія та Болгарія стали важливими логістичними центрами, через які здійснюється значна частина українського експорту.

Третій аспект — управління фінансовими ризиками та збереження конкурентоспроможності. В умовах воєнних дій значно зросли витрати на логістику, а нестабільність ринку впливає на дохідність підприємств. Стивідорні компанії зосереджуються на скороченні витрат та підвищенні ефективності операцій, шукаючи фінансову підтримку та співпрацю з міжнародними організаціями. Інвестування у гнучкі бізнес-процеси та оптимізація операцій дозволяють компаніям зберегти конкурентоспроможність, попри складні економічні умови.

Четвертим управлінським викликом є адаптація технологічної бази та інфраструктури. У зв'язку з переходом на нові маршрути, компанії змушені змінювати підходи до інфраструктурних рішень, зокрема модернізувати порти та розширювати можливості обробки вантажів. Це включає встановлення нових технічних засобів, які забезпечують швидку та ефективну обробку вантажів, а також перехід на цифрові технології для підвищення ефективності управління.

Таким чином, основні управлінські виклики для українських стивідорних компаній в умовах воєнних дій охоплюють питання безпеки, логістики, фінансової стійкості та технологічної адаптації. Розробка ефективних адаптаційних стратегій є важливою передумовою для забезпечення стабільного функціонування портової галузі та підтримки національної економіки.

Адаптаційні стратегії стивідорних компаній в умовах блокади Чорного моря. Військові дії та блокада Чорного моря суттєво змінили умови роботи українських стивідорних компаній, які змушені оперативно адаптувати свою діяльність, щоб забезпечити продовження експортних операцій та мінімізувати втрати. Адаптаційні стратегії, які використовують українські стивідорні компанії, спрямовані на розробку нових логістичних маршрутів, посилення співпраці з міжнародними партнерами, а також на модернізацію та переорієнтацію інфраструктури.

Основним елементом адаптаційних стратегій є пошук альтернативних експортних шляхів. Через закриття чорноморських портів частина вантажопотоків переорієнтована на дунайські порти Ізмаїл та Рені, а також на залізничні маршрути. Такі порти, як Констанца в Румунії та порти Болгарії, відіграють ключову роль як транзитні точки для українського експорту. Це дає можливість частково компенсувати обмеження на морське сполучення, однак такі рішення вимагають значних інвестицій у логістичну інфраструктуру та координацію з європейськими партнерами.

Іншим важливим аспектом є оптимізація логістичних процесів для підвищення ефективності в нових умовах. Це передбачає вдосконалення технологій для обробки вантажів, зокрема цифровізацію управлінських процесів, інтеграцію автоматизованих систем контролю та моніторингу вантажопотоків. Використання новітніх технологій дозволяє знизити час на обробку вантажів, скоротити витрати та підвищити ефективність логістичних операцій, що є критично важливим за обмежених ресурсів.

Для забезпечення безпеки персоналу та інфраструктури компанії розробляють стратегії ризик-менеджменту. Це включає заходи для мінімізації ризиків, таких як оновлення протоколів безпеки, навчання персоналу, проведення регулярних перевірок наявного обладнання та інфраструктури. Окрім цього, компанії активно працюють над посиленням охорони портів і розробкою оперативних планів евакуації у разі небезпеки.

Стивідорні компанії також приділяють значну увагу підтримці фінансової стійкості. Збільшення витрат на логістику внаслідок перенаправлення маршрутів та ризику, пов'язані з нестабільною економічною ситуацією, змушують компанії шукати зовнішні джерела фінансування, зокрема міжнародну підтримку. Це може бути доступ до кредитних ліній, співпраця з міжнародними фінансовими установами, а також оптимізація операційних витрат для підтримки стабільного фінансового становища.

Крім того, стивідорні компанії фокусуються на стратегічному партнерстві з іншими портами та транспортними операторами. Співпраця з міжнародними партнерами дозволяє створити більш стійку та гнучку логістичну мережу, що забезпечує безперебійний потік вантажів. У контексті блокади Чорного моря такі зв'язки з країнами-сусідами сприяють ефективній адаптації до умов блокади, а також розширюють можливості для розвитку нового бізнес-середовища.

Отже, адаптаційні стратегії стивідорних компаній України в умовах блокади Чорного моря включають переорієнтацію вантажопотоків на альтернативні маршрути, цифровізацію управлінських процесів, посилення заходів безпеки та оптимізацію фінансових витрат. Такі кроки дозволяють компаніям зберегти стабільність діяльності та мінімізувати негативний вплив блокади на національну економіку.

**Висновки.** У результаті дослідження було виявлено основні управлінські підходи, які стивідорні компанії можуть використовувати для забезпечення стабільної роботи в умовах війни та блокади Чорного моря. По-перше, визначальне значення має пошук альтернативних маршрутів для експорту, зокрема через порти сусідніх країн та річкові порти. Це допомагає уникнути логістичних затримок і підтримувати стабільний експорт.

По-друге, важливо оптимізувати внутрішні логістичні процеси, підвищуючи їхню гнучкість. Наприклад, запровадження цифрових технологій дозволяє знизити ризики простоїв та підвищити ефективність роботи портів навіть в умовах обмеженого доступу до ресурсів. Цифровізація управлінських процесів дозволяє швидше реагувати на зміни в ринковій ситуації, зокрема в умовах зміни маршрутів або потреби у швидкому переорієнтуванні вантажопотоків.

По-третє, важливим є зміцнення співпраці з міжнародними партнерами та пошук нових джерел фінансування. Це дозволяє забезпечити додаткові ресурси для стабілізації операцій та оновлення інфраструктури, що особливо важливо для підтримання конкурентоспроможності компаній. Створення резервних фінансових фондів також стає ключовим заходом для подолання непередбачуваних кризових ситуацій.

Запропоновані заходи з адаптації сприятимуть розвитку стійкої системи управління стивідорними компаніями, яка здатна швидко адаптуватися до кризових умов, забезпечувати надійність роботи та зберігати позиції українських портів на міжнародному ринку навіть у складних обставинах.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Державна стратегія розвитку морських портів України на період до 2038 року. Міністерство інфраструктури України.
2. Panayides P. M., Song D. W. Maritime logistics as an emerging discipline. *Maritime Policy & Management*. 2013. Vol. 40, №3. P. 295-308.
3. Rodrigue J. P., Notteboom T. *The geography of transport systems*. Routledge, 2020.
4. Балабанов Г. І., Савчук О. Г. Сучасні виклики для українських стивідорних компаній в умовах геополітичної кризи. *Вісник економічної науки України*. 2022. № 1(42). С. 56-63.

УДК 621.311.245

### АЛЬТЕРНАТИВНА КОНСТРУКЦІЯ ВІТРИЛЬНОГО ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСУ

**О.Ю. Карпілов**, старший викладач

**В.Б. Удолатій**, асистент

**А.К. Сандлер**, к.т.н., доцент

Національний університет "Одеська морська академія"

***Анотація.** Безпрецедентне зростання вартості вуглеводневого палива вимагає конструкторів морських суден сконцентрувати всі зусилля на вживанні оперативних заходів на існуючих судах. Одним з варіантів рішення проблеми може стати переоснащення суден вітрилами й схожими пристосуваннями. Кінцева мета – це безвуглецеве паливо на судах, але поки цього не відбулося, потрібно домагатися того, щоб кожний рейс був максимально економічним, і оптимізація вартості плавання – це важлива частина боротьби за ефективність морських транспортних операцій.*

***Ключові слова:** вітрильний пропульсивний комплекс*

### ALTERNATIVE DESIGN OF SAILING PROPULSION COMPLEX

**Oleksandr Karpilov**, Senior Lecturer

**Victoriya Udolatiy**, Assistant

**Albert Sandler**, PhD, Assistant Professor

National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract.** The unprecedented increase in the cost of hydrocarbon fuel requires designers of marine vessels to concentrate all their efforts on taking operational measures on existing vessels. One of the options for solving the problem may be the re-equipment of ships with sails and similar devices. The ultimate goal is carbon-free fuel on ships, but until that happens, it is necessary to ensure that every voyage is as economical as possible, and optimizing the cost of sailing is an important part of the struggle for the efficiency of maritime transport operations.*

***Keywords:** sailing propulsive complex*

На думку експертів, застосування енергії вітру в судноплавстві – це досить перспективний напрямок для досліджень.

Галузь генерує приблизно 837 млн тон вуглекислого газу в рік, і в липні запропонувала звести викиди до нуля до 2050 року або близько того, що, на думку критиків, явно недостатньо.

На думку Саймона Буллока, дослідника судноплавства в Центрі Тиндалла при Манчестерському університеті, вітроенергетика може суттєво змінити ситуацію. За його словами, нові, більш чисті види палива з'являться не відразу. Це змушує сконцентрувати всі зусилля на вживанні оперативних заходів на існуючих судах. Одним з варіантів рішення проблеми може стати переоснащення суден вітрилами й схожими пристосуваннями.

Кінцева мета – це безвуглецеве паливо на судах, але поки цього не відбулося, потрібно домагатися того, щоб кожний рейс був максимально економічним, і оптимізація вартості плавання – це важлива частина боротьби за ефективність морських транспортних операцій.

Стівен Гордон, керуючий директор компанії Clarksons Research, що спеціалізується на аналізі даних морських перевезень, згодний з тим, що технології, пов'язані із застосуванням вітру, набирають оберти. За останній рік кількість суден, що використовують додаткові вітрильні рушії, подвоїлося. Але в загальному обсязі замовлень на нові одиниці світового флоту, який нараховує більш 110 тисяч суден, на сьогоднішній день технології вітру використовують менш сотні суден.

У зв'язку з вищевикладеним, завдання створення раціональної схеми вітрильного пропульсивного комплексу (ВПК), з метою підвищення економічності морських перевезень, є актуальним науково-технічним завданням і має важливе наукове й практичне значення [1, 2].

Найважливіше значення для надійності, довговічності та ефективності ВПК мають значення величин граничних швидкостей вітру в зоні їх використання. Вони визначають прийнятні розрахункові нормативи при проектуванні елементів установки на міцність, параметри автоматичних систем управління, аеродинамічні характеристики лопатей. Суттєвою характеристикою є вертикальний профіль вітрового потоку, тобто градієнт його швидкості по висоті в приземному шарі. Вплив поверхні на швидкість і напрям вітру зменшується в міру збільшення висоти. Внаслідок чого швидкість вітрового потоку зростає, а поривчастість і прискорення зменшуються. Градієнт швидкостей має сезонний розподіл, який залежить від вертикального перепаду температур [3].

Відомі узагальнюючі формули для визначення швидкості вітру за вертикальною координатою. З них найбільш проста залежність для висоти від 5 м і вище має такий вигляд:

$$v = v_{\text{ЛА}} \left( \frac{h}{h_{\text{ЛА}}} \right)^k,$$

де  $v_{\text{ЛА}}$  – швидкість вітру на висоті розташування осі лопатевого апарату;  $h_{\text{ЛА}}$  – висота розташування осі лопатевого апарату;  $v$  – швидкість, обумовлена для висоти  $h$ ;  $k$  – степеневий показник.

Проблема полягає у виборі значень показника  $k$ , значення якого коливається у діапазоні 0,143 ... 0,26. Але відомо, що при вимірах на різних висотах значення  $k$  досягають 0,34.

Зростання параметрів ВПК, як наслідок, збільшення габаритів та площі вітрил вимагають певної точності у визначенні заданого показника  $k$ , тому що некоректне значення  $k$  може привести до значної погрішності у визначенні середньорічної продуктивності ВПК.

Так, для  $v_0=6,0$  м/с на висоті  $h_0 = 10$  м при перерахуванні на висоту 50 м і використанні значень  $k = 0,12$  або  $k = 0,167$  у підсумку одержимо значення потужності, що відрізняються на ~25% [4].

Таким чином доведено що, яруси, які перебувають у різних шарах вітрового потоку та на різній відстані від поверхні, будуть випробувати різний силовий вплив. Внаслідок чого, у системі ВПК будуть відбуватися певні дисбаланси явища, які негативним чином вплинуть на роботоспроможність та довговічність установки.

Мета дослідження – вдосконалення ВПК, яка забезпечить регулювання вітрового навантаження на вітрило в залежності від його положення відносно вітрового шару, та у якому одночасно збережені надійність та простота схмотехнічних рішень ВПК відомих типів.

Відомий ВПК, що складається з щогли, в якій змонтовано жорсткі вітрила (рис. 1) [4].

Суттєвим недоліком такого ВПК є неможливість адекватно відстежувати та реагувати на зміну вітрового навантаження та нерівномірність навантаження на яруси що знаходяться у різних шарах вітрового потоку. Як наслідок складність регулювання та підвищене зношування механічної системи установки. Крім того, застосування такого ВПК не дозволяє ефективно використовувати "верхній" вітер.



Рисунок 1 – Вітрильний пропульсивний комплекс судна яке побудоване за концепцією Oceanbird



Рисунок 2 – Вітрильний пропульсивний комплекс судна "Beluga SkySails"

Більш досконалим, з точки зору використання енергії різних шарів вітру є ВПК судна "Beluga SkySails" (рис. 2).

Застосування "повітряного змія" дозволяє заощаджувати до 25% палива за час переходу. На цей проект, конструкторів навела думка, про існування раніше вітрил практично на всіх кораблях. Але ідея додаткових вітрил була відразу відкинута, по-причині необхідності установки для них гігантських щогл. У пропонованій технології щогли не потрібні, а керування повітряним вітрилом повністю автоматизоване. Точка кріплення буксирального троса міститься на баці транспортного судна. Робоча висота вибирається програмою залежно від напрямку й швидкості вітру, враховуючи при цьому й курс судна [5].

Не зважаючи на переваги технології "повітряного змія", є і певні обмеження та недоліки. Головним уявляється неефективне використання енергії вітру з всією довжиною буксирального троса.

На підґрунті аналізу роботи вищезазначеного ВПК запропоноване нове схмотехнічне рішення вітрильного комплексу. Основна відміна якого полягає у тому, що застосовується багатоярусний вітрильний апарат з індивідуальним керуванням кожним ярусом та повітряна куля для підйому буксирального троса на робочу висоту (рис. 3).

Повітряна куля має пристрій для наповнення легким газом для створення підйомної сили та вузли для кріплення буксирувальних та управляючих тросів. Кожен ярус вітрил сполучений буксирувальними та управляючими тросами з автоматичною лебідкою.

Кожний ярус також обладнаний азимутальним датчиком вітру, який має волоконно-оптичне виконання [6]. Сигнали від азимутального датчику вітру кожної лопаті надходять на центральний процесор установки, де опрацьовуються та перетворюються на керуючий сигнал для приводу відповідного тросу [7 - 9].

У динамічному режимі робота ВПК полягає в такому. Повітряна куля наповнюється легким газом та за допомогою відповідних тросів підіймається на відповідну висоту. За допомогою управляючих тросів активуються відповідні яруси вітрил. Вітрове навантаження кожного ярусу контролюється азимутальним датчиком вітру. Це дозволить вирівняти навантаження на кожен ярус, залежно від вітрового навантаження в кожному вітровому шарі й уникнути деструктивних деформацій комплексу.

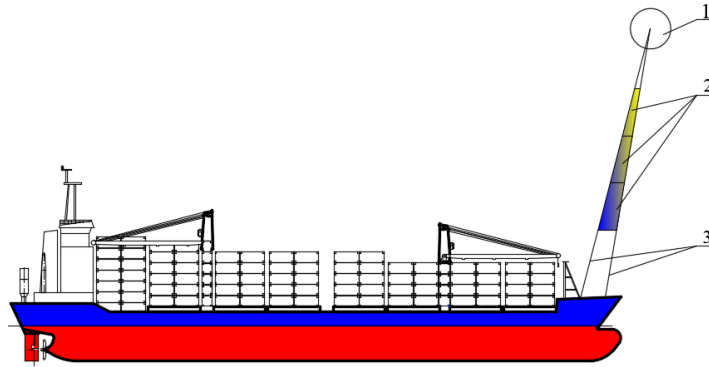


Рисунок 3 – Багатоярусний вітрильний пропульсивний комплекс:  
1 – повітряна куля; 2 – вітрила; 3 – буксирувальні та управляючі троси

Перед переходом до маневрового режиму виконується згортання ВПК шляхом згортання усіх активних ярусів та підтягування кулі до корпусу судна.

У аварійному режимі при обмеженому ліміті часу на прибирання ВПК у похідне положення троси можуть бути роз'єднані за допомогою піропатронів.

Ваго-габаритні характеристики ВПК, а саме тросів і вітрил, можуть бути знижені за рахунок використання новітніх конструкційних матеріалів на основі нанотрубок [10].

Запропоноване схемотехнічне рішення ВПК завдяки застосуванню керованої повітряної кулі забезпечить технічний ефект, який полягає у можливості роботи у всіх доступних вітрових шарах.

Передбачається, що використання зазначеного ВПК дозволить заощадити до 1,5 тон палива в день і скоротити обсяг викидів вуглекислого газу на 30% за весь термін служби вантажного судна.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сандлер, А. К., Опришко, М. О. Вдосконалення лопатевого апарату вітроенергетичних установок // Суднові енергетичні установки. – 2023. – Вип. 47. – Одеса: НУОМА. – С. 172 - 177. DOI: 10.31653/smf47.2023. 172-178.
2. Основи вітроенергетики / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Нойбергер, Д. Ципленков. – Дніпро: Національний гірничий університет, 2015. – 335 с.
3. Голубенко, Н. С., Довгалоук, С. И, Фельдман, А. М., Худик, В. Б. О зависимости скорости ветра от высоты с учетом рельефа местности. URL: <https://electroavtosam.com.ua/forums/download/file.php?id=1450>.
4. Сухогруз с гигантскими парусами вышел в свое первое плавание. URL: <https://charter97.org/ru/news/2023/8/21/560653/>
5. Новый вид паруса для судов. URL: <https://shipshub.com/ru/article/66-2.html>.
6. Заїчко С. І., Сандлер А. К., Цюпко Ю. М. Схемотехнічне рішення азимутального датчику вітру // Судовождение. – 2015. – Вип. 26. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 93 -98.
7. Карпілов, О. Ю., Удолатій, В. Б., Сандлер, А. К. Автоматизований вітрильно-рушійний комплекс – новітні вітрила на "старих" щоглах // Грааль науки: міжнар. наук. журнал. – Вінниця: ГО "Європейська наукова платформа"; НУ "Інститут науково-технічної інтеграції та співпраці", 2024. – № 39. – С. 369 - 374. DOI 10.36074/grail-of-science.10.05.2024.056.
8. Заїчко, С. І., Сандлер, А. К., Карпілов, О. Ю. Система керування роторним багатосекційним вітрорушієм // Судовождение. – 2017. – Вип. 27. – Одеса: НУ "ОМА"– С. 85 - 90. DOI: 10.31653/2306-5761.27.2017.85-90
9. Сандлер, А. К., Карпилов, А. Ю. Повышение точности управления ветродвижителем // Энергетика судна: эксплуатация та ремонт: матеріали науково-технічної конференції. – Одеса: ОНМА. – 2014. – С. 120 - 122.

10. Карпилов, А. Ю., Сандлер, А. К. Волоконна оптика в системах управління ветровими двигачами // Науково-практична конференція "Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки", 12 - 18 грудня 2012 р.: матеріали конференції. – Одеса: ОНМА. – 2012. – С. 30 - 32.

11. Опришко, М. О., Карпілов, О. Ю., Сандлер, А. К., Філін, В. М. Застосування новітніх матеріалів для створення елементів комбінованих електроенергетичних установок з вітрорушієм // XII міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 21.11.2022 - 23.11.2022 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ "ОМА". – 2022. – С. 169 - 173. DOI: 10.31653/2706-7874.SEEEA-2022.11.1-203.

УДК 339.9

## ТРИ МОРЯ – ОДИН ШЛЯХ ДО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ЄВРОПИ

**І.І. Федак**, здобувач першого рівня вищої освіти  
**К.М. Кузьменко**, доктор філософії, ст. викладач  
Національний університет "Одеська морська академія"

***Анотація:** У статті розглядаються особливості та перспективи участі України в Ініціативі Трьох Морів (3SI), заснованій у 2016 році з ініціативи Польщі та Хорватії. Ініціатива, яка об'єднує 12 країн Центральної та Східної Європи, спрямована на підтримку розвитку інфраструктури, енергетики та цифрових комунікацій у напрямку Північ-Південь з метою подолання економічних та інфраструктурних розривів між Східною та Західною Європою. Проаналізовано ключові інфраструктурні проекти, такі як Baltic Pipe, Via Carpatia та Viking Train, у яких Україна може брати участь. Визначено потенційні вигоди для економіки України від приєднання до цих проектів, а також виклики, пов'язані з фінансуванням і геополітикою. Особливу увагу приділено питанню енергетичної безпеки України, розвитку транспортної інфраструктури та перспективам цифрової інтеграції.*

***Ключові слова:** Ініціатива Трьох Морів, економічний розвиток, інфраструктура, енергетична безпека, цифрова інтеграція, транспортні проекти, Україна, міжнародне співробітництво, Центральна та Східна Європа, Baltic Pipe, Via Carpatia, Viking Train.*

## THREE SEAS – A PATH TO EUROPE'S ECONOMIC DEVELOPMENT

**Iryna Fedak**, first level graduate of higher education  
**Kateryna Kuzmenko**, PhD, Senior Lecturer  
National University "Odessa Maritime Academy"

***Annotation:** The article examines the features and prospects of Ukraine's participation in the Three Seas Initiative (3SI), which was established in 2016 at the initiative of Poland and Croatia. The initiative, uniting 12 Central and Eastern European countries, aims to support the development of infrastructure, energy, and digital communications along the North-South axis to bridge economic and infrastructural gaps between Eastern and Western Europe. Key infrastructure projects, such as Baltic Pipe, Via Carpatia, and Viking Train, in which Ukraine could potentially participate, are analyzed. The potential economic benefits for Ukraine from joining these projects are identified, as well as the challenges related to financing and geopolitics. Special attention is paid to Ukraine's energy security, development of transport infrastructure, and prospects for digital integration.*

***Keywords:** Three Seas Initiative, economic development, infrastructure, energy security, digital integration, transport projects, Ukraine, international cooperation, Central and Eastern Europe, Baltic Pipe, Via Carpatia, Viking Train.*

*Матеріали досліджень*

Ініціатива Трьох Морів (Three Seas Initiative, 3SI) – масштабний міжнародний проект, започаткований у 2016 році лідерами Польщі та Хорватії. Ідея ініціативи полягає у створенні



інфраструктурного, енергетичного та цифрового союзу між дванадцятьма країнами, які географічно розташовані між трьома морями: Адріатичним, Балтійським та Чорним. До ініціативи приєдналися країни Центральної та Східної Європи: Польща, Чехія, Словаччина, Угорщина, Австрія, Словенія, Хорватія, Литва, Латвія, Естонія, Болгарія та Румунія. [1]

Основна місія та цілі Ініціативи Трьох Морів

Головна місія Ініціативи Трьох Морів – зміцнити інфраструктурні зв'язки між країнами-учасницями в напрямку Північ-Південь. Основний акцент робиться на усунення економічних та інфраструктурних розривів, які зберігаються між Східною і Західною Європою. Завдяки такій інфраструктурній співпраці регіон зможе подолати залежність від постачання енергоресурсів, поліпшити транспортну зв'язність і сприяти цифровій інтеграції.

Реалізація цієї ініціативи має кілька цілей:

Інфраструктурний розвиток: Мета проєкту – поліпшення залізничних, автомобільних та газопровідних зв'язків між країнами Східної Європи. Це забезпечить рівніші умови розвитку в порівнянні з західними членами ЄС, які мають значно розвиненішу інфраструктуру.

Енергетична незалежність: Один з пріоритетів – зменшення залежності від постачання російських енергоносіїв. Через такі інфраструктурні проєкти, як Baltic Pipe (для транспортування газу з Норвегії та США), країни-учасниці зможуть отримувати енергоресурси із західних джерел, що сприятиме енергетичній безпеці.

Цифрова інтеграція: Підвищення рівня цифрової інфраструктури в регіоні сприятиме залученню інновацій, розвитку ІТ-сектору і формуванню «цифрових коридорів», що дозволить країнам ефективніше співпрацювати у межах ЄС.

Трансатлантичне партнерство: Ініціатива розглядається як міст між країнами ЄС та США, який підтримує економічне і безпекове співробітництво, стримуючи вплив Росії і Китаю в регіоні.

Український інтерес в Ініціативі Трьох Морів

Україна не є офіційним учасником Ініціативи Трьох Морів, проте проявляє активний інтерес до співпраці у межах окремих проєктів. Україна вже отримала можливість брати участь у шести з 48 затверджених інфраструктурних проєктів, що охоплюють енергетику, транспорт і цифрові комунікації.

Зокрема, Україна зацікавлена в таких проєктах:

Газовий інтерконектор Германовичі (Польща) – Більче-Волиця (Україна): Частина масштабного проєкту Baltic Pipe, цей газопровід має на меті транспортувати природний газ з Норвегії та США через Польщу до країн Балтії та України. Для України це означатиме можливість отримання приблизно 1 млрд кубічних метрів газу щорічно, що стане вагомим кроком у диверсифікації енергетичних постачань.

Автомобільна магістраль Via Carpatia: Ця магістраль повинна з'єднати міста від Клайпеди в Литві до Салонік у Греції. Вона проходить через українські міста, такі як Львів, Мостиська, Тернопіль, Чернівці та Одеса, що значно покращить транспортні зв'язки України з ЄС.

Проєкт Viking Train: Залізничний маршрут, який діє з 2003 року, забезпечує з'єднання між Клайпедою і Чорноморськом через територію Білорусі та України. Він є прикладом успішної співпраці в рамках Східного партнерства та сприяє транспортним перевезенням між країнами Балтії та Східної Європи. [4]

Геополітичний та економічний контекст

Ініціатива Трьох Морів відіграє важливу роль не лише у сфері економіки, але й у геополітиці. Оскільки регіон Центральної та Східної Європи часто стає об'єктом інтересу великих гравців – США, Росії та Китаю – країни Ініціативи прагнуть зміцнити власну позицію та уникнути залежності від зовнішніх впливів. Через це Ініціатива Трьох Морів розглядається як засіб створення альтернативного «центру сили» у межах ЄС, що забезпечить країнам регіону більшу економічну та енергетичну автономію.

Україна, маючи багато спільного з країнами 3SI, також стикається з подібними викликами: потребою в енергетичній незалежності, модернізації інфраструктури та забезпеченні

безпеки. Оскільки значна частина українських торговельних шляхів спрямована саме на ринки ЄС, співпраця в рамках Ініціативи Трьох Морів може створити для України нові можливості виходу на ринки Європи та підвищити економічну стійкість держави.

Виклики для України у межах Ініціативи Трьох Морів

Незважаючи на перспективність участі у проєктах 3SI, Україна стикається з кількома перешкодами:

**Фінансові обмеження:** Недостатнє фінансування інфраструктурних проєктів в Україні може гальмувати швидку інтеграцію з країнами 3SI. Складнощі з доступом до фондів ЄС знижують можливості України повноцінно розвивати свої інфраструктурні проєкти.

**Різні інтереси учасників:** Різновекторні інтереси країн-учасниць та основних донорів можуть ускладнювати координацію проєктів з Україною. До того ж Україна стикається з певним браком ініціативи щодо формування чіткої стратегії присутності в рамках Ініціативи.

**Геополітичні ризики:** Протистояння між США і Китаєм у регіоні та загострення відносин з Росією також можуть впливати на процес реалізації інфраструктурних проєктів, які передбачають транскордонну співпрацю з країнами-членами Ініціативи Трьох Морів.

Потенціал для довгострокового розвитку

Співпраця з країнами Ініціативи Трьох Морів дозволить Україні поступово підвищити свою енергетичну та транспортну безпеку, створюючи нові робочі місця та розвиваючи інноваційні технології. Це забезпечить довгострокову вигоду для української економіки та сприятиме інтеграції України в європейський економічний і політичний простір.

Перспективні напрямки, які можуть підсилити участь України в Ініціативі Трьох Морів, включають:

**Меморандум між Адміністрацією морських портів України та портом Гданськ:** Цей документ відкриває можливості для створення транспортного коридору між Китаєм та Європою через Україну і Польщу. Така співпраця може значно розширити можливості для логістики і торгівлі між країнами ЄС та Азією.

**Участь у Via Carpatia та Rail Baltica:** Ці інфраструктурні проєкти дозволять Україні долучитися до основних європейських транспортних артерій, забезпечуючи швидке пересування товарів і послуг. [2]

Отже, Ініціатива Трьох Морів є багатосторонньою платформою, яка створює унікальні можливості для України у сфері міжнародного співробітництва. Вона об'єднує прагнення до інфраструктурної інтеграції, енергетичної безпеки і цифровізації, надаючи учасникам можливість підвищити конкурентоспроможність на глобальному рівні.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Тримор'я і Україна. Взаємні вигоди та перспективи. Ukraine crisis media center : <https://uacrisis.org/uk/trymor-ya-i-ukrayina> (дата звернення 28.10.2024).
2. Чому Україна прагне вступити до Ініціативи трьох морів. Міст : вебсайт. URL: <https://meest-online.com/world/europe/chomu-ukrajina-prahne-vstupytydo-initsiatyvy-troh-moriv/> (дата звернення 28.10.2024).
3. Ініціатива трьох морів: економічне співробітництво у геостратегічному контексті. Борисфен Інтел : веб-сайт. URL: <https://bintel.org.ua/analytics/iniciativa-troh-moriv-ekonomichne-spivrobitnictvo-geostrategichnomu-konteksti/> (дата звернення 29.10.2024).
4. Зосименко Т. Україна - "Ініціатива трьох морів". Українська призма : веб-сайт. URL: <http://prismua.org/ukraine-three-seas-initiative/> (дата звернення 28.10.2024)

## Секція 12. БЕЗПЕКА СУДНОПЛАВСТВА

УДК 341.1(98)(079.2)

ПРАВОВИЙ СТАТУС АРКТИЧНИХ ВОД У НАЦІОНАЛЬНОМУ ПРАВІ  
АРКТИЧНИХ ДЕРЖАВ

Д.О. Буровцева, здобувач другого рівня вищої освіти  
О.В. Костиря, к.ю.н., доцент  
Національний університет "Одеська морська академія"

*Анотація:* У доповіді проведено комплексний аналіз національних законодавств арктичних держав, проаналізовано як спільні риси, так і відмінності у правовому регулюванні безпеки судноплавства та захисту довкілля у високих широтах.

*Ключові слова:* національні законодавства, арктичні води, правове регулювання, безпека судноплавства, екологічна безпека

## LEGAL STATUS OF ARCTIC WATERS IN THE NATIONAL LAW OF ARCTIC STATES

D.O. Burovtseva, second-level graduate of higher education  
O.V. Kostyrya, PhD in Law, Assistant Professor  
National University "Odesa Maritime Academy"

*Abstract:* The report provides a comprehensive analysis of the national legislation of the Arctic states, analysing both common features and significant differences in the legal regulation of navigation safety and environmental protection in high latitudes.

*Keywords:* national legislation, Arctic waters, legal regulation, navigation safety, environmental safety

Правовий статус арктичних вод у національному праві арктичних держав характеризується значною різноманітністю підходів. Правове регулювання арктичних вод на національному рівні характеризується значною різноманітністю підходів арктичних держав, що зумовлено їхніми географічними, економічними та політичними особливостями. Комплексний аналіз національних законодавств арктичних держав дозволяє виявити як спільні риси, так і суттєві відмінності у правовому регулюванні.

Канада акцентує увагу на екологічній безпеці та захисті морського середовища. Закон про запобігання забрудненню арктичних вод [1] та Закон про торговельне мореплавство є основними нормативно-правовими актами [2]. Напрямки роботи Канади включають зміцнення міжнародного порядку в Арктиці, визначення кордонів континентального шельфу, а також розширення міжнародної ролі та соціально-економічний розвиток Півночі. Варто окреслити та конкретизувати основні виміри того, як Канада реалізує свою політику у Арктиці [3, с. 194].

Так, основними засобами є: двостороння співпраця з арктичними та ключовими неарктичними державами; посилення лідерства та залучення до ключових багатосторонніх форумів, які приймають рішення, щодо Арктики; безпосередня участь у роботі Арктичної ради; її модернізація, зокрема вдосконалення моніторингу та звітування про виконання національних рекомендацій та рішень Арктичної ради країнами-членами, а також посилення стратегічної комунікації в країні та за кордоном. Одним з напрямів співпраці є покращення управління Північним Льодовитим океаном зокрема шляхом впровадження Угоди про запобігання нерегульованій риболовлі у Центральній частині Льодовитому океані [4]. Ця уго-

да демонструє активний та запобіжний підхід до майбутніх риболовних заходів у відкритому морі в частині центрального Північного Льодовитого океану.

США, незважаючи на неприєднання до Конвенції ООН з морського права [5], мають розвинену систему нормативно-правових актів, зосереджуючись на свободі судноплавства та національній безпеці. Арктична стратегія Міністерства оборони США 2019 року підкреслює складне середовище безпеки в Арктиці, спричинене "ерою стратегічної конкуренції"[6, с. 64].

Основні напрямки політики США включають мілітаризацію регіону, розширення флоту криголамів та забезпечення постійної присутності. Взаємодія з приарктичними державами, особливо з Канадою та Данією, також є важливим аспектом. Питання про Гренландію, зокрема, викликало інтерес з боку США, однак Данія відхилила пропозицію про продаж острова. США продовжують активізувати свою присутність у регіоні, зокрема через військові навчання з НАТО та зміцнення співпраці з іншими приарктичними країнами [7].

Норвегія проводить комплексну арктичну політику, спрямовану на забезпечення миру, інтегрованого управління, зміцнення міжнародного порядку та добробуту населення. Ключовими документами є "Стратегія Крайньої Півночі" 2006 року [8] та "Арктична політика Норвегії на 2014 рік та на подальшу перспективу"[9]. Норвегія акцентує увагу на міжнародному співробітництві, розвитку бізнес-сектору, досліджень, інфраструктури та охороні довкілля [10].

Данія, враховуючи особливий статус Гренландії, має специфічну систему правового регулювання арктичних вод. Законодавство передбачає широку автономію Гренландії у питаннях управління морськими ресурсами та регулювання судноплавства [7].

**Висновки.** Можемо підсумувати, що спільною рисою національного законодавства арктичних держав є посилені вимоги до суден, що здійснюють плавання в арктичних водах, включаючи вимоги до конструкції, обладнання та екіпажу. Значна увага приділяється попередженню забруднення морського середовища та ліквідації можливих розливів нафти.

Важливим аспектом національного регулювання є забезпечення прав корінних народів. Законодавство арктичних держав, особливо Канади та Данії, містить спеціальні положення щодо традиційного природокористування та участі корінних народів у прийнятті рішень щодо використання морських просторів.

Система контролю за дотриманням національного законодавства в арктичних водах включає моніторинг судноплавства, інспекції суден, систему дозволів та ліцензування діяльності. Особлива роль належить береговій охороні та іншим спеціалізованим службам арктичних держав.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Arctic Waters Pollution Prevention Act (R.S.C., 1985, с. A-12). URL: <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/ACTS/A-12/index.html> (дата звернення: 17.10.2024)
2. Canada Shipping Act, 2001. URL: <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/c-10.15/> (дата звернення: 17.10.2024)
3. Береговий А. Основні геополітичні гравці Арктичного регіону та національні інтереси Канади в Арктиці. *Епістемологічні дослідження в філософії, соціальних і політичних науках*. № 4, 2015. С. 191-199.
4. The International Agreement to Prevent Unregulated Fishing in the High Seas of the Central Arctic Ocean, 2018. URL: <https://www.dfo-mpo.gc.ca/international/documents/pdf/EN-CAO.pdf> (дата звернення: 17.10.2024)
5. Конвенція Організації Об'єднаних Націй з морського права, Монтего-Бей, 10 грудня 1982 року. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_057](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_057) (дата звернення: 17.10.2024)
6. Гарькавченко К. Г. Політика США в Арктиці в першому-другому десятиріччі XXI ст. *Вісник Луганського національного університету імені Тараса Шевченка: Історичні науки*. № 8(305), 2016. С. 60-68.

7. Замікула М. О. Арктичний регіон у безпековому плануванні північноєвропейських країн (на прикладі Данії). *Стратегічна панорама*. 2016. № 2. С. 38-44.
8. THE NORWEGIAN GOVERNMENT'S HIGH NORTH STRATEGY. 2006. URL: <https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/ud/vedlegg/strategien.pdf>
9. The Norwegian Government's Arctic Policy. 2014. URL: [https://www.regjeringen.no/en/dokumenter/arctic\\_policy/id2830120/](https://www.regjeringen.no/en/dokumenter/arctic_policy/id2830120/)
10. Подворна О. Політика Королівства Норвегії щодо регіону Арктики у XXI столітті: специфіка зовнішнього виміру. *Епістемологічні дослідження в філософії, соціальних і політичних науках*. № 6, 2016. С. 77-90.

УДК 627.222.1:34(079.2)

## ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЗАХИСТУ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА ПІД ЧАС ДІЯЛЬНОСТІ В МІЖНАРОДНОМУ РАЙОНІ МОРСЬКОГО ДНА

**О.О. Тарантаєва**, здобувач другого рівня вищої освіти  
**О.В. Краснікова**, к.ю.н., доцент  
Національний університет "Одеська морська академія"

*Анотація:* Доповідь присвячена правовим механізмам захисту морського середовища при здійсненні діяльності в Міжнародному районі морського дна. Досліджено основні міжнародно-правові документи, що регулюють питання охорони довкілля в даному регіоні, зокрема Конвенцію ООН з морського права 1982 року та Угоду про імплементацію Частини XI Конвенції. Розглянуто низку спеціалізованих актів Міжнародного органу з морського дна, що встановлюють вимоги щодо оцінки впливу на довкілля, моніторингу, запобігання забрудненню та відповідальності за екологічну шкоду. Автор зазначає необхідність подальшого зміцнення правової бази для забезпечення сталого розвитку і збереження екосистем Міжнародного району морського дна.

*Ключові слова:* Міжнародний район морського дна, морське середовище, міжнародно-правова охорона, Конвенція ООН з морського права.

## LEGAL REGULATION OF MARINE ENVIRONMENT PROTECTION DURING ACTIVITIES IN THE INTERNATIONAL SEABED AREA

**O.O. Tarantaieva**, second-level graduate of higher education  
**O.V. Krasnikova**, PhD in Law, Assistant Professor  
National University "Odesa Maritime Academy"

*Abstract:* The article is devoted to the legal mechanisms for protecting the marine environment during activities in the International Seabed Area. The main international legal instruments regulating environmental protection in this region, in particular the 1982 UN Convention on the Law of the Sea and the Agreement on the Implementation of Part XI of the Convention, have been studied. A number of specialized acts of the International Seabed Authority, which establish requirements for environmental impact assessment, monitoring, pollution prevention and liability for environmental damage, have been considered. The author notes the need to further strengthen the legal framework to ensure sustainable development and preservation of ecosystems in the International Seabed Area.

*Keywords:* International Seabed Area, marine environment, international legal protection, UN Convention on the Law of the Sea.

**Актуальність дослідження.** Міжнародний район морського дна (далі – Район), що знаходиться за межами національної юрисдикції держав, привертає значну увагу через багаті мінеральні ресурси. Однак їх експлуатація може серйозно вплинути на морське середовище. Для вирішення цієї проблеми міжнародне співтовариство розробило систему правових інструментів захисту морського середовища. Тому актуальним є дослідження правового захис-

ту морського середовища в Районі для забезпечення сталого розвитку, охорони природних ресурсів та збереження екосистем на глобальному рівні.

**Матеріали та методи дослідження.** У якості матеріалів дослідження були проаналізовані основні міжнародно-правові документи, зокрема,: Конвенція ООН з морського права 1982 року, Угода про імплементацію Частини XI Конвенції (1994), Рекомендації щодо оцінки впливів на довкілля (2019) та Проект стратегічного плану на 2024-2028 роки. У дослідженні використано системний аналіз міжнародно-правових документів, які регулюють захист морського середовища під час здійснення діяльності суб'єкти в Районі, а також був застосований порівняльно-правовий метод для аналізу їх положень.

**Результати та обговорення.** Фундаментальним міжнародно-правовим договором, який регулює і встановлює правові механізми захисту морського середовища від шкідливих наслідків діяльності в Районі, виступає Конвенція ООН з морського права 1982 року [1]. Відповідно до 136 статті Конвенції Район і його ресурси є спільною спадщиною людства, тому всі види діяльності в ньому мають здійснюватися з урахуванням інтересів усього людства. Це стосується також забезпечення захисту екосистем від потенційної шкоди, спричиненої розвідкою чи видобутком корисних копалин та інших ресурсів. У 145 статті зазначено, що Міжнародний орган з морського дна створений для регулювання діяльності в Районі та контролю за дотриманням екологічних стандартів [1]. Цей орган розробляє правила, стандарти та процедури для забезпечення захисту морського середовища під час будь-якої діяльності в Районі, зокрема: запобігання, зменшення і контроль за забрудненням від будь-яких джерел, що пов'язані з діяльністю в Районі; забезпечення збереження морських екосистем та запобігання значному порушенню їх функціонування; захист і збереження рідкісних та вразливих видів морської флори та фауни, а також біологічної різноманітності в цілому.

Угода про імплементацію Частини XI Конвенції ООН з морського права 1982 року (1994) є ще одним ключовим правовим інструментом, що уточнює положення, викладені в Частині XI Конвенції щодо режиму діяльності у міжнародному районі морського дна і містить конкретні положення, які посилюють захист навколишнього середовища під час проведення діяльності в цьому районі. Вона була прийнята для усунення деяких політичних та економічних занепокоєнь, пов'язаних із діяльністю у Районі, а також для зміцнення механізмів екологічного контролю [2].

Міжнародний орган з морського дна розробив низку міжнародно-правових актів для захисту морського середовища під час діяльності в Районі. Правила розвідки та розробки поліметалічних конкрецій 2000 року є основним актом, що встановлює вимоги щодо оцінки впливу на довкілля, моніторингу, запобігання забрудненню та відповідальності за екологічну шкоду [3]. Правила розвідки та розробки поліметалічних сульфідів 2010 року регулюють захист морського середовища при видобутку важливих мінералів (мідь, цинк, свинець, золото, срібло), встановлюючи механізми оцінки та управління екологічними аспектами [4]. Правила розвідки та розробки кобальтоносних залізомарганцевих кірок 2012 року захищають морське середовище при видобутку кірок, що містять кобальт, залізо, нікель, марганець та інші рідкісні елементи, враховуючи значні екологічні ризики глибоководного видобутку через встановлення конкретних норм мінімізації шкідливого впливу [5].

У 2019 році Міжнародний орган з морського дна прийняв рекомендації щодо оцінки впливів на довкілля при розвідці морських копалин у Районі [6]. Ці рекомендації описують процедури, яких слід дотримуватися під час отримання базових даних, а також моніторинг, який необхідно проводити під час і після будь-якої діяльності в районі розвідки, яка може завдати серйозної шкоди навколишньому середовищу.

Крім того, Орган відкрив для консультацій і письмових відгуків від членів організації та інших відповідних зацікавлених сторін перший проект стратегічного плану на 2024-2028 роки. Наразі зазначено, що Орган реалізовуватиме такі стратегічні напрями: розробити, прийняти, запровадити та тримати під контролем адаптивну, практичну та технічну нормативну базу, засновану на передовій екологічній практиці; розробляти, впроваджувати та три-

мати під контролем регіональні екологічні оцінки та плани управління; забезпечення широкого доступу громадськості до інформації; розробити науково та статистично надійні методології для оцінки потенційного ризику діяльності в Районі, тощо [7].

**Висновки.** Міжнародне право містить комплексну правову систему для захисту морського середовища під час видобутку ресурсів у міжнародному районі морського дна, включаючи обов'язкові екологічні оцінки, найкращі практики та суворий контроль. Для посилення захисту морських екосистем міжнародне регулювання має зміцнювати існуючі норми, сприяти міждержавній співпраці та створювати нові контролюючі інституції. Крім того, важливо регулювати новітні технології видобутку, залучати всі зацікавлені сторони, вдосконалювати системи моніторингу та адаптувати стратегії до кліматичних змін, забезпечуючи таким чином сталий розвиток морського середовища.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Конвенція Організації Об'єднаних Націй з морського права, Монтего-Бей, 10 грудня 1982 року. URL : [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_057](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_057) (дата звернення:17.10.2024)
2. Угода про імплементацію частини XI Конвенції Організації Об'єднаних Націй з Морського права від 10 грудня 1982 року. URL : [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_183#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_183#Text) (дата звернення:17.10.2024)
3. International Seabed Authority. (2000). Regulations on Prospecting and Exploration for Polymetallic Nodules in the Area. URL: [https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/04/isba-19a-9\\_0.pdf](https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/04/isba-19a-9_0.pdf) (дата звернення:17.10.2024)
4. International Seabed Authority. (2010). Regulations on Prospecting and Exploration for Polymetallic Sulphides in the Area. URL: <https://cil.nus.edu.sg/wp-content/uploads/2019/02/2010-ISA-Reg-Polymetallic-Sulphides.pdf> (дата звернення:17.10.2024)
5. International Seabed Authority. (2012). Regulations on Prospecting and Exploration for Cobalt-rich Ferromanganese Crusts in the Area. URL:<https://cil.nus.edu.sg/wp-content/uploads/2019/02/2012-ISA-Regulations-Ferromanganese.pdf> (дата звернення:17.10.2024)
6. Recommendations for the guidance of contractors for the assessment of the possible environmental impacts arising from exploration for marine minerals in the Area. URL: <https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2022/06/25lrc-6-rev1-en.pdf> (дата звернення:17.10.2024)
7. Consideration for adoption of the Strategic Plan of the Authority for the Period 2024-2028. URL: [https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2023/07/ISBA\\_28\\_A\\_7.pdf](https://www.isa.org.jm/wp-content/uploads/2023/07/ISBA_28_A_7.pdf) (дата звернення:17.10.2024)

УДК 347.793-049.65(079.2)

### НОРМОТВОРЧА ДІЯЛЬНІСТЬ МІЖНАРОДНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРАЦІ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ТРУДОВИХ І СОЦІАЛЬНИХ ПРАВ МОРЯКІВ

**О.В. Костиря**, к.ю.н., доцент  
**Ю.О. Сердиченко**, здобувач другого рівня вищої освіти  
Національний університет «Одеська морська академія»

*Анотація:* У доповіді аналізується діяльність Міжнародної організації праці у розробці та впровадженні міжнародних стандартів, спрямованих на забезпечення соціального захисту моряків, зокрема щодо їхніх трудових прав, умов праці та соціальних гарантій.

*Ключові слова:* Міжнародна організація праці, конвенції, моряки, захист прав.

## STANDARD-SETTING ACTIVITIES OF THE INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION IN THE FIELD OF PROTECTION OF LABOUR AND SOCIAL RIGHTS OF SEAFARERS

**O. Kostyria**, PhD in Law, Assistant Professor  
**Y. Serdichenko**, second-level graduate of higher education  
National University «Odesa Maritime Academy»

**Abstract:** *The report analyses the activities of the International Labour Organization in the development and implementation of international standards aimed at ensuring the social protection of seafarers, in particular, their labour rights, working conditions and social guarantees.*

**Keywords:** *International Labour Organization, conventions, seafarers, protection of rights.*

Дослідження Міжнародного союзу судновласників визначають число моряків у всьому світі близько 1,5 мільйонів осіб, Міжнародне бюро праці визначило ще більшу кількість – понад 2 мільйони. Моряки є ключовою категорією працівників, які забезпечують морські перевезення, що є джерелом розвитку світової економіки. Без судноплавства і, безумовно, праці моряків, міжконтинентальна торгівля, масове транспортування сировини, імпорт та експорт товарів були би просто неможливі.

Актуальність даного дослідження полягає в тому, що трудова діяльність моряків пов'язана з особливими ризиками та складними умовами праці. Тривале перебування на морі, фізичні та психологічні навантаження, небезпека нещасних випадків і захворювань — усе це створює потребу в надійній системі соціального захисту. Вона включає медичне обслуговування, страхування, компенсації у разі нещасних випадків, а також репатріацію та захист прав моряків у випадках трудових спорів. Забезпечення трудових і соціальних прав сприяє не лише безпеці та благополуччю самих моряків, а й стабільності та ефективності морської галузі загалом, створюючи умови для збереження професійних кадрів.

Мета дослідження полягає у тому, щоб проаналізувати діяльність Міжнародної організації праці у розробці та впровадженні міжнародних стандартів, спрямованих на забезпечення соціального захисту моряків, зокрема щодо їхніх трудових прав, умов праці та соціальних гарантій.

Центральне місце в системі міжнародно-правового регулювання праці моряків належить Міжнародній організації праці (далі – МОП), що була створена в 1919 р. та стала першою спеціалізованою установою ООН. Головна мета діяльності МОП сформована в преамбулі до її Статуту – забезпечення загального і міцного миру на основі соціальної справедливості [1].

Нормотворча діяльність МОП була і залишається основною формою роботи організації. З моменту заснування було прийнято понад 190 конвенцій і 200 рекомендацій, що стосуються різних аспектів праці. З них майже 25% присвячені проблемам умов, охорони праці та соціального захисту моряків. Конвенції розробляються представниками урядів та приймаються на щорічній Міжнародній конференції праці. Після прийняття стандарту держави-члени відповідно до статті 19(6) Статуту МОП повинні подати його на розгляд своєму компетентному органу (парламенту) протягом 12 місяців. Країни, які ратифікували конвенцію, зобов'язуються застосовувати її на практиці та регулярно звітувати про її застосування [2].

Існуючі конвенції і рекомендації МОП про працю та захист прав моряків можна класифікувати за предметом регулювання.

1. Акти, що застосовуються до всіх робітників, включаючи моряків. Ці документи мають загальний характер і надають працівникам певний набір прав, якими вони можуть користуватися при вступі на роботу, у процесі трудової діяльності та під час вирішення трудових



спорів або інших питань. Наприклад, Конвенція № 100 «Про рівну винагороду» 1951 р., Конвенція № 102 «Про мінімальні норми соціального забезпечення» 1952 р., Конвенція № 105 «Про скасування примусової праці» 1957 р., Конвенція № 111 «Про дискримінацію в галузі праці й занять» 1958 р., Декларація МОП основних принципів та прав у світі праці 1998 р. тощо.

2. Конвенції, що регулюють соціальне забезпечення моряків у сфері праці. З огляду на специфіку умов праці моряків, виникає потреба в регулюванні порядку та умов надання соціальних гарантій для цієї категорії працівників. Можна виділити такі конвенції: № 70 «Про соціальне забезпечення моряків» 1946 р., № 75 «Про угоди щодо соціального забезпечення моряків» 1946 р., № 165 «Про соціальне забезпечення моряків (переглянута)» 1987 р. тощо.

3. Категорія конвенцій, що містять норми щодо мінімального віку моряків, медичного огляду, професійного навчання, допустимого робочого часу і періодів відпочинку, трудових договорів, безперервної зайнятості – № 22 «Про трудові договори моряків» 1926 р., № 53 «Про мінімальну кваліфікацію капітана та інших осіб командного складу торговельних суден» 1936 р.; № 145 «Про безперервність зайнятості моряків» 1976 р., № 180 «Про робочий час моряків і склад суднового екіпажу» 1996 р., а також рекомендацій – № 154 «Щодо безперервності зайнятості моряків» 1976 р.; № 186 «Щодо найму і працевлаштування моряків» 1996 р.

4. Стандарти регулюючі заробітну плату та пенсії моряків. Заробітна плата є одним із найважливіших для моряка умов і має ряд специфічних особливостей, які закріплені в відповідних конвенціях МОП, а саме: № 54 «Про щорічні оплачувані відпустки морякам» 1936 р., № 57 «Про заробітну плату, робочий час на борту суден і склад суднового екіпажу» 1936 р., № 71 «Про пенсії морякам» 1946 р., № 72 «Про оплачувані відпустки морякам» 1946 р.

5. Норми, що регулюють безпеку й охорону здоров'я моряків. Конвенції МОП, які спрямовані на забезпечення гідних умов праці та життя на борту морських суден – № 32 «Про захист від нещасних випадків працівників, зайнятих на навантаженні та розвантаженні суден (переглянута в 1932 році)», № 73 «Про медичний огляд моряків» 1946 р., № 134 «Про запобігання виробничим нещасним випадкам серед моряків» 1970 р., № 164 «Про охорону здоров'я та медичне обслуговування моряків» 1987 р.

6. Конвенції МОП, що стосуються репатріації моряків, регулюють їхнє право на повернення додому у разі завершення контракту, хвороби, нещасного випадку, або в інших обставинах. Наприклад, № 23 «Про репатріацію моряків» 1926 р., № 166 «Про репатріацію моряків» 1987 р.

Провідне місце серед усіх нормативно-правових актів МОП займає Зведена конвенція про працю в морському судноплаванні 2006 року, яка об'єднує стандарти з праці на морі, що містяться в ряді конвенцій і рекомендацій Організації [3].

Як зазначає Г. Денисова, чітка структура Конвенції МОП 2006 р. у вигляді статей, які містять основоположні принципи та базові зобов'язання держав-учасниць, правила, що формують права й обов'язки суб'єктів трудових і пов'язаних з ними відносин, указує на ефективний та дієвий механізм захисту прав моряків [4].

Зокрема, Конвенція запроваджує п'ять найголовніших стандартів праці моряків: 1) мінімальні вимоги відносно праці моряків на борту судна (мінімальний вік, обов'язкове медичне свідоцтво, належна підготовка та кваліфікація); 2) умови зайнятості (умови трудового договору, заробітна плата, тривалість робочого часу і відпочинку, щорічна відпустка, репатріація, компенсації у разі втрати або затоплення судна; 3) житлові приміщення, умови

для відпочинку, харчування і столове обслуговування, вимоги, що стосуються попередження дії шуму і вібрації у виробничих і житлових зонах; 4) охорона здоров'я, медичне та соціально-побутове обслуговування і захист у галузі соціального забезпечення; 5) дотримання і забезпечення виконання положень Конвенції [5].

**Висновки.** Таким чином, Міжнародна організація праці з моменту свого приділяє значну увагу умовам праці та захисту соціальних прав моряків. Це обумовлено тим, що їхня робота часто пов'язана зі складними і непередбачуваними умовами в морському середовищі. Протягом років були розроблені правові норми, які встановлюють вимоги до віку, стану здоров'я та професійної підготовки моряка, його кваліфікації, системи набору та працевлаштування, основних умов зайнятості (заробітна плата, відпустка, репатріація, житлових приміщень, харчування, столового медичного та соціально-побутового обслуговування). Ці норми стали основними регуляторами трудових відносин у морській сфері.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Constitution of the International Labour Organisation [Electronic resource] of 28.04.1919. – Mode of access:

[https://normlex.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=1000:62:519000809763::NO:62:P62\\_LIST\\_ENTRIE\\_ID:2453907:NO](https://normlex.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=1000:62:519000809763::NO:62:P62_LIST_ENTRIE_ID:2453907:NO) (date of access: 01.11.2024). – Title from screen.

2. International Labour Standards. Conventions, Protocols and Recommendations [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.ilo.org/international-labour-standards/conventions-protocols-and-recommendations> (date of access: 01.11.2024). – Title from screen.

3. Maritime Labour Convention, 2006, as amended (MLC, 2006) [Electronic resource] of 23.02.2006. – Mode of access:

[https://normlex.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:91:0::NO:91:P91\\_ILO\\_CODE:C186:NO](https://normlex.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:91:0::NO:91:P91_ILO_CODE:C186:NO) (date of access: 01.11.2024). – Title from screen.

4. Денисова Г. О. Конвенції МОП під кілем. Захист прав моряків: на шляху до гармонізації законодавства / Г. О. Денисова // Закон і бізнес. – 2018. – Вип. 3. – С. 115-119.

5. Волошина С. М. Зведена Конвенція про працю в морському суднопластві як правовий базис регулювання безпеки та гігієни праці моряків / С. М. Волошина // Актуальні проблеми держави і права. – 2009. – Вип. 4. – С. 156-160.

УДК 349.6 (079.2)

## РОЛЬ МІЖНАРОДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ У РЕГУЛЮВАННІ ОХОРОНИ МОРСЬКОГО ДОВКІЛЛЯ

**О.В. Костиця**, к.ю.н., доцент

**Н.М. Лунгова**, здобувач другого рівня вищої освіти  
Національний університет “Одеська морська академія”

***Анотація:** У доповіді досліджено роль міжнародних організацій у регулюванні охорони морського довкілля. Проаналізовано діяльність ключових міжнародних організацій, зокрема ІМО, ЮНЕП, МОМД, ФАО та МОК ЮНЕСКО, у сфері захисту морського середовища. Визначено основні напрямки їх роботи та механізми координації зусиль. Розглянуто проблеми та виклики у сфері міжнародного регулювання охорони морського довкілля, а також перспективи подальшого розвитку системи міжнародного співробітництва у цій галузі.*

**Ключові слова:** морське довкілля, міжнародні організації, охорона навколишнього середовища, міжнародне співробітництво, екологічна безпека, сталий розвиток

## INTERNATIONAL ORGANIZATIONS' ROLE IN MARINE ENVIRONMENT PROTECTION REGULATION

**O.V. Kostyrya**, PhD in Law, Assistant Professor  
**N.M. Lunhova**, second-level graduate of higher education  
National University "Odesa Maritime Academy"

**Abstract:** *The report examines the role of international organizations in regulating marine environmental protection. The activities of key international organizations, including IMO, UNEP, ISA, FAO, and UNESCO IOC, in the field of marine environment protection are analyzed. The main directions of their work and mechanisms for coordinating efforts are identified. Problems and challenges in the field of international regulation of marine environmental protection are considered, as well as prospects for further development of the system of international cooperation in this area.*

**Keywords:** *marine environment, international organizations, environmental protection, international cooperation, environmental security, sustainable development.*

Охорона морського довкілля є однією з найактуальніших проблем сучасності, що вимагає координованих зусиль міжнародної спільноти. Світовий океан, займаючи понад 70% поверхні планети, відіграє ключову роль у підтримці екологічного балансу та економічного розвитку людства. Проте зростаючий антропогенний вплив, включаючи забруднення, надмірний вилов риби та зміну клімату, створює серйозні загрози для морських екосистем. У цьому контексті особливого значення набуває діяльність міжнародних організацій, які формують та реалізують глобальну політику охорони морського середовища.

Метою дослідження є комплексний аналіз ролі та ефективності діяльності міжнародних організацій у сфері регулювання охорони морського довкілля, визначення основних напрямків їх роботи та оцінка механізмів міжнародної співпраці. Дослідження базується на аналізі міжнародних конвенцій, резолюцій та програмних документів провідних міжнародних організацій, зокрема Конвенції ООН з морського права 1982 року, Міжнародної конвенції щодо запобігання забрудненню з суден (МАРПОЛ 73/78), Програми регіональних морів ЮНЕП та Кодексу ведення відповідального рибальства ФАО.

Проведене дослідження демонструє, що у сфері охорони морського довкілля сформувалася комплексна система міжнародних організацій. Міжнародна морська організація (ІМО) зосереджується на розробці та впровадженні стандартів запобігання забрудненню з суден, регулюванні викидів парникових газів від морського транспорту, впровадженні зон особливого екологічного контролю та встановленні технічних вимог до суден [1]. Програма ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП) координує Програму регіональних морів, розробляє регіональні конвенції та плани дій, сприяє міжнародному співробітництву у сфері охорони морського середовища та підтримує наукові дослідження [2, 3, 4, 5].

Міжнародний орган з морського дна (МОМД) забезпечує регулювання розвідки та видобутку мінеральних ресурсів, захист морського середовища при глибоководному видобутку, розробку екологічних стандартів та проведення екологічного моніторингу.

Продовольча та сільськогосподарська організація (ФАО) впроваджує принципи сталого рибальства, розробляє міжнародні стандарти управління рибними ресурсами та координує діяльність регіональних рибальських організацій [7].

Міжурядова океанографічна комісія ЮНЕСКО (МОК) координує океанографічні дослідження, розвиває системи спостереження за океаном, вивчає вплив зміни клімату на морські екосистеми та сприяє науковому співробітництву.

Особливе значення має діяльність наукових організацій, таких як Міжнародна рада з дослідження моря (ICES) [9] та Науковий комітет з океанічних досліджень (SCOR) [10], які забезпечують наукову основу для прийняття управлінських рішень. Координація діяльності різних організацій здійснюється через механізм UN-Oceans, що дозволяє забезпечити синергію зусиль та уникнути дублювання функцій.

Механізм UN-Oceans також займається координацією міжнародних зусиль у реалізації Порядку денного сталого розвитку ООН, зокрема Пункту 14, яка спрямована на збереження і раціональне використання океанів, морів і морських ресурсів [11]. UN-Oceans забезпечує обмін інформацією, досвідом та найкращими практиками між різними організаціями, що допомагає розробляти злагоджені стратегії і політики для сталого управління морським середовищем.

Цей механізм також підтримує проведення спільних досліджень, наукових конференцій та семінарів, що дозволяє залучати фахівців з різних областей до обговорення актуальних проблем, таких як зміна клімату, забруднення океанів та зменшення біорізноманіття.

**Висновки** дослідження свідчать, що сучасна система міжнародних організацій у сфері охорони морського довкілля характеризується комплексністю та взаємодоповнюваністю, де кожна організація має чітко визначену сферу компетенції. Ефективність міжнародного регулювання забезпечується через розробку та впровадження міжнародних стандартів, координацію національних політик, науково-технічне співробітництво, обмін інформацією та найкращими практиками. Ключовими викликами залишаються необхідність посилення координації між організаціями, забезпечення ефективної імплементації міжнародних норм, розвиток потенціалу країн, що розвиваються, та адаптація до нових екологічних загроз. Подальший розвиток системи міжнародного регулювання потребує вдосконалення механізмів моніторингу та контролю, посилення наукової складової в процесі прийняття рішень, розширення міжнародного співробітництва та збільшення фінансування природоохоронних заходів. Результати дослідження підкреслюють важливість подальшого розвитку міжнародного співробітництва та посилення ролі міжнародних організацій у забезпеченні ефективної охорони морського довкілля для сталого розвитку людства.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Amendments to the Annex 6 of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships: Prevention of air pollution from ships, London, 1 November, 2022. URL: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.328\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.328(76).pdf).
2. The UNEP Regional Seas Programme, 1974. URL: <https://www.unep.org/topics/ocean-seas-and-coasts/regional-seas-programme>
3. The Convention for the Protection of the Mediterranean Sea Against Pollution (the Barcelona Convention), adopted on 16 February 1976. URL: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/31970/bcp2019\\_web\\_eng.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/31970/bcp2019_web_eng.pdf)
4. Конвенція про захист Чорного моря від забруднення. Протоколи до Конвенції. Бухарест, 1992. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_065#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_065#Text)
5. Strategic Action Plan for the Environmental Protection and Rehabilitation of the Black Sea. Istanbul, 1996. URL: [http://www.blacksea-commission.org/\\_bssap1996.asp](http://www.blacksea-commission.org/_bssap1996.asp)
6. United Nations Convention on the Law of the Sea. Montego-Bei, 1982. URL: [https://www.un.org/depts/los/convention\\_agreements/texts/unclos/unclos\\_r.pdf](https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_r.pdf)
7. Code of Conduct for Responsible Fisheries. 31 October 1995. URL: <https://www.fao.org/4/v9878e/v9878e00.htm#:~:text=This%20Code%20sets%20out%20principles,for%20the%20ecosystem%20and%20biodiversity>.
8. The Global Ocean Observing System (GOOS): Official Website. URL: <https://goosocean.org>
9. Convention for The International Council for the Exploration of the Sea. 12 September 1964. URL: [https://www.ices.dk/about-ICES/who-we-are/Documents/ICES\\_Convention\\_1964.pdf](https://www.ices.dk/about-ICES/who-we-are/Documents/ICES_Convention_1964.pdf)

10. Activities of the Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) relevant to the Intergovernmental Oceanographic Commission. IOC Assembly Conference, 22nd, Paris, 2003. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000130394>

11. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development: Resolution 70/1 adopted by the General Assembly on 25 September 2015. URL: <https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n15/291/89/pdf/n1529189.pdf>

УДК 341.225.5-049.5(079.2)

## ВЗАЄМОДІЯ МІЖНАРОДНОГО ТА НАЦІОНАЛЬНОГО ПРАВА У ГАЛУЗІ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА

**О.В. Костиря**, к.ю.н., доцент

**В.В. Грушка**, здобувач другого рівня вищої освіти  
Національний університет "Одеська морська академія"

**Анотація:** В доповіді розглядаються питання імплементації міжнародних конвенцій з безпеки судноплавства у національні законодавства, а також процеси гармонізації національних законодавств з міжнародними стандартами.

**Ключові слова:** Міжнародна морська організація (ІМО), Міжнародна організація праці (МОП), Організації Об'єднаних Націй (ООН), Безпека мореплавства, конвенції, Ратифікація

## INTERACTION OF INTERNATIONAL AND NATIONAL LAW IN THE FIELD OF MARITIME SAFETY

**O.V. Kostyrya**, PhD in Law, Assistant Professor

**V.V. Hrushka**, second-level graduate of higher education  
National University "Odesa Maritime Academy"

**Abstract:** The report addresses the issues of implementation of international conventions on maritime safety into national legislation, as well as the processes of harmonization of national legislation with international standards.

**Keywords:** International Maritime Organization (IMO), International Labour Organization (ILO), United Nations (UN), Maritime safety, conventions, Ratification

Морська галузь відіграє фундаментальну роль у світовій економіці, забезпечуючи транспортування близько 90% усіх міжнародних торговельних вантажів. Для ефективного функціонування цієї масштабної індустрії створено комплексну систему регулювання під егідою Організації Об'єднаних Націй (ООН), головними регуляторними органами якої виступають Міжнародна морська організація (ІМО) та Міжнародна організація праці (МОП). Враховуючи глобальний характер морської індустрії, критично важливим є забезпечення єдиних стандартів регулювання для всіх учасників міжнародних морських перевезень - від безпеки мореплавства та захисту морського середовища до відповідальності судовласників і професійної підготовки моряків.

Основними джерелами регулювання безпеки мореплавства є такі фундаментальні конвенції: Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі (SOLAS), що встановлює базові стандарти безпеки; Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти (STCW), що визначає вимоги до компетентності морських фахівців; Міжнародна конвенція про вантажну марку 1966 р. (LL-66), яка встановлює єдині принципи і правила, що стосуються граничного завантаження суден, що здійснюють міжнародні рейси та Міжнародна конвенція про пошук та рятування на морі 1979 р. (SAR-79), яка є ключовою для орга-

нізації міжнародної системи пошуку й рятування людей на морі. Хоча ці основоположні конвенції вже отримали широке визнання та були імplementовані більшістю морських держав, існує ще чимало важливих міжнародних морських документів, які очікують на ратифікацію [1, 2, 3, 4].

Ратифікація міжнародних конвенцій суттєво впливає на безпеку мореплавства через кілька ключових аспектів. По-перше, вона забезпечує уніфікацію стандартів безпеки в глобальному масштабі. Це гарантує дотримання однакових стандартів безпеки на судах різних країн, що знижує ризики аварій, спричинених недостатньою підготовкою екіпажів або технічними недоліками суден. Екіпажі, які працюють на міжнародних маршрутах, отримують однаковий рівень підготовки та сертифікації. Особливу увагу варто приділити впливу ратифікації конвенції LL-66 на зниження ризиків перевантаження суден та спричинених цим явищем аварій [5].

Важливим аспектом є пряма дія міжнародного права, що означає можливість автоматичного застосування міжнародних норм без необхідності їх трансформації в національне законодавство. Це відбувається в державах, де міжнародні договори і конвенції мають пряму дію після ратифікації. Наприклад, у країнах моністичного типу, як Франція, ратифіковані міжнародні угоди можуть безпосередньо застосовуватися у внутрішніх правових відносинах [6, p. 653].

Імplementація міжнародних конвенцій передбачає впровадження національних систем контролю за безпекою судноплавства, включаючи портовий контроль (Port State Control), який зобов'язує національні органи влади проводити регулярні інспекції суден у портах. Класифікаційні товариства співпрацюють з державами для забезпечення інспекцій та сертифікацій суден, що сприяє контролю за їх станом, конструкцією та дотриманням екологічних стандартів.

Гармонізація національного законодавства із міжнародними стандартами є ключовим процесом, що сприяє ефективному регулюванню безпеки мореплавства. Це означає, що держави не лише ратифікують міжнародні конвенції, але й адаптують своє внутрішнє законодавство для його відповідності вимогам і стандартам, визначеним міжнародними організаціями. Гармонізація забезпечує впровадження уніфікованих стандартів безпеки для всіх суден, незалежно від держави їх реєстрації [7].

Міжнародні норми також забезпечують рамки для вирішення транскордонних проблем, таких як забруднення моря, морські інциденти і безпекові загрози. Системи міжнародного співробітництва та угоди дозволяють країнам ефективно реагувати на події, що виходять за межі їх юрисдикції. Наприклад, у випадку екологічної катастрофи, такої як розлив нафти, міжнародні угоди дозволяють країнам співпрацювати у ліквідації наслідків і наданні допомоги.

**Висновки.** Можна стверджувати, що ефективна взаємодія між міжнародним та національним правом є ключовою для забезпечення високого рівня безпеки мореплавства. Уніфікація стандартів, підвищення ефективності контролю та вирішення транскордонних проблем є важливими аспектами, що сприяють зменшенню ризиків і покращенню безпеки на морі. Країни, що активно імplementують і дотримуються міжнародних норм, забезпечують більш надійне і безпечне середовище для морського транспорту і судноплавства.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Міжнародна Конвенція про вантажну марку 1966 року. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/896\\_007#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/896_007#Text) (дата звернення: 06.10.2024).
2. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) 1974. URL: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)-1974.aspx) (дата звернення: 06.10.2024).
3. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW), London, 7 July 1978.

URL: <https://treaties.un.org/doc/Publication/UNTS/Volume%201361/volume-1361-I-23001-English.pdf>  
(дата звернення: 06.10.2024).

4. International Convention on Maritime Search and Rescue (SAR). Hamburg. 29 April 1979. URL: <https://treaties.un.org/doc/Publication/UNTS/Volume%201405/volume-1405-I-23489-English.pdf> (дата звернення: 06.10.2024).

5. Knapp, Sabine & Franses, Philip. Does ratification matter and do major conventions improve safety and decrease pollution in shipping?. *Marine Policy*. 2009. № 33. P. 826-846.

6. Preuss L. The Relation of International Law to Internal Law in the French Constitutional System. *American Journal of International Law*. 1950. № 44(4), P. 641 - 669. DOI: <https://doi.org/10.2307/2194984>

7. Покора І.Є. Особливості імплементації норм міжнародних «морських» конвенцій у внутрішньодержавне законодавство. *Вісник Одеського національного університету. Правознавство*. Том 18 № 2, 2013. URL: <https://journals.visnyk-onu.od.ua/index.php/law/article/view/255>

УДК 341.645-048.88

## ПРОБЛЕМИ ДЕЛІМІТАЦІЇ МОРСЬКИХ ПРОСТОРІВ ЧОРНОГО МОРЯ

О.В. Костиря, к.ю.н., доцент

Ю.В. Яворська, здобувач другого рівня вищої освіти  
Національний університет «Одеська морська академія»

*Анотація:* У доповіді розглядаються питання делімітації морських просторів в західній частині Чорного моря між Україною і Румунією, а також здійснюється аналіз справ по делімітації морських кордонів, які вирішувалися за допомогою міжнародної судової або арбітражної процедури.

*Ключові слова:* Конвенція ООН з морського права, Міжнародний Суд ООН, арбітраж, делімітація

## PROBLEMS OF MARITIME DELIMITATION IN THE BLACK SEA

O.V. Kostyria, PhD in Law, Assistant Professor

Y.V. Yavorska, second-level graduate of higher education  
National University "Odesa Maritime Academy"

*Abstract:* The report examines the issues of maritime delimitation in the western part of the Black Sea between Ukraine and Romania, and analyzes cases of maritime boundary delimitation that have been resolved through international judicial or arbitration procedures.

*Keywords:* UN Convention on the Law of the Sea, International Court of Justice, arbitration, delimitation

Законодавство держав, що регулює режим і розмежування просторів Чорного моря, в цілому відповідає положенням Конвенції ООН з морського права 1982 р [1]. Аналіз справ по делімітації, які вирішувалися за допомогою міжнародної судової або арбітражної процедури, свідчить, що практика Міжнародного Суду ООН і міжнародних арбітражів досить одноманітна. Прибережним державам, ставилося в обов'язок здійснювати делімітацію шляхом угоди відповідно до справедливих принципів, беручи до уваги всі доречні (релевантні) обставини з метою досягнення справедливого результату. Уперше ця звичаєво-правова норма міжнародного права була застосована в рішенні Міжнародного Суду ООН від 20 лютого 1969 р. в спорі про делімітацію континентального шельфу Північного моря між ФРН і Данією, ФРН і Нідерландами. У рішенні зазначалося, що головне місце серед правил делімітації займають принципи, що випливають з Декларації Трумена (28 вересня 1945 р.), яка говорить,

що делімітація може здійснюватися шляхом укладення угоди між зацікавленими державами; і укладення такої угоди досягається відповідно до справедливих принципів [2].

Актуальність теми полягає в тому, що визначення державних кордонів і делімітація морських просторів складають важливу частину суверенітету України. Делімітація, демаркація, редемаркація саме ці процеси мають істотне значення для забезпечення національної безпеки, контролю над ресурсами та реалізації економічних інтересів. Делімітація морських просторів в міжнародному праві відноситься до найбільш складних проблем, які стосуються важливих економічних, політичних, оборонних та інших інтересів держав і часто викликає суперечки. Процес морської делімітації складається з трьох етапів: проведення тимчасової лінії делімітації, її розгляд із урахуванням релевантних обставин із подальшим коректуванням, якщо це необхідно для досягнення справедливого результату, і перевірка здійсненої делімітації на невідповідність. Однією з важливих проблем делімітації морських просторів в західній частині Чорного моря між Україною і Румунією тривалий час залишалася невирішеною. Переговори між СРСР і Румунією щодо делімітації континентального шельфу почалися ще в шістдесятих роках ХХ ст. Істотну роль у цих переговорах відіграло питання про острів Зміїний, який перебував під суверенітетом СРСР. Головним предметом обговорення було значення, яке слід надавати цьому острову у встановленні делімітаційної лінії.

Мета дослідження полягає у тому, щоб проаналізувати справу щодо делімітації морських просторів в районі острова Зміїний. А також питання, взаємопов'язане із геологічною структурою острова Зміїний, а саме його придатність для підтримки життя людини і для самостійної господарської діяльності.

Проблема делімітації морських просторів в західній частині Чорного моря між Україною і Румунією тривалий час залишалася невирішеною. Переговори між СРСР і Румунією щодо делімітації континентального шельфу почалися ще в шістдесятих роках ХХ ст. Істотну роль у цих переговорах відіграло питання про острів Зміїний, який перебував під суверенітетом СРСР. Головним предметом обговорення було значення, яке слід надавати цьому острову у встановленні делімітаційної лінії. Первісна позиція СРСР полягала в тому, що острів має впливати на встановлення еквідистанційної лінії кордону.

Але пізніше в ході переговорів СРСР указав, що з метою досягнення компромісного рішення можлива зміна позиції Радянського Союзу, а саме – острів Зміїний буде частково впливати на встановлення еквідистанційної делімітаційної лінії. Румунія, в свою чергу, не змінила своєї позиції, яка полягала в тому, що острів Зміїний не повинен впливати на встановлення еквідистанційної лінії кордону.

Але варто зазначити, що відмова Радянського Союзу від своєї позиції призвела до значного її ослаблення.

Відмова – це односторонній юридичний акт, за допомогою якого держава відмовляється від будь-якої своєї вимоги.

У сучасних умовах розвитку міжнародних відносин односторонні акти все частіше є тим інструментом, до якого вдаються суверенні держави в процесі міжнародного спілкування для висловлення своєї позиції з того чи іншого питання [3]. Із географічного та екологічного поглядів острів є повноцінною геоекосистемою з усіма складовими елементами. Він має певний рельєф, геологічну будову, геоструктурні риси, значною мірою вкритий осадовим шаром, на якому розвивається ґрунтовий покрив, заселений острівним комплексом рослин і тварин, зазнає суттєвого впливу атмосфери та моря [4].

Аналіз геологічної побудови острова Зміїний і його морфологічна структура, доводять, що він є невід'ємною частиною великого тектонічного блоку Східноєвропейської платформи, притоплена частина якої формує шельф в північно-західній частині Чорного моря.

Із огляду на положення п. 3 ст. 121 Конвенції ООН з морського права 1982 р., головним питанням, взаємопов'язаним із геологічною структурою острова Зміїний, була його придатність для підтримки життя людини і для самостійної господарської діяльності. У цьому плані слід зазначити, що деякі елементи геологічної характеристики острова (наявність 10-



метрового покриву четвертинних відкладень, що містить грантовий пласт, який забезпечує розвиток тваринного і рослинного світу, а також наявність величезної (до 1 км) товщі осадових відкладень палеозою (що передбачає наявність власних запасів води і корисних копалин), давали підстави стверджувати, що острів Зміїний придатний для підтримки життя людини і для самостійної господарської діяльності [5].

Верховна Рада України в лютому 2007 р. винесла постанову про присвоєння населеному пункту, що знаходиться на острові Зміїний, назви селище Біле. У принципі, частка сенсу в цих діях була, однак такі ознаки ефективної окупації, як наявність поселень, прикордонних постів, патрулювання відповідної території сьогодні є вже застарілими, оскільки контроль над певною незаселеною територією може здійснюватися за допомогою, наприклад, супутників.

Головне, ефективність і дієвість контролю держави над цією територією.

Отже, делімітація континентального шельфу є встановленням підводного кордону продовжуваної під морем території прибережної держави, що вже належить їй. Здійснюючи делімітацію, необхідно діяти за угодою, надаючи кожній стороні найбільший район континентального шельфу, що утворює природне продовження її сухопутної території з урахуванням принципів справедливості та всіх відповідних обставин, дотримуючись балансу з аналогічними інтересами іншої сторони та зацікавлених прибережних держав. У сучасному міжнародному праві застосування теорії «мовчазної згоди» в територіальних питаннях неприйнятно, а факт переходу правового титулу від його власника іншій державі повинен підтверджуватися явно вираженою згодою. Форма такої згоди повинна відповідати праву міжнародних договорів і не може бути замінена будь-якими конклюдентними діями у вигляді, наприклад, відсутності збройного опору незаконному займанню території, непротидії проявам *a titre de souverain* іншої держави на даній території, укладення договорів, пов'язаних із підтриманням життєдіяльності незаконно зайнятої території тощо.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Конвенція ООН з морського права 1982 р. Офіційний сайт Верховної Ради України [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=995\\_057](http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=995_057) (дата звернення 03.10.2024)
2. Churchill R.R. The Law of the Sea / R.R. Churchill, A.V. Lowe // Manchester University Press. – Manchester, 1992. – P. 122.
3. Ільяшевич М.В. Односторонні акти держав, дис. ... канд. юрид. наук / М.В. Ільяшевич М., 2011. – С. 4.
4. Анцилотті Д. Курс міжнародного права – Ведення-загальна теорія- с 304.
5. Бистрова А.Р. До питання про міжнародно-правове розмежування морських просторів у районі острова Зміїний // Зовнішня торгівля: право і економіка. – 2007. – № 2(31). – С. 77.

УДК 656.052.8:323,28

### ВДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОТИДІ ЗАГРОЗАМ БЕЗПЕЦІ СУДНОПЛАВСТВА

А.К. Сандлер, к.т.н., доцент

Т.Ю. Омельченко, к.т.н., доцент

Національний університет "Одеська морська академія"

*Анотація.* Аналіз міжнародної практики по питанню застосування зброї, показав, що в цей час єдине законним є право військових кораблів зупиняти суду силою при невиконанні ними вимог

зупинитися. Кораблям, звичайно, інструкцією в подібних випадках пропонувалося "робити постріл під ніс і корму", при подальшому опорі дозволялося стріляти й переслідувати судно, що йде. Дане правило почало складатися як звичайна норма міжнародного права. Але при комбінованій атаці з різних напрямків, або у разі непокори, відкривається вогонь на поразку. Для вдосконалення характеристик антипіратського озброєння запропонована конструкція електрореологічного протівідкатного пристрою артилерійської гармати, що містить гідроциліндр, заповнений електрореологічною рідиною, з поршнем і штоком, сполученим зі стволом гармати, зовнішню магістраль перетікання рідини між верхньою і нижньою порожнинами гідроциліндра, дросель на зовнішній магістралі. Основна відмінність запропонованого пристрою полягає у тому, що частина ствола гармати, яка наближена до казенника, сполучена з двома з'ємними півциліндричними блоками з елементами Пельтьє, які електрично пов'язані з дроселем електрогідролічного типу.

**Ключові слова:** гармата, електрореологічна рідина

## IMPROVEMENT OF EQUIPMENT FOR ANTI-THREATS SHIPPING SAFETY

**Albert Sandler, PhD, Assistant Professor**

**Taras Omelchenko, PhD, Assistant Professor**  
National University "Odessa Maritime Academy"

**Abstract.** Analysis of international practice on the issue of the use of weapons showed that at this time the only legal right is the right of warships to stop ships by force if they do not comply with demands to stop. The ships, of course, were instructed in such cases to "fire under the nose and stern", in case of further resistance, it was allowed to shoot and pursue the moving ship. This rule began to take shape as a common rule of international law. But with a combined attack from different directions, or in case of disobedience, fire is opened for defeat. To improve the characteristics of anti-piracy weapons, the design of an electro-rheological anti-rollback device of an artillery gun is proposed, which contains a hydraulic cylinder filled with an electrorheological fluid, with a piston and a rod connected to the gun barrel, an external line for the flow of liquid between the upper and lower cavities of the hydraulic cylinder, a throttle on the external line. The main difference of the proposed device is that the part of the gun barrel, which is close to the breech, is connected to two removable semi-cylindrical blocks with Peltier elements, which are electrically connected to an electro-hydraulic choke.

**Keywords:** gun, electrorheological fluid

Статут ООН беззастережно заборонив погрозу силою або її застосування всупереч установленим принципам. Однак у цей час у світі боротьби з міжнародним тероризмом проблема співвідношення сили й права, а також застосування сили придбала особливу актуальність, у тому числі в просторах Світового океану. Неодноразово в науці міжнародного права обговорювалося питання про можливість і доцільності озброєння екіпажів судів вогнепальною зброєю для надання опору піратам, оскільки транспортні судна у відкритім морі не завжди можуть сподіватися на допомогу правоохоронних органів. Однак така пропозиція не була прийнята, тому що наявність зброї на судах приведе до появи юридичних проблем при заході судів у порти й територіальні води інших держав, а також зажадає спеціального навчання команди володінню цією зброєю. Крім того, це може спонукати піратів використовувати більш небезпечні види зброї.

Але озброєння особистою зброєю екіпажів судів – проблема більш складна як для контролю, так і для безпеки людей. Офіцери й матроси цивільних судів повинні бути б добре володіти зброєю, бути підготовленими в правовім відношенні для його застосування, а сама зброя на судах повинне було б утримуватися на добре охоронюваних і контрольованих складах. Моряки при найманні на роботу повинні бути б ретельно перевірятися кадровими агентствами при взаємодії зі спецслужбами, щоб не допускати впровадження агентів піратами.

Застосування сили й вогнепальної зброї у відкритім морі як спосіб зупинки судна у випадку здійснення злочинів, передбачених законодавством прибережних держав, у їхніх

внутрішніх водах або територіальнім морі в цей час як би негласно віддається на розсуд самих держав.

Аналіз міжнародної практики по питанню застосування зброї, показав, що в цей час єдине законним є право військових кораблів зупиняти суду силою при невиконанні ними вимог зупинитися. Кораблям, звичайно, інструкцією в подібних випадках пропонувалося "робити постріл під ніс і корму", при подальшому опорі дозволялося стріляти й переслідувати судно, що йде. Дане правило почало складатися як звичайна норма міжнародного права. Але при комбінованій атаці з різних напрямків, або у разі непокори, відкривається вогонь на поразку [1].

Основу артилерійського озброєння на кораблях, які застосовуються у антипіратських операціях, зазвичай, складають скорострільні гармати калібром 25 ... 35 мм (рис. 1).

Одною з технічних проблем, які певним чином впливають на ефективність застосування такої зброї, є кліматичні умови та надвисокий темп стрільби. Ці фактори впливають на нагрів усієї артилерійської системи, та особливо на технічних речовин у противідкатних пристроях. Зміна фізичних властивостей технічних речовин у амортизуючих пристроях негативно відбивається на динамічних та точносних характеристиках гармати.

Противідкатний пристроємій, який найбільш часто застосовується – це гідравлічний, що містить гідроциліндр, заповнений гідравлічною рідиною, зі штоком і поршнем і опорним елементом, зовнішню магістраль перетікання рідини між верхньою і нижньою порожнинами гідроциліндра [2].



Рисунок 1 – Скорострільна гармата МК38 Mod 4 калібром 30 мм

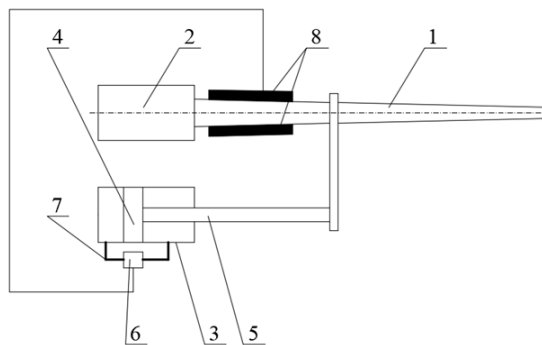


Рисунок 2 – Електрореологічний противідкатний пристрій артилерійської гармати: 1 – ствол; 2 – казенник; 3 – гідроциліндр; 4 – поршень; 5 – шток; 6 – дросель електрогідравлічного типу; 7 – зовнішня магістраль; 8 – з'єднати півциліндричні блоки з елементами Пельтьє

Суттєвим недоліком такого пристрою є:

невисока та нерегульована ефективність гасіння коливань ствола гармати;

низька надійність та стабільність роботи пристрою в умовах інтенсивного використання та нагріву через часткову втрату властивостей гідравлічної рідини

Найбільш досконалим за технічною суттю є аналогічний пристрій, що містить гідроциліндр, заповнений електрореологічною рідиною, зі штоком, поршнем, зовнішню магістраль перетікання рідини між верхньою і нижньою порожнинами гідроциліндра, опорним елементом з електромеханічним перетворювачем з п'єзоелектричних матеріалів, діод, та гідравлічний дросель на зовнішній магістралі, дотично до якого встановлено електричний конденсатор, електрично пов'язаний з електромеханічним перетворювачем з п'єзоелектричних матеріалів та діодом [3].

Основними недоліками застосування опорного елемента з електромеханічним перетворювачем з п'єзоелектричних матеріалів є:

потужна температурна залежність властивостей п'єзоматеріалів та конденсатора від температури навколишнього середовища;

складність пристрою;

відсутність можливості додаткового охолодження матеріалу ствола гармати.

В умовах, що склалися, є доцільним створення гідравлічного противідкатного пристрою, який забезпечить достатню ефективність гасіння коливань ствола гармати та стабільність роботи в умовах інтенсивного використання та нагріву, додаткове охолодження, та у якому одночасно збережені надійність та простота схмотехнічних рішень пристроїв відомих типів.

Поставлена задача вирішується тим, що пропонується електрореологічний противідкатний пристрій артилерійської гармати, що містить гідроциліндр, заповнений електрореологічною рідиною, з поршнем і штоком, сполученим зі стволом гармати, зовнішню магістраль перетікання рідини між верхньою і нижньою порожнинами гідроциліндра, дросель на зовнішній магістралі. Основна відмінність запропонованого пристрою полягає у тому, що частина ствола гармати, яка наближена до казенника, сполучена з двома з'ємними півциліндричними блоками з елементами Пельтьє, які електрично пов'язані з дроселем електрогідравлічного типу.

Запропоноване схмотехнічне рішення пояснюється кресленням (рис. 2). Гідроциліндр 3 з електрореологічною рідиною зі штоком 5 і поршнем 4, встановлюють на станині гармати (не показана). На зовнішній магістралі 7 встановлюють дросель 6 електрогідравлічного типу, електрично пов'язаний зі з'ємними півциліндричними блоками 8 з елементами Пельтьє [4 - 6]. З'ємні півциліндричні блоки з елементами Пельтьє пружинними фіксаторами закріплені на столі 1 гармати на мінімально можливій відстані від частини гармати, яка найбільш нагрівається при використанні – казеннику 2.

Після переведення артилерійської гармати до робочого режиму, під дією зовнішніх сил на шток переміщує поршень гідроциліндра противідкатного пристрою, при цьому електрореологічна рідина витісняється у зовнішню магістраль перетікання рідини між верхньою і нижньою порожнинами гідроциліндра. Гідравлічний опір, який виникає при цьому, гасить коливання.

При підвищенні температури ствола гармати, в наслідок її використання, збільшується різниця температур між первинними та вторинними частинами елементів Пельтьє. У результаті виникає потік електронів від первинних до вторинних елементів й на вторинних накопичується негативний заряд, а на первинних залишається некомпенсований позитивний заряд. Процес накопичення заряду триває до тих пір, доки різниці потенціалів, що виникла, не викличе потік електронів у зворотному напрямку, рівний первинному, завдяки чому встановиться рівновага. Після чого настає сталий режим перетворення теплової енергії у електричну. Електричний струм, який виник, подається до дросель електрогідравлічного типу на зовнішній магістралі.

При цьому в електрореологічній рідині відбуваються процеси структуроутворення, ефективна в'язкість її у зазорі дросель електрогідравлічного типу збільшується, що у свою чергу збільшує демпфуюче зусилля, підвищує ефективність гасіння коливань і забезпечує надійну та стабільну роботу противідкатного пристрою. Тобто відбувається демпфування коливань ствола гармати при відкаті у межах номінального режиму.

Пристрій є простим у виготовленні та застосуванні, бо для його створення застосовуються освоєні складові (елементи Пельтьє, дросель електрогідравлічного типу) та існуючі компоненти противідкатного пристрою артилерійської гармати.

Впровадження пристрою запропонованої схеми може бути вільно впроваджено до існуючих противідкатних пристроїв артилерійських гармат. Його застосування надасть можливість підтримки в'язкості електрореологічної рідини у гідроциліндрі близьким до номінального рівня при інтенсивному використанні. Вдасться досягти суттєвого зменшення навантаження на противідкатні пристрої гармати при інтенсивному використанні та отримати додаткове охолодження ствола гармати. Окрім того, можуть бути зменшені витрати на технічне обслуговування противідкатних пристроїв гармати.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Маймистова, И. В. Применение огнестрельного оружия как способ защиты от пиратства. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-ognestrel'nogo-oruzhiya-kak-sposob-zaschity-ot-piratstva>
2. Дерев'янчук, А. Й. Основи будови артилерійських гармат та боєприпасів. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 716 с.
3. Патент України № 139813. МПК F16F 9/50 (2006.01) B60G 17/015 (2006.01). Електрореологічний амортизатор / М. І. Стручаєв, В. О. Петров, Ю. О. Постол, О. В. Лисенко, В. В. Яценко, М. Є. Романько; заявник та володар патенту Таврійський державний агротехнологічний університет. – u201906185. – заявл. 03.06.2019; опубл. 27.01.2020, бюл. № 2. – 3 с.
4. Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М. Модуль для утилізації низькопотенційного тепла судових енергетичних установок // Судовые энергетические установки. – 2015. – Вып. 35. – Одесса: ОНМА. – С. 163 - 169.
5. Сандлер, А. К., Опришко, М. О. Система охолодження модулів інфрачервоного випромінювання комплексів спеціального призначення // Slovak international scientific journal. – 2020. – № 45. – VOL.3. – P. 32 - 35.
6. Сандлер, А. К., Опришко, М. О., Щербінін, В. А. Активний демпфер на основі магнітореологічного еластомеру // Slovak international scientific journal. – 2021. – № 58. – VOL.1. – P. 3 - 6.

УДК 343.343.6

**ВЗАЄМОДІЯ ТЕРОРИЗМУ ТА НЕЛЕГАЛЬНОЇ МІГРАЦІЇ: ВИКЛИКИ ГЛОБАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ШЛЯХИ ПРОТИДІЇ**

**М.О. Мочернюк**, здобувач другого рівня вищої освіти  
**А.О. Сурілова**, к.ю.н., доцент  
Національний університет “Одеська морська академія”

***Анотація:** У доповіді розглядається взаємозв'язок між тероризмом та незаконною міграцією, а також виклики, які вони створюють для глобальної безпеки. Аналізуються поширені стереотипи про зв'язок між цими явищами та наводяться емпіричні дані, що спростовують їх. Висвітлюються потенційні негативні наслідки надмірного посилення міграційних обмежень та пропонуються збалансовані підходи до протидії тероризму та незаконній міграції, які включають посилення прикордонного контролю, покращення систем обміну інформацією та розвиток міжнародної співпраці правоохоронних органів.*

***Ключові слова:** тероризм, незаконна міграція, глобальна безпека, прикордонний контроль, міжнародна співпраця, права людини.*

**INTERACTION OF TERRORISM AND ILLEGAL MIGRATION: GLOBAL SECURITY CHALLENGES AND WAYS TO COUNTER**

**M.O. Mocherniuk**, second-level graduate of higher education  
**A.O. Surilova**, PhD in Law, Assistant Professor  
National University "Odesa Maritime Academy"

***Abstract:** The report examines the relationship between terrorism and illegal migration and the challenges they pose to global security. It analyzes common stereotypes about the connection between these phenomena and provides empirical data that refutes them. The report highlights the potential negative consequences of excessive tightening of migration restrictions and proposes balanced approaches to countering terrorism and illegal migration, which include strengthening border control, improving information exchange systems, and developing international cooperation between law enforcement agencies.*

**Keywords:** *terrorism, illegal migration, global security, border control, international cooperation, human rights.*

Тероризм та незаконна міграція є одними з найгостріших проблем сучасного глобалізованого світу. Хоча ці явища мають різну природу, вони часто розглядаються у взаємозв'язку через спільні причини, наслідки та механізми протидії.

Тероризм можна розглядати як цілеспрямоване використання насильства для створення загальної атмосфери страху серед населення з метою досягнення певних політичних цілей. Сучасне терористичне насильство характеризується класичним "трикутником": А атакує Б, щоб переконати або примусити В змінити свою позицію щодо певної дії чи політики [1, р. 1].

Важливо зазначити, що визначення тероризму може суттєво варіюватися залежно від політичних, соціальних та культурних контекстів. Це призводить до неоднозначності у трактуванні тероризму на міжнародному рівні. Наприклад, у контексті Палестинсько-ізраїльського конфлікту, більшість країн і міжнародних організацій вважають палестинські групи, такі як ХАМАС, терористичними організаціями через їхні атаки на ізраїльські цивільні об'єкти. Водночас, серед частини палестинського населення ці ж групи можуть розглядатися як захисники національних інтересів, що борються проти ізраїльської окупації.

Щодо незаконної міграції, вона передбачає переміщення людей через міжнародні кордони з порушенням імміграційних законів країни призначення. Це явище має значний вплив на міжнародні відносини, економіку, безпеку та суспільну думку. Основними причинами незаконної міграції є економічні труднощі, збройні конфлікти, політичні переслідування, екологічні катастрофи та соціальна нестабільність.

Один з найвідоміших і найнебезпечніших маршрутів міграції — перетин Середземного моря з Північної Африки до Європи. Мігранти з Лівії, Тунісу, Марокко, а також з країн на південь від Сахари, таких як Нігерія, Малі та Судан, часто користуються послугами нелегальних перевізників, щоб дістатися Італії, Іспанії чи Греції. Головною причиною міграції є економічна нестабільність у рідних країнах, високий рівень безробіття та бідність [2, с. 301].

Тепер розглянемо взаємозв'язок між тероризмом та незаконною міграцією. Це питання є складним та неоднозначним. З одного боку, існує думка про безсумнівний зв'язок між контрабандою людей та тероризмом. Терористичні організації можуть намагатися використовувати канали незаконної міграції для переміщення своїх членів або ресурсів. Крім того, незаконні мігранти, особливо ті, хто опинився в складних життєвих обставинах, можуть бути вразливими до радикалізації та вербування терористичними організаціями через соціальну ізоляцію, економічні труднощі та відчуття безвиході.

З іншого боку, більшості досліджень про зв'язок між контрабандою та тероризмом бракує надійних емпіричних даних. Вони частіше спираються на припущення та загальноприйняті твердження, ніж на наукові факти, що в результаті лише посилює шкідливі стереотипи про нелегальну міграцію, замість того, щоб розкривати її справжню динаміку.

Статистика показує, що кількість терористів порівняно із загальною кількістю іммігрантів настільки незначна, що робить цю кореляцію несуттєвою: порядок вимірювання становить одну одиницю на мільйон іммігрантів [3].

Важливо підкреслити, що тісний зв'язок між мігрантами та тероризмом, який встановлюють деякі держави, може призвести до негативних наслідків. Це може посилити антагонізм в іммігрантських спільнотах, ненавмисно породжуючи ворожнечу до держави. Крім того, це може посилити ксенофобію та спровокувати міжсуспільне насильство. Ускладнення в'їзду для потенційних мігрантів може позбавити країни економічних переваг міграції та обмежити законні шляхи для осіб, які шукають міжнародного захисту, ускладнюючи доступ до безпечного притулку для біженців, особливо в контексті змішаних міграційних потоків.

Ключовим викликом для всіх країн є пошук оптимального балансу між сприянням міграції, захистом прав людини та контролем для підвищення безпеки міжнародних кордонів. Зрозуміло, що національні уряди стурбовані загрозами тероризму та можливістю терористичних груп використовувати вразливості в управлінні імміграцією та

прикордонному контролі. Там, де такі вразливості існують, безперечно, потрібно посилювати безпеку. Однак заходи безпеки повинні бути виправданими та пропорційними рівню загрози, з якою стикаються держави, особливо якщо посилення безпеки означає збільшення обмежень та потенційне втручання у приватне життя та громадянські права.

Важливо пам'ятати, що управління міграцією не є основним інструментом у боротьбі з тероризмом. Водночас слід визнати існування сфер, де питання міграції перетинаються з проблемами міжнародного тероризму через їхній транскордонний характер. Це стосується прикордонних систем, проїзних документів, обміну інформацією, навчання персоналу, міжкультурного діалогу та співпраці.

Комплексна міграційна політика також може сприяти соціальній стабільності в різноманітних суспільствах, зменшуючи потенціал етнічних та інших конфліктів. Таким чином, хоча імміграційна політика не є центральною у боротьбі з тероризмом, вона може сприяти його подоланню, зокрема, через покращення застосування правоохоронних та розвідувальних заходів. Імміграційні органи також можуть робити внесок у національну та міжнародну розвідку через безпосередні контакти з мігрантами, незалежно від їхнього імміграційного статусу, та через співпрацю з іншими правоохоронними та імміграційними агенціями.

**Висновки:** Хочемо наголосити, що емпіричні дані спростовують поширене уявлення про прямий зв'язок між тероризмом та незаконною міграцією, оскільки статистично підтверджено, що кількість терористів серед мігрантів є мізерною - лише одна особа на мільйон. Більшість досліджень, які намагаються встановити такий зв'язок, базується переважно на припущеннях, а не на фактичних даних, що призводить до формування хибних стереотипів.

Важливо підкреслити, що надмірне посилення міграційних обмежень має контрпродуктивний ефект, призводячи до зростання ксенофобії, міжсуспільного напруження та антагонізму в іммігрантських спільнотах. Натомість, ефективна протидія обом явищам потребує збалансованого підходу, який включає посилення прикордонного контролю пропорційно до реальних загроз, покращення систем обміну інформацією між країнами та розвиток міжнародної співпраці правоохоронних органів.

Ключовими напрямками вдосконалення міграційної політики мають стати розвиток програм соціальної інтеграції мігрантів, боротьба з організованою злочинністю у сфері нелегального переправлення осіб та вирішення базових причин вимушеної міграції в країнах походження. Особливу увагу слід приділити посиленню співпраці між імміграційними та розвідувальними службами. На практичному рівні це означає впровадження пропорційних заходів безпеки на кордонах, розробку механізмів швидкої перевірки осіб та створення ефективних систем обміну даними між країнами, при цьому забезпечуючи необхідний баланс між вимогами безпеки та захистом прав людини. Лише такий комплексний підхід, що базується на фактичних даних та уникає необґрунтованих узагальнень, здатен забезпечити ефективне вирішення проблем тероризму та нелегальної міграції у сучасному глобалізованому світі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Introduction To International Terrorism: Education For Justice University Module Series "Counter-Terrorism". Vienna: United Nations Office On Drugs And Crime, 2018. URL: [https://www.unodc.org/documents/e4j/18-04932\\_Ct\\_Mod\\_01\\_Ebook\\_Finalpdf.Pdf](https://www.unodc.org/documents/e4j/18-04932_Ct_Mod_01_Ebook_Finalpdf.Pdf).
2. Беседа Д. Міграційна криза в ЄС та її вплив на безпекову ситуацію в Україні. *Підприємництво, господарство і право. Кримінологія*. № 12, 2018. С. 299-303.
3. Claudio Bertolotti. Terrorism and immigration: links and challenges. *ReaCT*, 2021. URL: [https://www.startinsight.eu/wp-content/uploads/2021/01/react2021\\_web.pdf](https://www.startinsight.eu/wp-content/uploads/2021/01/react2021_web.pdf).

УДК 343.343.6

## РЕГІОНАЛЬНІ УГОДИ ЩОДО ПРОТИДІЇ НЕЗАКОННІЙ МІГРАЦІЇ МОРЕМ

**Є. Моргунова**, здобувач другого рівня вищої освіти  
**О.В. Костира**, к.ю.н., доцент,  
Національний університет “Одеська морська академія”

**Анотація:** доповідь розглядає роль регіональних угод у боротьбі з незаконною міграцією морем. Аналізуються ключові інструменти, такі як Дублінська угода та угоди про реадмісію в ЄС, Регіональна платформа для міграції та мобільності (RPMM) в АСЕАН, а також регіональний план дій ECOWAS. Висвітлюються позитивні аспекти та виклики регіональних угод, а також їх координація з міжнародним законодавством. Робиться висновок, що ефективність регіональних угод залежить від співпраці країн-членів, узгодженості у правозастосуванні та готовності до вирішення політичних та економічних викликів.

**Ключові слова:** незаконна міграція морем, регіональні угоди, Дублінська угода, АСЕАН, ECOWAS, регіональна співпраця.

## REGIONAL AGREEMENTS ON COMBATING ILLEGAL MIGRATION BY SEA

**E. Morgunova**, second-level graduate of higher education  
**O.V. Kostyrya**, Ph.D. in Law, Assistant Professor  
National University "Odesa Maritime Academy"

**Abstract:** The report examines the role of regional agreements in combating illegal migration by sea. It analyzes key instruments such as the Dublin Agreement and readmission agreements in the EU, the Regional Platform for Migration and Mobility (RPMM) in ASEAN, as well as the ECOWAS regional action plan. The article highlights the positive aspects and challenges of regional agreements and their coordination with international law. It concludes that the effectiveness of regional agreements depends on the cooperation of member countries, consistency in law enforcement, and willingness to address political and economic challenges.

**Keywords:** illegal migration by sea, regional agreements, Dublin Agreement, ASEAN, ECOWAS, regional cooperation.

Незаконна міграція морем є однією з найскладніших проблем сучасного міжнародного права та безпеки. Вона викликає серйозні гуманітарні кризи, економічні та соціальні наслідки для країн походження, транзиту та призначення. В умовах глобалізації та збільшення кількості мігрантів, регіональні угоди набувають особливої ваги як інструменти для координації дій держав у боротьбі з незаконною міграцією.

В Європейському Союзі (ЄС) основою нормативної бази є Дублінська угода, відома також як Дублінський регламент [1], яка є ключовим інструментом у системі управління надання притулку в ЄС та активно використовується в боротьбі з незаконною міграцією морем. Вона встановлює механізм для визначення країни-члена ЄС, яка відповідальна за розгляд заявки на притулок, що забезпечує централізацію й координацію розгляду заяв та дозволяє уникнути так званому "шопінгу притулку". Проте система має низку проблем, зокрема надмірне навантаження на окремі країни та недостатнє забезпечення прав мігрантів.

Європейський Союз також використовує угоди про реадмісію як інструмент для контролю за міграційними потоками та зменшення незаконної міграції. Ці угоди дозволяють ЄС повертати осіб, які незаконно перетнули кордони або не мають необхідних документів, забезпечуючи відповідальність країн-партнерів за прийняття своїх громадян [2]. ЄС уклав низку угод про реадмісію з різними країнами, зокрема з Туреччиною, Індонезією, Пакистаном, Нігерією та Бангладешем.



АСЕАН активно займається питанням міграції через ініціативи, такі як Регіональна платформа для міграції та мобільності (RPMМ). Ця платформа забезпечує обмін інформацією та кращими практиками серед держав-членів щодо боротьби з незаконною міграцією. Основні цілі та завдання RPMМ зосереджені на обміні інформацією, розробці спільних стратегій, обміні кращими практиками, а також навчанні спеціалістів. Механізми функціонування RPMМ включають регулярні зустрічі, семінари та консультації для обговорення актуальних питань. Вплив RPMМ проявляється в посиленні регіональної координації та зменшенні обсягів нелегальної міграції, але платформа стикається з викликами, такими як культурні та політичні різниці в регіоні АСЕАН.

У 2015 році АСЕАН уклала угоду, спрямовану на боротьбу з торгівлею людьми [3], яка передбачає зобов'язання держав-учасниць криміналізувати цей злочин, захищати жертв і боротися з організованими злочинними угрупованнями. Основні положення угоди включають криміналізацію торгівлі людьми, забезпечення правового захисту жертв та спільну роботу країн у боротьбі з організованою злочинністю. Вплив угоди проявляється в покращенні національних законодавств та підвищенні доступу жертв до реабілітаційних програм, але її впровадження стикається з викликами, зокрема з обмеженими ресурсами та різними підходами до законодавства в країнах.

Регіональний план дій для боротьби з незаконною міграцією в Західній Африці, розроблений Західноафриканським економічним співтовариством (ECOWAS), має на меті зменшення незаконної міграції через інтеграцію держав-членів у боротьбу з нелегальним переправленням мігрантів. Основні цілі плану включають запобігання незаконній міграції, вдосконалення контролю за кордонами та співпрацю між державами-членами. Механізми реалізації передбачають створення регіональних координаційних центрів, проведення спільних операцій та розробку відповідного законодавства. Очікується, що реалізація плану призведе до зменшення рівня незаконної міграції, але його впровадженню можуть заважати фінансові обмеження, політичні та культурні різниці між країнами-членами [4].

Регіональні угоди і конвенції, що стосуються боротьби з незаконною міграцією, мають кілька позитивних аспектів, зокрема покращення координації і співпраці між країнами, підвищення захисту мігрантів та врегулювання питань правозастосування. Однак їх реалізація стикається з викликами, такими як фінансові витрати, складні бюрократичні процедури, корупція та соціальні наслідки. Невірне застосування угод може спричинити дискримінацію і погіршення умов життя для мігрантів.

Координація регіональних угод з міжнародним законодавством є важливим аспектом у боротьбі з незаконною міграцією. Регіональні угоди забезпечують дотримання міжнародних стандартів, спираючись на конвенції ООН та активно взаємодіють з міжнародними організаціями. Вони можуть доповнювати міжнародне законодавство, уточнюючи і конкретизуючи механізми реалізації загальних стандартів. Однак можуть виникати конфлікти між регіональними угодами і міжнародним законодавством, які потребують вирішення через консультації з міжнародними організаціями або перегляд правил.

**Висновки:** Регіональні угоди відіграють ключову роль у боротьбі з незаконною міграцією морем, забезпечуючи координацію між країнами, полегшуючи обмін інформацією та ресурсами. Однак їхня ефективність залежить від здатності країн-членів до співпраці, узгодженості у правозастосуванні та готовності до вирішення політичних та економічних викликів. Подальше вдосконалення регіональних механізмів та їх інтеграція з міжнародними стандартами можуть суттєво покращити ситуацію з незаконною міграцією на морі. Ефективна боротьба з цією проблемою вимагає комплексного підходу, що поєднує правові, політичні та соціально-економічні заходи на регіональному та міжнародному рівнях.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Regulation (EU) No 604/2013 Of The European Parliament And Of The Council establishing the criteria and mechanisms for determining the Member State responsible for examining an application for

international protection lodged in one of the Member States by a third-country national or a stateless person (recast). Dublin. 26 June 2013. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2013/604/oj>

2. Panizzon, Marion. ReAdmission Agreements Of Eu Member States: A Case For Eu Subsidiarity Or Dualism? Refugee Survey Quarterly, vol. 31, no. 4, 2012, pp. 101–33. URL: <http://www.jstor.org/stable/45054949>.

3. ASEAN Convention Against Trafficking in Persons, Especially Women and Children. Kuala Lumpur. 21 November 2015. URL: <https://www.asean.org/wp-content/uploads/2015/12/ACTIP.pdf>.

4. ECOWAS gender and migration framework and plan of action 2015-2020. January 1 2015. URL: [https://ccdg.ecowas.int/wp-content/uploads/Plan-of-Action\\_Gender-and-Migration.pdf](https://ccdg.ecowas.int/wp-content/uploads/Plan-of-Action_Gender-and-Migration.pdf).

УДК 343.343.6 (079.2)

## ПРИЧИНИ ТА НАСЛІДКИ НЕЗАКОННОЇ МІГРАЦІЇ МОРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ

**О.В. Кости́ря**, к.ю.н., доцент,  
**Є.А. Моргунова**, здобувач другого рівня вищої освіти  
Національний університет “Одеська морська академія”

***Анотація:** У доповіді аналізуються соціальні, політичні та економічні чинники, основні маршрути незаконної міграції морем, а також комплексні наслідки для країн походження та призначення незаконної міграції.*

***Ключові слова:** Незаконна міграція, морський транспорт, права людини, ризики*

## CAUSES AND CONSEQUENCES OF ILLEGAL MIGRATION BY SEA

**O.V. Kostyria**, PhD in Law, Assistant Professor  
**E.A. Morgunova**, second-level graduate of higher education  
National University "Odesa Maritime Academy"

***Abstract:** The report focuses on the social, political and economic factors, the main routes of illegal migration by sea, and the complex consequences for countries of origin and destination of illegal migration.*

***Keywords:** Illegal migration, maritime transport, human rights, risks*

Незаконна міграція морським транспортом є однією з найгостріших проблем сучасності, що зачіпає інтереси багатьох держав та міжнародної спільноти в цілому. Це явище має складну природу, обумовлену різноманітними факторами, та призводить до серйозних наслідків як для країн походження та призначення мігрантів, так і для самих мігрантів. Метою даного дослідження є аналіз основних причин цього явища та його впливу на всіх залучених учасників.

Незаконна міграція зумовлена великою кількістю різноманітних чинників: економічних, політичних, соціальних, демографічних, кліматичних та ін. Серед економічних факторів ключову роль відіграють соціально-економічна нерівність та обмежені можливості в країнах походження, значний контраст життєвих стандартів між країнами, а також наявність тіньового ринку праці в країнах призначення [1, р. 249].

Політична нестабільність, збройні конфлікти та порушення прав людини в країнах походження також є вагомими причинами, що змушують людей шукати притулку за кордоном.

Ці фактори тісно переплітаються, створюючи комплексну систему стимулів для нелегальної міграції. Вони формують потужні push-фактори в країнах походження та pull-

фактори в країнах призначення, що разом створюють стійкий потік нелегальних мігрантів, готових ризикувати життям заради шансу на краще майбутнє.

Один з найвідоміших і найнебезпечніших маршрутів міграції — перетин Середземного моря з Північної Африки до Європи. Мігранти з Лівії, Тунісу, Марокко, а також з країн на південь від Сахари, таких як Нігерія, Малі та Судан, часто користуються послугами нелегальних перевізників, щоб дістатися Італії, Іспанії чи Греції. Головною причиною міграції є економічна нестабільність у рідних країнах, високий рівень безробіття та бідність. Наприклад, у Лівії тривала політична криза і конфлікт спричинили економічний крах, що змусило багатьох шукати кращого життя в Європі [2, с. 301].

Багато мігрантів з Індонезії, Шрі-Ланки, Бангладеш та М'янми вирушають морським шляхом до Австралії, часто через Індонезію або Малайзію. Як і в інших регіонах, мігранти ризикують своїм життям, подорожуючи на перевантажених і небезпечних човнах. Уряди країн, таких як Австралія, часто проводять жорсткі операції з припинення нелегальної міграції, що призводить до затримання і депортації мігрантів [3, р. 3].

Зміна клімату та екологічні катастрофи стають також все більш значущим фактором міграції. Часті і інтенсивні стихійні лиха, підвищення рівня моря та засолення ґрунтів змушують людей залишати постраждалі райони. Соціальні та демографічні фактори, такі як роз'єднання сімей та прагнення до кращої освіти і медичного обслуговування, також відіграють важливу роль у формуванні міграційних потоків.

Незаконна міграція морським транспортом несе в собі величезні ризики для життя та здоров'я мігрантів. Використання ненадійних транспортних засобів, несприятливі погодні умови та відсутність належного рятувального обладнання призводять до численних трагедій. За даними Міжнародної організації з міграції (ІОМ), тисячі людей щороку гинуть під час спроб перетнути море. Наприклад, у 2022 році було зафіксовано близько 1600 випадків загибелі або зникнення мігрантів у Середземному морі [4].

Крім фізичних ризиків, мігранти часто стають жертвами експлуатації та порушення прав людини. Контрабандисти, які організують такі подорожі, часто вдаються до шахрайства, фізичного та психологічного насильства. Умови на суднах, які використовуються для перевезення мігрантів, часто є нелюдськими, що призводить до серйозних проблем зі здоров'ям.

Для країн походження міграція має серйозні наслідки, зокрема втрату людського капіталу. "Відтік мізків" призводить до зниження продуктивності в ключових секторах економіки, зменшення інноваційного потенціалу країни та погіршення якості послуг, особливо в критичних галузях, таких як охорона здоров'я та освіта. Крім того, міграція викликає значні зміни в соціальній структурі суспільства, включаючи гендерний дисбаланс та прискорене старіння населення.

Для країн призначення наслідки незаконної міграції також є комплексними. Вони включають додаткове навантаження на соціальні системи, виклики для національної безпеки, зміни на ринку праці та потенційні соціальні і культурні конфлікти. Масовий приплив мігрантів може серйозно навантажити системи охорони здоров'я, освіти та соціального забезпечення. Крім того, великі потоки нелегальних мігрантів створюють проблеми для ефективного контролю кордонів та можуть сприяти розвитку нелегальної діяльності.

На міжнародному рівні незаконна міграція може призвести до дипломатичних конфліктів між країнами, вплинути на міжнародне морське право та безпеку морського транспорту. Непогодженість у питаннях міграційної політики може загострити політичні суперечки між державами та вплинути на міжнародні відносини в цілому.

**Висновки** дослідження свідчать, що незаконна міграція морським транспортом є складною та багатогранною проблемою, яка вимагає комплексного підходу до її вирішення. Необхідно звернути увагу не лише на посилення контролю над міграційними потоками, але й на усунення корінних причин міграції в країнах походження. Міжнародне співробітництво, спрямоване на забезпечення безпечних і легальних шляхів міграції, а також на покращення

соціально-економічних умов у країнах походження мігрантів, є ключовим для ефективного вирішення цієї глобальної проблеми.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Castles, Stephen. The Forces Driving Global Migration. *Journal of Intercultural Studies*. 34. 2013. P. 122–140. URL: <https://doi.org/10.1080/07256868.2013.781916> .
2. Беседа Д. Міграційна криза в ЄС та її вплив на безпекову ситуацію в Україні. Підприємництво, господарство і право. Криміналогія. № 12, 2018. С. 299-303.
3. Ihekwe, Sixtus. Preventing people from risking their lives at sea: Forced migration and the securitization of asylum seekers in Australia. *Asian Journal of Comparative Politics*. 7. 2021. P. 625-633. URL: <https://doi.org/10.1177/20578911211032514> .
4. International organization of Migration. Data and Research. URL: <https://www.iom.int/data-and-research> .

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС

*Жеков Б.В.* ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ДАТЧИКА ЗАГАЛЬНОГО ЗАЛИШКОВОГО ОКИСЛЮВАЧА СУДНОВОЇ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ БАЛАСТНИХ ВОД / *Жеков Б.В., Гвоздева І.М., Грама Г.П., Єрмошкін О.М.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.9-13

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Гвоздева І.М.* НАЛАШТУВАННЯ ПІД – РЕГУЛЯТОРІВ В СУДНОВИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ / *Гвоздева І.М., Миргород В.Ф., Мельник М.С., Батрушевич Д.А.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.13-17

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Гвоздева І.М.* ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ НАЛАШТУВАННЯ ПІД – РЕГУЛЯТОРІВ В СУДНОВИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ / *Гвоздева І.М., Миргород В.Ф., Гунія Н.О., Данчук Д. П.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.17-21

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Михайленко В.С., Леценко В.В.*

НЕЙРО - НЕЧІТКА СИСТЕМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ АГРЕГАТАМИ СЕУ

/ *Гвоздева І.М., Миргород В.Ф., Гунія Н.О., Данчук Д. П.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.21-23

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Цацко В.І.* ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ОСУШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ БУКСИРА В ПРОЦЕСІ РОБОТИ МЕТОДОМ ТЕНЗОМЕТРІЇ / *Цацко В.І., Дранчук С.М., Тріфонов В.О.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.23-26

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Шевченко В.А.* СПОСІБ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПІДГОНКОЮ ЧАСТОТИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРІВ ПРИ СИНХРОНІЗАЦІЇ / *Шевченко В.А., Очеретяний Ю.О., Романов А.М., Мунтян О.М., Табулінський І.М.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.26-32

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Цацко В.І.* ДОСЛІДЖЕННЯ СУДНОВОЇ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ІЗ ТЕНЗОМЕТРИЧНИМ ВИТРАТОМІРОМ РІДИНИ / *Цацко В.І., Дранчук С.М., Політикін О.І.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.32-36

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Цацко В.І.* ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОМ З ТЕНЗОМЕТРИЧНИМ ВИТРАТОМІРОМ РІДИНИ / *Цацко В.І., Дранчук С.М., Шітіков О.Р., Щербакан М.С.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.36-39

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Рябцов О.В.* ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ФЕНОМЕНОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ОПТИЧНОГО КОМУТАТОРА ДЛЯ СУЧАСНИХ СУДНОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

/ *Рябцов О.В.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.39-42

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Цуна А.В.* ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГІБРИДНИХ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ АЛГОРИТМІЗАЦІЯ / *Цуна А.В., Будашко В.В.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.43-48

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Цуна А.В.* ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕЛЕКТРОЛІЗЕРІВ / *Цуна А.В., Гвоздева І.М.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.48-53

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Михайленко В.С.* ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ РЕЖИМІВ ГОРІННЯ ПАЛИВА В СУДНОВИХ КОТЛАХ / *Михайленко В.С., Вдовиця О.А., Леценко В.В.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.53-56

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Самонов С.Ф.* ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУДНОВИХ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЄЮ / *Самонов С.Ф., Дубовик В.О., Кульбацький А.В., Дудко С.А.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.56-59

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Кочетков О.В.* ПРИНЦИП ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ МОДУЛІВ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОГО ПРОСТОРУ / *Кочетков О.В., Харченко Р.Ю.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.59-61

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Філімонов Д.А.* РОЗВИТОК СИСТЕМ ПРОГНОЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ МОРСЬКОГО БАЗУВАННЯ / *Філімонов Д.А., Будашко В.В.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.62-68

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Шестака А. І.* ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ СТРУМОМ НАМАГНІЧУВАННЯ В СУЧАСНИХ VFD / *Шестака А. І., Мельнікова Л.М.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.69-71

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Попов В.Г.* МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ТІЛАХ, ЩО МІСТЯТЬ ТОНКІ ЖОРСТКІ ВКЛЮЧЕННЯ / *Попов В.Г., Кирилова О.І.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.72-75

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Кривий М.О.* КРИТЕРІЙ ЗАСТОСОВНОСТІ НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ МАСТИЛ В ПІДШИПНИКАХ КОВЗАННЯХ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ / *Кривий М.О.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.75-78

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Кривий О. УЗАГАЛЬНЕНИЙ МЕТОД ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ЗАДАЧАХ ПРО МІЖФАЗНІ ДЕФЕКТИ / Кривий О., Морозов Ю. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.78-82

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Архипенко К. МІЖФАЗНІ ВКЛЮЧЕННЯ ПРИ ЗМІШАНИХ УМОВАХ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ІЗ КУСКОВО-ОДНОРІДНОЮ АНІЗОТРОПНОЮ ПЛОЩИННОЮ / Архипенко К., Кривий О. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.82-85

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Галаган С.М. НЕЧІТКА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОРУШІЄМ МАЛОГО БЕЗПІЛОТНОГО НАДВОДНОГО СУДНА / Галаган С.М., Налева Г.В., Онищенко О.А. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.85-89

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Цупа А.В. ПОТЕНЦІЙНІ ЗАГРОЗИ У СУДНОВОМУ КІБЕРПРОСТОРИ / Цупа А.В., Дмухайлов Д.Д., Михайлов С.А. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.90-92

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Купровський В.І. ЙМОВІРНІСТЬ ВИЯВЛЕННЯ ЦІЛІ СУДНОВОЮ НАВІГАЦІЙНОЮ РЛС / Купровський В.І. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.93-96

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Stetsenko M. MISSILE EARLY DETECTION WITH ULTRAVIOLET PLUME SIGNATURE ANALYSIS: A CONCEPT OF ON-BOARD COMPUTER VISION EQUIPMENT / Stetsenko M., Shyshkin O. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.96-102

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Шшикін О.В. ЗАХИСТ АІС ВІД ПІДРОБЛЕНИХ ПЕРЕДАВАНЬ НА ОСНОВІ КРИПТОГРАФІЧНОЇ АВТЕНТИФІКАЦІЇ ПОВІДОМЛЕНЬ / Шшикін О.В., Коновець В.І., Дем'яненко І.В. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.102-106

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Шшикін О.В. КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ СУДНОВИХ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ТА НАВІГАЦІЇ АВТОНОМНОГО СУДНА З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ / Шшикін О.В., Стеценко М.С. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.106-111

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Михайлов С.А. ЕФЕКТИВНІ КІБЕРСИСТЕМИ ДЛЯ МОРСЬКИХ СУДЕН / Михайлов С.А., Веретенник О.М., Кулешов І.М. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.111-114

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Шшикін О.В. НОВІ МОРСЬКІ СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ БЕЗПЕКИ СУДНОПЛАВСТВА / Шшикін О.В., Пащенко О.Л., Харченко Р.Ю. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.114-119

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Кошевий В. М.* ОСОБЛИВИСТІ ПІДГОТОВКИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКІВ З ПИТАНЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ В РАМКАХ ВИКОНАННЯ СВОЇХ ПРОФЕСІЙНИХ ОBOB'ЯЗКІВ / *Кошевий В. М., Харченко Р. Ю., Грищенко В. В., Пащенко О. Л., Шевченко А.А.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.120-125

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Бушер В.В.* ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ БАГАТОФАЗНИХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ КАСКАДНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ / *Бушер В.В., Герман О.О., Олінчук В.В.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.126-130

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Бушер В.В.* МЕТОД БАЛАНСУВАННЯ ВЕКТОРІВ НАПРУГИ 5-ФАЗНОГО ІНВЕРТОРА ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОТУЖНОГО СИНХРОННОГО ДВИГУНА / *Бушер В.В., Захарченко В.М.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.131-134

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Птащенко Ф.О.* КОНЕЧНО-ЕЛЕМЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ В ОСЕРДІ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА / *Птащенко Ф.О., Горюк А.А., Зенченко В.П.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.134-138

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Levinskyi M.V.* GENERATION OF CODE FROM MATLAB/SIMULINK MODELS FOR IMPLEMENTATION ON SIEMENS SIMATIC S7-1500 PLC / *Levinskyi M.V., Levinskyi V.M., Volovshchikov V.Yu.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.139-142

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Дудко С.А.* АНАЛІЗ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ДІАГРАМ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ / *Дудко С.А., Дубовик В.О.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.142-148

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Горбань П.О.* СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ ОХОЛОДЖЕНОЇ ВОДИ ДЛЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ НА ПАСАЖИРСЬКОМУ СУДНІ / *Горбань П.О., Міусов М.В.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.148-151

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Будуров М.І.* ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ З ЕЛЕКТРОННИМ РЕГУЛЯТОРОМ / *Будуров М.І.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.151-154

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Дранкова А.О.* ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЛАБОРАТОРІЇ MITSUBISHI ELECTRIC У ПІДГОТОВЦІ МАГІСТРІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ / *Дранкова А.О., Муха М.Й.*// Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.154-160

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>



Дулгеров Д. Д. ПІДВИЩЕННЯ ВІРОГІДНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ У ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ / Дулгеров Д. Д., Сандлер А. К. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.160-175  
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Удолатій В. Б. ОГЛЯД ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДЕН ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ОСНОВІ КОНТРОЛЮ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ / Удолатій В. Б. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.176-180  
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Сандлер А.К. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ МУФТ ФІРМИ RENK ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИВОДІВ / Сандлер А.К., Глазева О.В., Столярик Т.О. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.180-185  
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Сандлер А.К. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЗАСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ / Сандлер А.К., Будашко В.В., Глазева О.В. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.186-189  
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Слюсаренко В.Д. СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ЕКСПОРТУ АГРОПРОДУКЦІЇ / Слюсаренко В.Д. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.190-192  
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Сандлер А.К. ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР НА СУДНО / Сандлер А.К., Омельченко Т.Ю., Журавльов Ю.І. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.193-197  
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Допіра А.В. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ІСНУЮЧИХ МЕХАНІЗМІВ КОНТРОЛЮ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ В ПОРТАХ / Допіра А.В. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.198-201  
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Міклухо О.В. УПРАВЛІНСЬКІ ВИКЛИКИ ДЛЯ СТИВДОРНИХ КОМПАНІЙ УКРАЇНИ ПІД ЧАС ВОЄННИХ ДІЙ ТА БЛОКАДИ ЧОРНОГО МОРЯ / Міклухо О.В. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.201-204  
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Карпілов О.Ю. АЛЬТЕРНАТИВНА КОНСТРУКЦІЯ ВІТРИЛЬНОГО ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСУ / Карпілов О.Ю., Удолатій В.Б., Сандлер А.К. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.204-208  
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

Федак І.І. ТРИ МОРЯ – ОДИН ШЛЯХ ДО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ЄВРОПИ / Федак І.І., Кузьменко К.М. // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.208-210  
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Буровцева Д. О.* ПРАВОВИЙ СТАТУС АРКТИЧНИХ ВОД У НАЦІОНАЛЬНОМУ ПРАВІ АРКТИЧНИХ ДЕРЖАВ / *Буровцева Д. О.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.211-213

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Тарантасєва О.О.* ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЗАХИСТУ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА ПІД ЧАС ДІЯЛЬНОСТІ В МІЖНАРОДНОМУ РАЙОНІ МОРСЬКОГО ДНА / *Тарантасєва О.О., Краснікова О.В.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.213-215

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Костиця О.В.* НОРМОТВОРЧА ДІЯЛЬНІСТЬ МІЖНАРОДНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРАЦІ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ТРУДОВИХ І СОЦІАЛЬНИХ ПРАВ МОРЯКІВ / *Костиця О.В., Сердиченко Ю.О.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.215-218

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Лунгова Н.М.* РОЛЬ МІЖНАРОДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ У РЕГУЛЮВАННІ ОХОРОНИ МОРСЬКОГО ДОВКІЛЛЯ / *Лунгова Н.М., Костиця О.В.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С. 218-221

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Костиця О.В.* ВЗАЄМОДІЯ МІЖНАРОДНОГО ТА НАЦІОНАЛЬНОГО ПРАВА У ГАЛУЗІ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА / *Костиця О.В., Грушкіца В.В.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.221-223

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Костиця О.В.* ПРОБЛЕМИ ДЕЛІМІТАЦІЇ МОРСЬКИХ ПРОСТОРІВ ЧОРНОГО МОРЯ / *Костиця О.В., Яворська Ю.В.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.223-225

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Сандлер А. К., Омельченко Т.Ю.* ВДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ЗАГРОЗАМ БЕЗПЕЦІ СУДНОПЛАВСТВА / *Сандлер А. К., Омельченко Т.Ю.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.225-229

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Мочернюк М.О.* ВЗАЄМОДІЯ ТЕРОРИЗМУ ТА НЕЛЕГАЛЬНОЇ МІГРАЦІЇ: ВИКЛИКИ ГЛОБАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ШЛЯХИ ПРОТИДІЇ / *Мочернюк М.О., Сурілова А.О.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.229-231

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Моргунова Є.А.* РЕГІОНАЛЬНІ УГОДИ ЩОДО ПРОТИДІЇ НЕЗАКОННІЙ МІГРАЦІЇ МОРЕМ / *Моргунова Є.А., Костиця О.В.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.232-234

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

*Костиця О.В.* ПРИЧИНИ ТА НАСЛІДКИ НЕЗАКОННОЇ МІГРАЦІЇ МОРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ / *Костиця О.В., Моргунова Є.А.* // Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, 2024. – С.234-236

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>

**ДЛЯ НОТАТОК**

Наукове видання

**МАТЕРІАЛИ**

XIV Міжнародної науково-технічної конференції

**"СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ,  
ЕЛЕКТРОНІКА І АВТОМАТИКА"**

**19.11.2024 – 20.11.2024**

Комп'ютерна верстка: *О.В. Глазева*

Підп. до друку **16.01.2024**

Формат 60×84/16.Папір офсетний. Ум. друк. арк. 14,93

Тираж 50 пр. Замовлення № И24-02-32

НУ ОМА, центр «Видавінформ»  
65052, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп.7  
Свідоцтво ДК № 1292 от 20.03.2003  
e-mail: [publish@onma.edu.ua](mailto:publish@onma.edu.ua)  
Телефони: +38(048) 793-24-50  
+38(048) 793-24-51