

**СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І
АВТОМАТИКА**

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

SEEEA-2023

Збірка матеріалів конференції

**22-23 листопада
2023 року
Одеса, Україна**

**November 22-23
2023
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 Шафик – к.т.н., (Сирія).

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова:

*Заступник голови
орґкомітету:*

Члени орґкомітету:

*Відповідальний
секретар:*

Михайло Міюсов – ректор НУОМА, д.т.н., професор.

Вадим Захарченко – проректор з науково-педагогічної роботи НУОМА, д.т.н., професор.

Віталій Будашко – директор навчально-наукового інституту автоматичної 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, д.т.н., професор;

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

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

У збірнику матеріалів конференції розміщено тези доповідей XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», що відбулась 22-23 листопада 2023 року у Національному університеті «Одеська морська академія».

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

Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУОМА, 2023. – 248 с.

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

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

<i>Тихонов І.В.</i>	9
ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РІЧКОВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СЛУЖБИ В УКРАЇНІ	
<i>Будашко В.В.</i>	13
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНИМИ ПРОГРАМАМИ В ПОСТАКРЕДИТАЦІЙНИЙ ПЕРІОД	
<i>Kuznichenko S., Tsynova M.</i>	19
GIS AS A DECISION MAKING SUPPORT TOOL FOR URBAN PLANNING AND MANAGEMENT	
<i>Захарченко В.М.</i>	25
РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ У СУДНОПЛАВСТВІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ	
 Секція 1. СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ	
<i>Миргород В.Ф., Козирев І.П., Шестаков Л. К., Очеретнюк Н. А.</i>	27
МЕТОДИКА НАБЛИЖЕНОЇ ОЦІНКИ ЧАСУ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В СУДНОВИХ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМАХ РЕГУЛЮВАННЯ	
<i>Danilov D., Mykhailenko V.</i>	32
RESEARCH OF AN INTELLIGENT SYSTEM OF CONTROL OF THE PARAMETERS OF AN INERT GAS GENERATION SYSTEM	
<i>Миргород В.Ф., Третьяков М.О., Кірсанов М.О., Говоров К.Д.</i>	35
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ РОБАСТНОСТІ СУДНОВИХ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ	
<i>Миргород В.Ф., Гвоздева І.М., Козирев І.П., Плетнев М.І.</i>	39
ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ АНАЛОГІЇ ПРИ РОЗРОБЦІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СУДНОВИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ	
<i>Власов В.Б., Глазєва О.В., Самонов С.Ф., Дубовик В.О.</i>	43
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СУЧАСНИХ ОБ'ЄКТІВ МОРСЬКОЇ ІНДУСТРІЇ	

<i>Завадський В.А.</i>	51
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МАГНІТОМ'ЯКИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СУДНОВИХ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ	
<i>Велика О.І., Полосіна В.М.</i>	53
МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ВИВЧЕННІ ОКРЕМИХ РОЗДІЛІВ ФІЗИКИ	
<i>Дранкова А.О., Артюх В.О.</i>	
СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ СУДНОВИМ ДОПОМІЖНИМ КОТЛОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛК МОДУЛЬНОГО ТИПУ	58
<i>Рябцов О.В.</i>	62
ОСОБЛИВОСТІ ПРАКТИЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОХОЛОДЖЕННЯМ СУДОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	

Секція 2. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

<i>Михайленко В.С., Лещенко В.В.</i>	66
ОГЛЯД МЕТОДІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДЕН	
<i>Гвоздева І.М., Грама Г.П., Кузнєцов І.Є.</i>	68
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СКРУБЕРІВ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ	
<i>Ципа А. В., Гвоздева І.М.</i>	72
ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ, НАДІЙНОСТІ ТА ЕКОНОМІЧНОСТІ РОБОТИ СУДОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ	
<i>Дрозд О.В.</i>	76
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ВАНТАЖНИХ ПРИСТРОЇВ НЕПЕРЕРИВНОЇ ДІЇ	
<i>Шестака А.І., Мельнікова Л.В.</i>	80
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ HVAC - СИСТЕМ КРУЇЗНИХ СУДЕН ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ VAV – МОДУЛЕЙ	
<i>Швидкий О.С., Петрушин В.С.</i>	85
ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД СУДНОВОГО КОМПРЕСОРА ОХОЛОДЖЕННЯ ЕТИЛЕНУ	

<i>Веретеннік О.М., Михайлов С.А., Кулешов І.М.</i>	89
РОЛЬ ТА ЗНАЧЕННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ПОТОКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ІЄРАРХІЇ ЗАГАЛЬНИХ ЕНЕРГОПОТОКІВ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТНОГО СУДНА	
<i>Самонов С.Ф., Дубовик В.О., Кульбацький А.А.</i>	92
ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІЧКОВИХ СУДЕН ПРИ ПРОХОДЖЕННІ МОСТІВ	
<i>Mukha M., Drankova A.</i>	95
AN IMPLEMENTATION EXPERIENCE OF THE SHIP POWER PLANT ENERGY PARAMETERS MONITORING SYSTEM	

Секція 3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

<i>Кочетков О.В., Зарицька О.І., Гаур Т.О.</i>	104
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЕЛИЧИНИ ВХІДНОЇ НАПРУГИ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ МОДУЛЬНОЇ СТРУКТУРИ	
<i>Харченко Р.Ю., Кочетков О.В., Гаур Т.О.</i>	108
ЕЛЕКТРИЧНІ ПРОЦЕСИ ПІДВИЩУЮЧИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ МОДУЛЬНОЇ СТРУКТУРИ В ГРАНИЧНОМУ РЕЖИМІ ФУНКЦІОНУВАННЯ	

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

<i>Попов В.Г.</i>	111
ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУР У ВТУЛЦІ ЦИЛІНДРА СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ МЕТОДОМ ІНТЕГРАЛЬНИХ РІВНЯНЬ	
<i>Архипенко К. М., Кривий О.Ф.</i>	115
ДВА МІЖФАЗНИХ ВКЛЮЧЕННЯ В НЕОДНОРІДНІЙ АНІЗОТРОПНІЙ ПЛОЩИНІ	
<i>Кривий М. О.</i>	118
МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ МАСТИЛЬНОГО ШАРУ В ПАРАХ КОВЗАННЯ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК	
<i>Кривий О.Ф., Морозов Ю.О.</i>	122
КРИТЕРІЇ РУЙНУВАННЯ КОМПОЗИТНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ	
<i>Кривий О. Ф., Міюсов М.В., Кривий М.О.</i>	126
МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ СУДНОВИХ ГВИНТІВ	

<i>Мішарін А.С., Попов В.Г.</i>	129
ПРИВЕДЕННЯ ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖНОГО СТАНУ В ОКОЛІ ТРІЩИНИ НА ПРОДОВЖЕНІ ЖОРСТКОГО ВКЛЮЧЕННЯ ДО СИСТЕМИ ІНТЕГРАЛЬНИХ РІВНЯНЬ	
<i>Налева Г. В., Онищенко О. А.</i>	133
СПРОЩЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОРУШІЯ МОРСЬКИХ БЕЗПЛОТНИХ СУДЕН	
<i>Кирилова О.І., Попов В.Г.</i>	138
ЗАСТОСУВАННЯ ІТЕРАЦІЙНОГО МЕТОДА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ОКОЛІ СИСТЕМИ ТРІЩИН В УМОВАХ ВІБРАЦІЇ	
<i>Demudov O., Popov V.</i>	142
MODELING TRANSIENT PROCESSES IN A FINITE CYLINDER UNDER IMPULSIVE LOADING	
<i>Бічев В.І., Гвоздева І.М., Грама Г.П., Глазева О.В.</i>	146
МОДЕЛЮВАННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ СУДНОВОГО ДОПОМІЖНОГО КОТЛА МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ АНАЛОГІЙ	

Секція 6. РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ ТА ЗВ'ЯЗОК

<i>Шишкін О. В., Пашенко О. Л.</i>	151
МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ГЛОБАЛЬНОГО МОРСЬКОГО ЗВ'ЯЗКУ ЛИХА ТА БЕЗПЕКИ (GMDSS)	
<i>Купровський В.І.</i>	155
ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ НЕКОГЕРЕНТНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ РЛС ІМПУЛЬСНОГО ТИПУ	
<i>Пашенко О.Л.</i>	159
ПРИСТРІЙ MAN OVERBOARD, ПРИНЦИП ДІЇ ТА ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ	
<i>Кошевий В.М., Харченко Р.Ю., Ткачук Т.П.</i>	162
УПРАВЛІННЯ КІБЕРРИЗИКАМИ НА МОРІ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКІВ	
<i>Орлов В.В., Наумов О.І.</i>	168
ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПАСИВНОЇ СИСТЕМИ ЗВУКОЛОКАЦІЇ РОЗПОДІЛЕНОЇ НА БЕЗПЛОТНИХ МОРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ	
<i>Шишкін О.В., Харченко Р.Ю.</i>	172
ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ З КІБЕРБЕЗПЕКИ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ	

Плешко Е. А., Коновец В. І., Шишкін О. В.

176

ПРОТИПРАВНЕ ВТРУЧАННЯ В РОБОТУ СИСТЕМ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ
ТА ВПЛИВ НА ДАНІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА СИНХРОНІЗАЦІЇ
ЧАСУ – ЯК ГЛОБАЛЬНА ПРОБЛЕМА

Секція 8. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА ПРИСТРОЇВ В ЕЛЕКТРО ТА РАДІОТЕХНІЦІ

Степанов Д.П., Бушер В.В., Захарченко В.М., Глазева О.В.

183

ОСОБЛИВОСТІ ПРОСТОРОВО-ВЕКТОРНОЇ МОДУЛЯЦІЇ В 5-ФАЗНИХ
КАСКАДНИХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ЧАСТОТИ

Малявін І.П.

189

ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ
БАГАТОФАЗНИХ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ
РОБОТИ СИЛОВИХ КАНАЛІВ

Харченко Р.Ю., Кочетков О.В., Гаур Т.О.

193

ЕЛЕКТРИЧНІ ПРОЦЕСИ ПІДВИЩУЮЧИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ
НАПРУГИ МОДУЛЬНОЇ СТРУКТУРИ В ГРАНИЧНОМУ РЕЖИМІ
ФУНКЦІОНУВАННЯ

Секція 9. АВТОМАТИЗАЦІЯ СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

Горб С. І., Будуров М. І., Павленко В. С.

196

УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ ЯК ОБ'ЄКТА
РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ

Сандлер А.К., Шепель В. В., Германчук Д.О.

201

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ОКЕАНОГРАФІЧНИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ

Сандлер А.К., Карпілов О.Ю., Олійник В. В.

207

ВОЛОКОННА ОПТИКА У ХОЛОДИЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ

Левинський М.В.

211

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ В ПРОГРАМІ
STATEFLOW

Секція 11. ОСВІТНІ ТА ПРОФЕСІЙНІ СТАНДАРТИ

Медведєва Ю.С., Бічев В.І.

213

КОМПЕТЕНТНІСТНИЙ ПІДХІД ПРИ ПІДГОТОВЦІ МАГІСТРІВ ЗА
СПЕЦІАЛЬНІСТЮ «ЕКСПЛУАТАЦІЯ СУДНОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНЕННЯ І
ЗАСОБІВ АВТОМАТИКИ» В НУОМА

**Секція 12. НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В УМОВАХ ВОЄННОГО
СТАНУ: ПОШУКИ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

<i>Сандлер А.К., Карпілов О.Ю.</i> ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ МОБІЛЬНОСТІ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ ГАРМАТ	216
<i>Сандлер А.К., Опришко М.О.</i> ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МОБІЛЬНОГО МІНОМЕТА	219
<i>Сандлер А.К., Журавльов Ю.І., Бондаренко А.В.</i> ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ШВИДКОРОЗ'ЄМНИХ ЗАСОБІВ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	223
<i>Сандлер А.К., Глазєва О.В., Марчук Д.В.</i> ЗАХИСНА ПІДВІСКА ТРЕЙЛЕРІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ	227
<i>Сандлер А.К., Журавльов Ю.І., Даниленко Д.В.</i> ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕЖЕКЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ТАНКОВОЇ ГАРМАТИ	232
<i>Костиця О.В.</i> АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ МОРСЬКИХ ПРОСТОРІВ У СУЧАСНИЙ ПЕРІОД	237
<i>Удолатій В.Б.</i> ТЕХНІЧНИЙ ТА ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ НАСЛІДКІВ ВСТАНОВЛЕННЯ СКРУБЕРІВ НА СУДНАХ	241
<i>Удолатій В.Б.</i> ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНВЕСТИЦІЙ В СКРУБЕРНІ СИСТЕМИ НА МОРСЬКИХ СУДНАХ	245
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС	249

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

УДК 629.122

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РІЧКОВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СЛУЖБИ В УКРАЇНІ

I.B. Тихонов, д.т.н., с.н.с., к.д.п

Державне підприємство водних шляхів «УКРВОДШЛЯХ»

Ключові слова: річкова інформаційна служба, рух суден, безпека судноплавства

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE RIVER INFORMATION SERVICES IN UKRAINE

I.V. Tykhonov, Doctor of technical science, Deep sea captain
State enterprise of water ways "UKRVODSHLIAN"*Key words:* river information service, ship traffic, navigation safety

Міністерство інфраструктури України в останні роки приділяє значну увагу розвитку та технічного оснащення річкових внутрішніх водних шляхів України (далі - ВВШ). За ініціативою цього міністерства було підготовлено та узгоджено проект Закону України «Про внутрішній водний транспорт». Цей закон прийнятий Верховною Радою України 3 грудня 2020 р. та набув чинності з 1 січня 2022 року.

Стаття 63 цього закону [1] встановлює основні вимоги щодо нормативного забезпечення функціонування річкової інформаційної служби (далі – РІС), основні завдання РІС, зокрема надання гармонізованих інформаційних послуг відповідно до законодавства Європейського Союзу та принципи взаємодії РІС з користувачами цих послуг.

Повноваження щодо затвердження Положення про річкову інформаційну службу, а також виконання функцій компетентного органу з питань застосування РІС в Україні та взаємодії з відповідними компетентними органами інших держав покладені на Міністерство інфраструктури України (з 2023 р. - Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури).

Положення про річкову інформаційну службу [2] розроблено та затверджено наказом Мінінфраструктури від 30.05.2023 № 462, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 13.07.2023 за № 1187/40243.

Цей наказ набуває чинності через шість місяців з дня його офіційного опублікування, а саме з 1 лютого 2024 р.

Після набуття чинності цього наказу втрачає силу наказ Міністерства інфраструктури України від 25 лютого 2011 року № 7 «Про комплекс заходів щодо створення річкової інформаційної служби на внутрішніх водних шляхах України», який регулював діяльність РІС раніше.

Положення про річкову інформаційну службу розроблено з урахуванням директиви Європейського Парламенту та Ради 2005/44/ЄС від 07.09.2005 [3] і Регламенту Комісії (ЄС) № 414/2007 від 13.03.2007 [4] та визначає:

- організаційну структуру та зони дії РІС, на яких надаються гармонізовані інформаційні послуги;
- організацію робіт та функціонування РІС;
- порядок використання берегового та суднового обладнання РІС;
- порядок обміну інформацією між РІС та суднами, а також іншими користувачами РІС, зокрема із застосуванням системи автоматизованого обліку перевезень внутрішніми водними шляхами, тощо.

Положенням визначено, що РІС є структурним підрозділом державного підприємства водних шляхів «Укрводшлях».

РІС складається з головного та регіональних центрів. Регіональні центри РІС підпорядковуються головному центру РІС.

Регіональні центри РІС на р. Дніпро розташовуються на судноплавних шлюзах Дніпровського каскаду.

Надання гармонізованих інформаційних послуг суднам на р. Дунай (пости регулювання рухом суден «Вілкове», «Ізмаїл» та «Рені»), а також в районі БДЛК (пости регулювання рухом суден «Очаків», «Широка Балка» та «Руська Коса») здійснюється філією «Дельта-лоцман» ДП «Адміністрація морських портів України».

До основних завдань, покладених на ДП «Укрводшлях» [2], відносяться:

- забезпечення функціонування на ВВШ базових станцій АІС у зоні дії регіональних центрів РІС;
- забезпечення радіозв'язку у діапазоні ДВЧ (смуги радіочастот 156,025 - 157,925 МГц та 160,625 - 162,025 МГц) морської рухомої служби у зоні дії регіональних центрів РІС;
- отримання, обробку і збереження інформації про: стан ВВШ, навігаційну інформацію та її зміни, рух суден, шляхові роботи на певних ділянках ВВШ, інші умови плавання на них;
- створення бази даних РІС та зберігання в ній інформації;
- роботу інформаційної системи автоматизованого обліку перевезень відповідно до статті 58 Закону України «Про внутрішній водний транспорт»;
- функціонування інформаційного вебсайту РІС, розміщення і своєчасне оновлення інформації на ньому українською та англійською мовами;
- укладання договорів про інформаційне співробітництво з користувачами послуг РІС, тощо.

Крім того, РІС забезпечує:

- оперативне інформування Адміністрації судноплавства про виникнення надзвичайних ситуацій та аварійних подій, пов'язаних із судноплавством, на ВВШ;
- здійснення обміну інформацією з Мінінфраструктури, Адміністрацією судноплавства, Держгідрографією, службами капітанів морських портів, органами охорони державного кордону та загонами морської охорони ДПСУ, службами регулювання руху суден Дельта-лоцман, річковими портами (терміналами), органами державної статистики, оперативно-черговими службами органів виконавчої влади, учасниками функціональної підсистеми єдиної держав-

ної системи цивільного захисту, а також з річковими інформаційними службами інших країн.

Обмін електронними повідомленнями РІС із суднами здійснюється за допомогою АІС. У кожному регіональному центрі РІС та у зоні його дії розміщуються базові станції АІС.

Передача електронних повідомлень із суден і передача повідомлень на судна здійснюються через операторів мобільного зв'язку або іншу мережу широкопasmового бездротового зв'язку, або із використанням технологій супутникового позиціонування.

Головний і регіональні центри РІС виконують інформаційно-рекомендаційну функцію та не приймають рішень, що стосуються судноводіння або забезпечення безпеки плавання суден. Ці рішення приймаються капітанами суден, судновласниками та іншими задіяними користувачами РІС.

На капітанів суден покладено обов'язки:

- здійснювати постійну комунікацію з іншими суднами та береговими постами РІС в районі плавання;
- надавати РІС інформацію щодо судна, вантажу та рейсу у встановленому форматі та оновлювати її у разі зміни;
- підтверджувати отримання інформації від РІС;
- до виходу судна в рейс на ВВІІ передавати через інформаційну систему автоматизованого обліку перевезень інформацію про перевезення вантажів та/або пасажирів, використання для таких перевезень річкових портів (терміналів), інших місць відправлення/призначення суден.

Інформаційні функції РІС поділяються на три основні інформаційні рівні:

1) **інформація про фарватер (FIS)**, яка містить географічні, гідрологічні та адміністративні відомості про внутрішні водні шляхи у зоні дії РІС, а також відомості про код місця розташування об'єктів інфраструктури внутрішнього водного транспорту (РІС-індекс). Інформація про фарватер передається РІС її користувачам і використовується ними для планування, здійснення та контролю за здійсненням рейсів суднами. Інформація про фарватер (FIS) є односторонньою інформацією: від "берега до судна" або від "берега до офісу".

2) **тактична інформація про рух суден (TTI)**, яка надає капітану судна можливість невідкладно приймати рішення з судноводіння в реальній обстановці на певній ділянці водного шляху. Ця інформація містить відомості про місцезнаходження судна та важливу для судна інформацію про об'єкти, що виявлені радіолокатором та відображені на електронній навігаційній карті, про рух інших суден, зокрема за даними АІС. Тактична інформація про рух суден (TTI) може надаватися на борту судна або на березі.

3) **стратегічна інформація про рух суден (STI)**, яка впливає на середньотривалі довшострокові рішення користувачів РІС та дозволяє користувачам РІС планувати безпечне та ефективне судноплавство. Стратегічна інформація охоплює усі судна, їх характеристики, завантаження, місцезнаходження в зоні дії РІС. Стратегічна інформація про рух суден (STI) створюється РІС та надається користувачам на вимогу.

Крім того, ці інформаційні рівні містять низку груп інформаційних функцій: VTS (Vessel traffic services (local)), NS (Navigational support), LBM (Lock and bridge management), CFS (Calamity abatement support), ITL (Information for

transport logistic/management), ILE (Information for law enforcement), ST (Statistic), CHD (Waterway charges and Harbour dues), які в свою чергу містять певні підгрупи.

Повний перелік інформаційних рівнів, груп та підгруп інформаційних функцій наведений в додатку 1 до Положення про річкову інформаційну службу.

РІС надає послуги суднам та іншим користувачам послуг РІС безоплатно.

На цей час посадовими особами Мінінфраструктури та ДП «Укрводшлях» за участю європейських партнерів проводиться робота з розробки проекту створення в Україні сучасної РІС, яка може бути повною мірою інтегрована в європейську мережу РІС з вже працюючими національними сегментами РІС інших країн (www.eurisportal.eu [6]).

Стан РІС на р. Дніпро та базових станцій АІС вздовж р. Дунай відстежувався під час реалізації проекту Європейського інструменту сусідства (ЄІС) «Сприяння транспортному розвитку річки Дніпро» (EugorAid/1139464/DH/SER/UA) [5].

Одним зі значних наслідків широкомасштабного вторгнення російської федерації Україну є руйнування греблі Каховської ГЕС, що призвело до обміління Каховського водосховища та неможливості наскрізного судноплавства по всій протяжності р. Дніпро.

Іншим наслідком цього вторгнення є військових дій на значній частині нашої держави та суттєве обмеження функціонування українських морських портів, розташованих в північно-західній частині Чорного моря і в районі БДЛК. У зв'язку з цим останнім часом значно збільшилася кількість суден, які завантажуються в портах, розташованих на р. Дунай та використовують р. Дунай для судноплавства.

З урахуванням зазначених важливих причин сьогодні концепція реалізації проекту створення РІС в Україні передбачає два етапи: перший - створення та запровадження РІС на українській ділянці р. Дунай та інтеграція з європейською мережею РІС; другий - запровадження РІС на р. Дніпро після завершення воєнних дій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про внутрішній водний транспорт» від 3 грудня 2020 р. статті 58, 63.
2. Положення про річкову інформаційну службу, затверджене наказом Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури від 30.05.2023 № 462, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 13.07.2023 за № 1187/40243, 20с.
3. Директива Європейського Парламенту та Ради 2005/44/ЄС від 07.09.2005 «Про гармонізовані річкові інформаційні служби (RIS) на внутрішніх водних шляхах Співтовариства», 11 с.
4. Регламент Комісії (ЄС) № 414/2007 від 13.03.2007 щодо технічних вказівок щодо планування, впровадження та оперативного використання річкових інформаційних служб (RIS), зазначених у статті 5 Директиви 2005/44/ЄС Європейського Парламенту та Ради про гармонізовані річкові інформаційні служби (RIS) на внутрішніх водних шляхах у Спільноті, 105с.
5. Звіт про виконання проекту Європейського інструменту сусідства (ЄІС) «Сприяння транспортному розвитку річки Дніпро» (EugorAid/1139464/DH/SER/UA), 27.04.2023 – 115с.
6. Електронний ресурс <https://www.eurisportal.eu/>.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНИМИ ПРОГРАМАМИ В ПОСТАКРЕДИТАЦІЙНИЙ ПЕРІОД

В.В. Будашко, д.т.н., професор
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:** розглянуто основні питання щодо постакредитаційного періоду впровадження освітніх програм, відповідності науко-педагогічних працівників освітнім компонентам та дотримання ліцензійних умов закладами вищої освіти*

***Ключові слова:** акредитація, освітня програма, ліцензійні умови, постакредитаційний період*

ENSURING PROCESSES UNDER EDUCATIONAL AND PROFESSIONAL PROGRAMS IN THE POST-ACREDITATION PERIOD

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

Abstract: the main issues related to the post-accreditation period of the implementation of educational programs, compliance of scientific and pedagogical workers with educational components and compliance with licensing conditions by higher education institutions were considered

Keywords: accreditation, educational program, licensing conditions, post-accreditation period

[Законом України](#) від 02.05.2023 № 3062-IX [1] внесено зміни до [Закону України «Про вищу освіту»](#) від 01.07.2014 № 1556-VII [2] (далі – Закон про вищу освіту) з метою уточнення прав та обов’язків Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти та проведення акредитації освітніх програм. Введено поняття постакредитаційний моніторинг – це оцінювання органом, що ухвалив рішення про акредитацію, виконання наданих за результатами акредитації рекомендацій та/або відповідності критеріям акредитації. Здійснювати його буде Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти (далі – Національне агентство, НА). Такий моніторинг здійснюється на безоплатній основі. У разі виявлення під час постакредитаційного моніторингу невиконання критеріїв, встановлених положенням про акредитацію освітніх програм [3] (далі – [Положення про акредитацію](#)), Національне агентство надає закладу вищої освіти (далі – ЗВО) роз’яснення щодо виконання таких критеріїв та/або попереджає про необхідність їх виконання і встановлює строк для усунення виявлених недоліків або припиняє дію сертифіката про акредитацію відповідної освітньої програми ([нова ч. 8 ст. 25 Закону про вищу освіту](#)).

У відповідності до [п. 35 Ліцензійних умов](#) провадження освітньої діяльності [4] (далі – [Ліцензійні умови](#), ЛУ) здобувач ліцензії (ліцензіат) повинен бути забезпечений науково-педагогічними (далі – НПП) (педагогічними, далі – ПП) та/або науковими працівниками (далі – НП), необхідними для реалізації освітніх компонентів (далі – ОК), передбачених освітньою (освітніми) програмою (програмами) (далі – ОП) на відповідному рівні вищої освіти (далі – ВО).

Згідно із пунктом 6.1. [Рекомендацій Національного агентства](#) щодо застосування критеріїв оцінювання якості освітньої програми [5] враховуються всі

НПП, які забезпечують обов'язкові ОК, проте функціонал системи НА акредитації ОП не передбачає внесення відомостей про НПП (таблиця 2) стосовно керування практикою, курсовою та кваліфікаційною роботою.

Виходячи із розуміння п. 35 ЛУ таким чином, що ЗВО повинен бути забезпечений НПП, необхідними для реалізації всіх обов'язкових ОК, передбачених ОП, тобто – в ЗВО повинна бути сформована група забезпечення освітнього процесу. Що стосується ОК професійної підготовки в рамках задекларованої за ОП спеціальності – йдеться про групу забезпечення спеціальності (рис. 1).

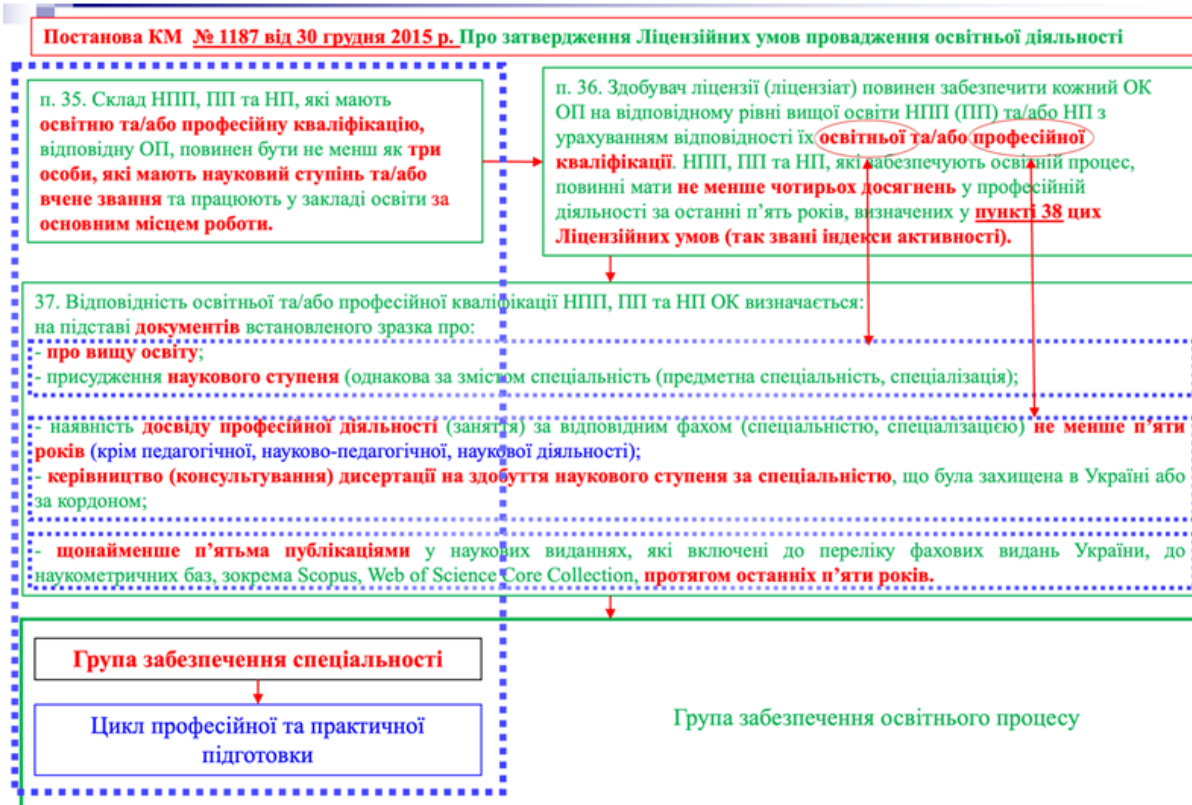


Рисунок 1 – Визначення відповідності освітньої та/або професійної кваліфікації освітньому компоненту освітньої програми

В процесі акредитаційної експертизи, група забезпечення спеціальності не розглядається. Інформація про групу забезпечення спеціальності не входить до матеріалів акредитаційної справи. Ця інформація міститься лише у ліцензійній справі у вигляді таблиці Додатка 16 Ліцензійних умов (п. 41 ЛУ).

При цьому, частка НПП, які мають будь-який науковий ступінь та/або вчене звання та працюють у ЗВО за основним місцем роботи, повинна становити не менше 50%..., з них осіб, які мають науковий ступінь доктора наук та/або вчене звання професора, повинна становити: для другого (магістерського) рівня ВО – не менше 10%. У свою чергу (абз. 5, п. 35 ЛУ), у складі НПП, задіяних до реалізації ОП, повинно бути не менше ніж 3 особи, які мають освітню та/або професійну кваліфікацію та науковий ступінь та/або вчене звання, що відповідають ОП, а також працюють у ЗВО за основним місцем роботи.

Згідно з [п. 5 ст. 34 Закону України «Про освіту»](#) (далі – [Закон про освіту](#)) [6]: «Освітня кваліфікація – це визнана закладом освіти чи іншим уповноваженим суб'єктом освітньої діяльності та засвідчена відповідним документом про освіту сукупність встановлених стандартом освіти та здобутих особою результатів навчання (компетентностей)», згідно [п. 3 ст. 7 ЗУ «Про вищу освіту»](#): «У дипломі молодшого бакалавра, бакалавра, магістра зазначаються назва закладу вищої освіти (наукової установи), що видав цей документ (у разі здобуття вищої освіти у відокремленому підрозділі закладу вищої освіти (наукової установи) – також назва такого підрозділу), назва освітньої програми, а також кваліфікація, що складається з інформації про здобутий особою ступінь вищої освіти, спеціальність (спеціальності, галузь знань – для міждисциплінарних освітніх програм), спеціалізацію та професійну кваліфікацію (у разі присвоєння)».

Поряд з тим, системний та структурований за компетентностями опис кваліфікаційних рівнів вищої освіти також містить [Національна рамка кваліфікацій](#) (далі – НРК), яка не обмежується молодшим бакалавром (5 рівень), бакалавром (6 рівень) і магістром (7 рівень), а включає також доктора філософії (кандидата наук) і доктора наук. Таким чином, науковий ступінь викладача також визначає його освітню кваліфікацію відповідно до НРК та [п. 37 Ліцензійних умов](#). Більш того, під час акредитації ОП встановлюється не просто освітня кваліфікація викладача взагалі, а й відповідність його кваліфікації той ОК, яка викладається, і (для 3-х осіб із складу НПП) тій спеціальності, за якою впроваджується та реалізується ОП. Крім того, встановлюється відповідність НПП іншим вимогам чинного законодавства, зокрема вимогам пп. 35-38 Ліцензійних умов, у тому числі тим, які стосуються наявності у 3-х викладачів наукового ступеня за відповідною ОП спеціальністю та/або вченого звання.

Кваліфікації за обсягом класифікуються на повні та часткові, за змістом – на освітні та професійні (рис. 2). Кваліфікація вважається повною у разі здобуття особою повного переліку компетентностей відповідного рівня [Національної рамки кваліфікацій](#), що визначені відповідним стандартом.

Кваліфікація вважається частковою у разі здобуття особою частини компетентностей відповідного рівня [Національної рамки кваліфікацій](#), що визначені відповідним стандартом. У цьому Законі, якщо не зазначено інше, під терміном «кваліфікація» розуміється повна кваліфікація (рис. 2).

Освітня кваліфікація – це визнана закладом освіти чи іншим уповноваженим суб'єктом освітньої діяльності та засвідчена відповідним документом про освіту сукупність встановлених стандартом освіти та здобутих особою результатів навчання (компетентностей).

Професійна кваліфікація (повна професійна кваліфікація) – це визнана або присвоєна/підтверджена суб'єктом, уповноваженим на це законодавством, та засвідчена відповідним документом стандартизована сукупність здобутих особою компетентностей та/або результатів навчання, що дає змогу здійснювати всі трудові функції, визначені відповідним професійним стандартом. Часткова професійна кваліфікація - це визнана або присвоєна/підтверджена суб'єктом, уповноваженим на це законодавством, та засвідчена відповідним документом

стандартизована сукупність здобутих особою компетентностей та/або результатів навчання, що дає змогу здійснювати частину трудових функцій, визначених відповідним професійним стандартом.

Результати навчання та компетентності, необхідні для присудження освітніх та/або присвоєння професійних та часткових професійних кваліфікацій, можуть досягатися шляхом здобуття формальної, неформальної чи інформальної освіти.

Освітні кваліфікації присуджуються, визнаються і підтверджуються закладами освіти чи іншими суб'єктами освітньої діяльності. Професійні та часткові професійні кваліфікації присвоюються/підтверджуються і визнаються суб'єктами, уповноваженими на це законодавством, зокрема суб'єктами освітньої діяльності.

Стаття 34 в редакції **Закону № 2179-IX від 01.04.2022** **Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо функціонування національної системи кваліфікацій**



Рисунок 2 – Визначення та порядок визнання освітніх та професійних кваліфікацій

Кваліфікаційні центри [8] – це суб'єкти, уповноважені на оцінювання і визнання результатів навчання осіб (зокрема, здобутих шляхом неформальної чи інформальної освіти), присвоєння/підтвердження відповідних професійних та часткових професійних кваліфікацій, визнання в Україні професійних кваліфікацій, здобутих в інших країнах.

Порядок акредитації кваліфікаційних центрів затверджується Кабінетом Міністрів України за поданням Національного агентства кваліфікацій. Процедури присудження, присвоєння/підтвердження кваліфікацій, а також порядок утворення та діяльності і правовий статус суб'єктів, що здійснюють діяльність з оцінювання і визнання освітніх та/або професійних кваліфікацій (повних та часткових), визначаються законодавством.

Таким чином в процесі акредитаційної експертизи експертні групи та галузеві експертні ради встановлюють, чи дійсно ЗВО, який на момент отримання ліцензії відповідав необхідним вимогам Ліцензійних умов, в процесі реалізації ОП і на момент її акредитації не втратив цю відповідність, а продовжує її «зберігати» та забезпечувати ОП відповідними НПП, ПП та/або НП, необхідними для реалізації ОК, передбачених ОП на відповідному рівні вищої освіти (рис. 3).

У зв'язку з цим, трактування вимог, що «Ліцензійні умови вимагають співвіднесення викладачів із спеціальністю, але не містять будь-яких вимог щодо їх співвіднесення із ОК» є досить суперечливим і не підтверджується фактичним змістом законодавчої норми, наведеної у п. 35 ЛУ. Оскільки у пп. 35, 36, 37 ЛУ йде мова саме про відповідність НПП освітнім компонентам (пп. 35, 36, 37 ЛУ), а також спеціальності (абзац 5 п. 35 ЛУ).

Так, п. 35 ЛУ стосується в цілому відповідності НПП, необхідних для реалізації освітніх компонентів, передбачених ОП (п. 35, абзац 1). При цьому відповідність ОП пункту 35 ЛУ розглядається з двох точок зору:

- з одного боку, НПП, які забезпечують освітній процес, тобто входять до групи забезпечення освітнього процесу (рис.1), відповідають вимогам щодо наявності взагалі будь-якого наукового ступеня та/або будь-якого вченого звання (50 %), із них не менше 10 % НПП (для другого (магістерського) рівня ВО) повинні мати науковий ступінь доктора наук та/або вчене звання професора (п. 35, абзац 2);
- з іншого боку, кількість НПП (не менше 3-х осіб), які входять до групи забезпечення спеціальності та групи забезпечення освітнього процесу (рис.1), повинні відповідати саме ОПП (спеціальності) за освітньою та/або професійною кваліфікацією та за науковим ступенем та/або вченим званням (п. 35, абзац 5) (рис. 2, 3).

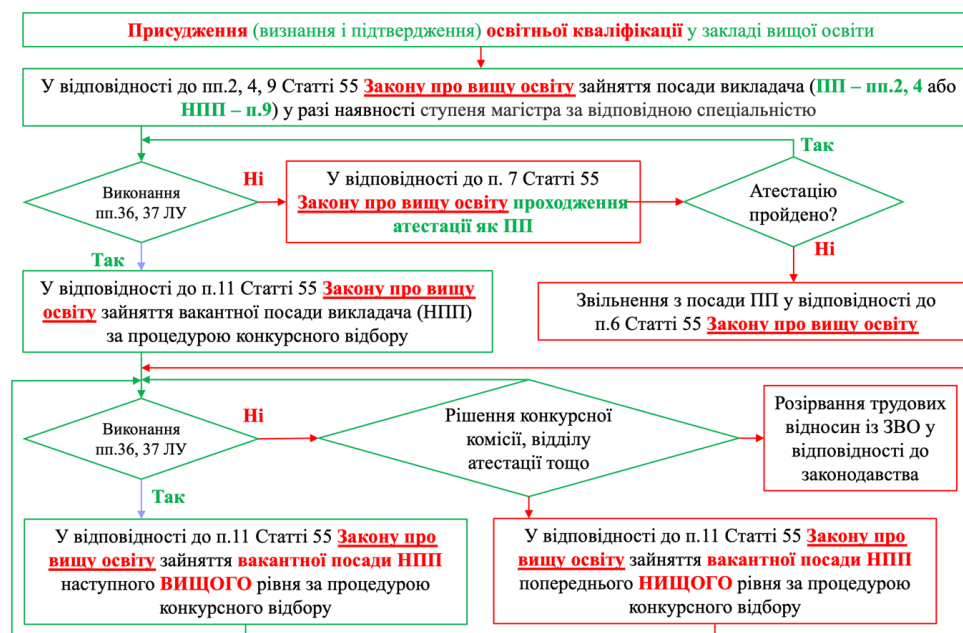


Рисунок 3 – Забезпечення дотримання Ліцензійних умов впровадження освітньої діяльності

Отже, для існування ОП та продовження її реалізації, вона повинна бути забезпечена на 50% будь-якими кандидатами наук та/або доцентами і на 10% будь-якими докторами наук та/або професорами. Поряд з тим серед НПП, які забезпечують реалізацію освітніх компонентів (п. 35, абзац 1) повинно бути мінімум 3 особи, які відповідають вимогам абзацу 5 п. 35 ЛУ.

У свою чергу, відповідність освітньої та/або професійної кваліфікації науково-педагогічних, педагогічних та наукових працівників освітньому компоненту визначається п. 37 Ліцензійних умов (рис. 3).

При чому, освітню і професійну кваліфікацію підтверджують дві частини (рис.2) п. 37. Перша частина складається із чотирьох пунктів п. 37 ЛУ, з яких перший і другий пункти (та/або) підтверджують освітню кваліфікацію, а третій і четвертий (та/або) – професійну кваліфікацію. Наявність 5 статей є необхідною умовою відповідності п. 37 в цілому.

В рамках реорганізації або впровадження освітніх програм [9], певні курси ОП пропонується об'єднувати в нові курси, що, в свою чергу, призводить до процедури встановлення відповідності НПП новому ОК. Зміст нового курсу може бути приблизно таким же, як і попередніх, але має використовувати іншу методику викладання: він більш орієнтований на проектування, ніж раніше, що вимагатиме від НПП, ПП або НП дещо іншої освітньої або професійної кваліфікації та неодмінного, нового змісту публікаційної активності з точки зору забезпечення ліцензійних умов впровадження освітньої діяльності ЗВО,

ЛІТЕРАТУРА

1. Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення якості вищої освіти: Закон України від 02.05.2023 р. № 3262-IX: станом на 28.05.2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3062-20#Text> (дата звернення: 1.12.2023 р.).
2. Про вищу освіту: Закон України від 01.07.2014 р. № 1556-VII: станом на 28.05.2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18> (дата звернення: 1.12.2023 р.).
3. Про затвердження Положення про акредитацію освітніх програм, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти: Наказ Міністерства освіти і науки України № 977 від 11.07.2019 р.: станом на 27.08.2019 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0880-19#Text> (дата звернення: 1.12.2023 р.).
4. Про затвердження Ліцензійних умов провадження освітньої діяльності: Постанова Кабінету міністрів України від 30.12.2015 р. № 1187-2015-п: станом на 20.06.2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1187-2015-%D0%BF#Text> (дата звернення: 1.12.2023 р.).
5. Рекомендації щодо застосування критерії оцінювання якості освітньої програми/ Затверджено Національним агентством із забезпечення якості вищої освіти 17 листопада 2020 року: / ТОВ «Український освітянський видавничий центр «Оріон»». – К., 2020. – 66 с. URL: <http://surl.li/jksf> (дата звернення: 1.12.2023 р.).
6. Про освіту: Закон України № 2145-VIII, (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 38-39, ст.380): станом на 2.07.2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text> (дата звернення: 1.12.2023 р.).
7. Про затвердження Національної рамки кваліфікацій: Постанова Кабінету міністрів України від 23.11.2011 р. № 1341-2011-п: станом на 02.07.2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-%D0%BF#Text> (дата звернення: 1.12.2023 р.).
8. Про затвердження Типового положення про кваліфікаційний центр: Наказ Міністерства освіти і науки України від 22.04.2021 р. № з0804-21: станом на 29.06.2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0804-21#Text> (дата звернення: 1.12.2023 р.).
9. Будашко, В. В. Методологія розробки навчальних курсів в умовах скорочення аудиторних годин / В. В. Будашко // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019-06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.10-21. ISSN 2706-7874 (print). DOI: [dx.doi.org/10.31653/2706-7874](https://doi.org/10.31653/2706-7874).

GIS AS A DECISION MAKING SUPPORT TOOL FOR URBAN
PLANNING AND MANAGEMENTSvitlana Kuznichenko¹, Dr. of Science, ProfessorMaryna Tsynova², Ph.D, associate professor¹University of Greifswald (Germany)²National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. During the full-scale russian invasion in Ukraine, more than 40 million m² of housing stock was destroyed. Territorial planning for the post-war restoration of the infrastructure and settlements of Ukraine is an urgent problem for the near future.

The process of multi-criteria decision analysis for territorial planning and rational placement of spatial objects, based on modeling the properties of the territory, is considered in this paper. An object-spatial approach to the formation of a set of alternatives and criteria is proposed, according to which the process of multicriteria decision analysis is divided into two stages: macro- and microanalysis. The macroanalysis stage involves the assessment of the ecological and socio-economic properties of the territory using geomodelling functions. At the stage of microanalysis, the ranking of alternatives is performed taking into account the chosen decision-making strategy.

The proposed object-spatial approach to multi-criteria decision analysis makes it possible to explicitly take into account the spatial heterogeneity of geographic data, which is the result of the influence of geographic objects on the properties of the territory. The developed technology can be used to solve a wide range of problems related to determining the most rational placement of various capital construction and infrastructure facilities in the post-war reconstruction of Ukraine.

Keywords: geoinformation technologies, model of the territory, multicriteria decision analysis, urban planning

ГІС ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ
МІСЬКОГО ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯС. Кузніченко¹, д.т.н., професорМ. Цинова², к.і.н., доцент¹Грайфсвальдський університет (Німеччина)²Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. Під час повномасштабного російського вторгнення в Україну було зруйновано понад 40 млн м² житлового фонду. Територіальне планування післявоєнної відбудови інфраструктури та населених пунктів України є актуальною проблемою найближчого майбутнього.

У статті розглянуто процес багатокритеріального аналізу рішень щодо територіального планування та раціонального розміщення просторових об'єктів на основі моделювання властивостей території. Запропоновано об'єктно-просторовий підхід до формування множини альтернатив і критеріїв, згідно з яким процес багатокритеріального аналізу рішень поділено на два етапи: макрота мікроаналіз. Етап макроаналізу передбачає оцінку екологічних та соціально-економічних властивостей території з використанням функцій геомодельовання. На етапі мікроаналізу виконується ранжування альтернатив з урахуванням обраної стратегії прийняття рішень.

Запропонований об'єктно-просторовий підхід до багатокритеріального аналізу рішень дозволяє в явному вигляді врахувати просторову неоднорідність географічних даних, яка є результатом впливу географічних об'єктів на властивості території. Розроблена технологія може бути використана для вирішення широкого кола завдань, пов'язаних з визначенням найбільш раціонального розміщення різних об'єктів капітального будівництва та інфраструктури в умовах післявоєнної відбудови України.

Ключові слова: геоінформаційні технології, моделювання територій, багатокритеріальний аналіз рішень, містобудування

During the full-scale russian invasion in Ukraine, more than 40 million m² of housing stock was destroyed, dozens of medical institutions and educational institutions, shopping centers and oil depots, thousands of meters of roads and railways, ports and airfields were damaged. Territorial planning for the post-war restoration of the infrastructure and settlements of Ukraine is an urgent problem for the near future. The construction of new industrial facilities and infrastructure facilities must comply with modern European criteria for energy efficiency and environmental safety, which will facilitate integration into the EU economic system. To automate the stages of planning and visualization of the analysis results, it is necessary to develop new information technologies that will be based on models of geospatial multi-criteria analysis of the territory and used to support decision-making on urban development.

This study describes the methodology and gives recommendations for the quantitative determination of the territorial influence of objects and the calculation of the integrated properties of the territory, as well as the ranking of alternatives, taking into account locally adapted decision-making methods.

The aim of the study is to develop a technology for multi-criteria decision analysis for urban planning based on the geoinformation model of the territory.

When performing a geospatial multi-criteria analysis of decisions at the macro and micro levels, territorial spatial factors or conditions in which the processes under study take place should be taken into account. It is advisable to consider the territory as a complex system, and the model for assessing the state (properties) of the territory, formed as a result of the impact of objects located on it, as the basis for decision-making. At the same time, the objectives of the assessment, methods and scales of assessment, assessment criteria $C=\{C1, C2, \dots, Cn\}$, alternatives $A=\{a1, a2, \dots, am\}$ and the procedure for criteria-based assessment F should be defined. In this regard, the procedure for estimating the properties of the territory Pr , which determines the data representation model and the semantics of the spatial relations of objects, should be developed and included in a formalized record of the geospatial multi-criteria decision analysis:

$$< A, C, Pr, F, G, D > \quad (1)$$

where A is a set of alternatives; C is a set of evaluation criteria; Pr is a procedure for assessing the properties of the territory; F is a procedure for criteria-based evaluation; G is a decision maker's preference system; D is a decision rule that specifies the order in which actions are performed on a set of alternatives (selection, ranking, sorting of alternatives).

Based on the presence of the local weight w_{ij} , assigned to the i -th solution alternative (in the i -th location with coordinates x_i, y_i) according to the j -th criterion, the aggregation of the estimates of the alternatives $v(a_{ij})$, for example, using the weighted sum method, should look like:

$$V(A_i) = \sum_{j=1}^N w_{ij} v(a_{ij}), \quad (2)$$

where $V()$ is a integral estimate of the alternative; w_{ij} is a local weight of the i -th decision alternative according to the j -th criterion; $v()$ is a evaluation of the alternative by the criterion.

The properties of the territory can be considered as the result of the action (influence) of individual objects o_j located on local sections h_i into which the territory is divided. In this case, the territory T can be represented as $T \subset O \times H$.

One will consider the property of the territory P as a set of local or aggregated characteristics of the territory that are significant for solving the spatial problem, which can be obtained as a result of calculations or expert assessment. The set of connected objects of the territory O influences the properties of the territory P through the spatial influence functions F_v :

$$O \xrightarrow{F_v} P \quad (3)$$

In general, P can be represented by a set of n sets X_i of characteristics of the territory that are significant for solving the spatial problem, for example, these can be indicators of the ecological, social or economic state of the territory:

$$P = \bigcup_{i=1}^n X_i \quad (4)$$

A property of a territory is defined as an ordered set of properties of local parcels:

$$P = \{P_i | P_i = \{P_{ij}\}\}, i = 1 \div n, j = 1 \div m \quad (5)$$

The magnitude of the influence of the j -th object at the i -th point or local area h_i of the territory determined through the distribution function of the influence of this object F_{vi} as:

$$P_{ij} = P_i \cdot F_{vj}(r_{ij}) \quad (6)$$

At the last step, the decomposition is performed according to a variety of types of F_v influence functions, i.e. by functional attribute. At the same time, the type of influence that can be both positive and negative should be taken into account. We will consider a stationary model of territories with constant properties, in which $P_j = \text{const}$ and $F_v = \text{const}$, that is

$$P_{ij} = P_j \cdot F_v(R_j) \quad (7)$$

Expert assessment methods are most often used to determine the parameters of models reflecting the spread of social or economic properties of the territory.

The most effective mechanism for the formal description of models based on expert opinions is the theory of fuzzy sets. A fuzzy set of a universal set X is defined as a set of ordered pairs:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_a(x)) | x \in X\}, \mu_a(x): x \rightarrow [0, 1] \quad (8)$$

Fuzzy logic operations can be used to determine the resulting impact of objects belonging to the same class.

The fuzzy union (or OR) of the influences of objects (Fig. 3, a) is defined as:

$$\bigcup_{i=1}^n P_i = \max(P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (9)$$

The fuzzy intersection (or AND) of the influences of objects (Fig.3, b) is defined as:

$$\bigcap_{i=1}^n P_i = \min (P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (10)$$

The use of the fuzzy intersection operation (10) leads to the evaluation of the property based on the lowest value of the influence of objects, the fuzzy union operation (9) takes into account only the maximum values of the influence of objects on the nearby territory.

To obtain a complex (integral) assessment of the properties of a territory from objects belonging to different classes and having certain weights of importance, the weighted sum (2) operation adapted to the model of the properties of territories, that is, taking into account spatial variations and the division of the territory into local areas, can be used.

For the h surrounding and the local weight w_j^h for the j criterion, a local form of the weighted sum operator of the form can be determined:

$$P(A_i^h) = \sum_{j=1}^n v(a_{ij}^h) w_j^h \quad (11)$$

In a geographical context, the process of multi-criteria analysis of spatial planning decisions includes a set of geographically defined alternatives, usually local areas (eg, land parcels) and a set of evaluation criteria, presented as thematic map layers. Estimates of alternatives according to different criteria (attributes of criteria) are determined in accordance with the model for evaluating the properties of the territory.

The analysis consists in combining the attributes of the criteria in accordance with the preferences of the decision maker, using the decision rule (combination rule).

Microanalysis is a stage that involves the analysis of alternatives using the methods of multi-criteria decision making. At the stage of microanalysis, certain decision-making strategies are formed, taking into account the preferences of the deci-

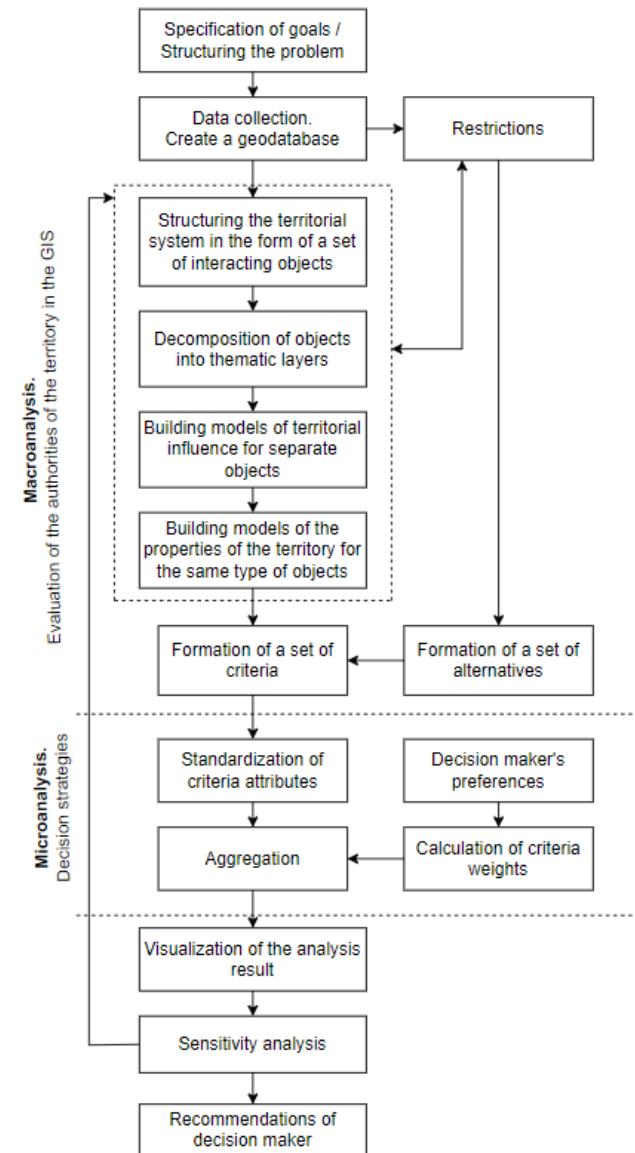


Figure 1 – Diagram of the process of geospatial multi-criteria decision analysis

sion maker. A feature of the stage is the integration of geomodelling functions and decision-making methods.

The scientific novelty of the obtained results lies in the fact that an approach to multi-criteria decision analysis is proposed, which is based on a model for assessing the properties of territories and spatially adapted decision-making methods. The properties of the territory are evaluated based on the influence functions of adjacent objects. A universal technology has been proposed that allows for spatial analysis without restrictions on the maximum and minimum sizes of land plots. Taking into account the spatial variation of the properties of the territory and the different degrees of detail of objects, allows to increase the accuracy of spatial analysis, as well as its practical value.

The practical significance of the results obtained lies in the fact that the technology of geospatial multi-criteria analysis of solutions has been developed, which is based on existing functions of information geoprocessing and can be fully integrated into the GIS environment. The results of the simulation allow us to recommend the proposed model for use in practice, in particular for the tasks of rational placement of important infrastructure facilities.

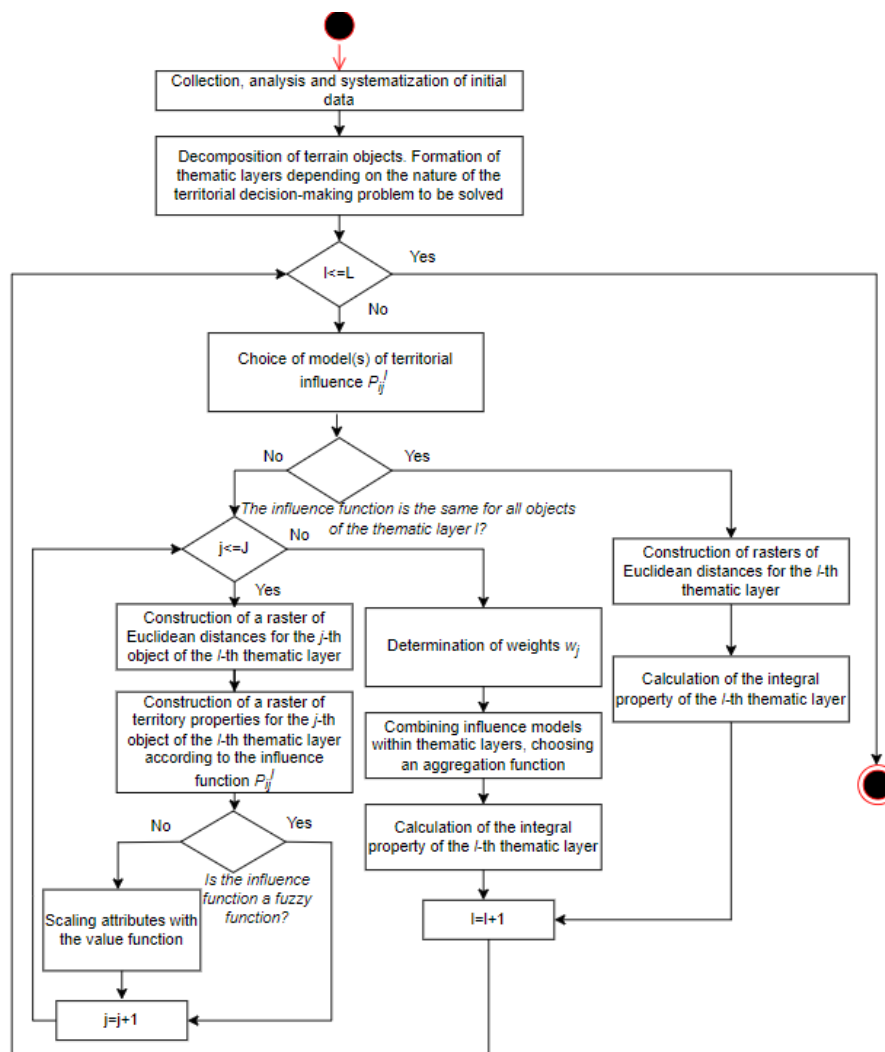


Figure 2 – Diagram of the assessing process of the territory properties

The application of the proposed approach will allow in the future to create scripts and software tools for modern geographic information systems. As mentioned earlier, these tools will be especially important at the stage of urban and territorial planning of the post-war reconstruction of Ukraine's infrastructure and settlements. Based on the urban planning criteria provided by experts, such software will allow analysts to identify and visualize the most rational options for locating important infrastructure facilities, including industrial facilities, airfields, transport networks, etc. The proposed model makes it possible to take into account numerous placement criteria, including environmental, economic and social ones.

The prospects for further research are to improve the model of the geospatial multi-criteria decision analysis process in order to take into account various decision-making strategies, in particular in conditions of risk and uncertainty.

REFERENCES

- 1.Chakhar S. Spatial multicriteria decision making. Encyclopedia of GIS. – New York: Springer-Verlag, 2008. – P. 747–753. DOI:[10.1007/978-3-319-23519-6_839-2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23519-6_839-2)
- 2.Chakhar S, J.M. Martel. Enhancing geographical information systems capabilities with multicriteria evaluation function Journal of Geographic Information and Decision Analysis. – 2003. – Vol. 7, No. 2. – P. 69–71.
- 3.Malczewski J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature International Geographical Information Science. – 2006. – Vol. 20, №7. – P. 703–726.
- 4.Malczewski J., C. Rinner. Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science. New York: Springer, 2015. – 331 p., DOI:[10.1007/978-3-540-74757-4](https://doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4)
- 5.Lidouh K. On themotivation behind MCDA and GIS integration Multicriteria Decision Making. – 2013. – Vol. 3, № 2/3. – P. 101.–113. DOI:[10.1504/IJMCDM.2013.053727](https://doi.org/10.1504/IJMCDM.2013.053727)
- 6.Afshari A., M. Vatanparast, D. Ćočkalo. Application of multi criteria decision making to urban planning – a review Journal of Engineering Management and Competitiveness. – 2016. – Vol. 6, Issue 03. – P. 46-53
7. Kuznichenko, S., Buchynska, I., Kovalenko, L., Gunchenko, Y. Suitable site selection using two-stage GIS-based fuzzy multi-criteria decision analysis. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, 1080 AISC, P. 214–230
8. Kuznichenko, S., Kovalenko, L., Buchynska, I., Gunchenko, Y. , Development of a multi-criteria model for making decisions on the location of solid waste landfills. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2018. Vol.2, No. 3(92). P. 21–31. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.129287
9. Kuznichenko, S.,Buchynska, I.,Kovalenko, L.,Tereshchenko, T. Integrated information system for regional flood monitoring using internet of things. CEUR Workshop Proceedings, 2019, 2683, P. 1–5
- 10.M. Karpinski, S. Kuznichenko, N. Kazakova, O. Frazze-Frazenko, D. Jancarczyk.. Geospatial Assessment of the Territorial Road Network by Fractal Method. Future Internet. 12. 201 (2020). 10.3390/fi12110201.
11. Kuznichenko, S., Buchynska I. A fuzzy approach for determining the cognitive spatial location of an object in geographical information system Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – Vol. 6, № 9(114). – P. 24–31. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.246556

**РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ У СУДНОПЛАВСТВІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ
ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ**

В.М. Захарченко, проректор з науково-педагогічної роботи НУОМА,
д.т.н., професор,
Компетентна особа Міжнародної морської організації

**TECHNOLOGY DEVELOPMENT IN SHIPPING AND PROSPECTS FOR
UKRAINIAN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS**

V.M. Zakharchenko, Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Work of NUOMA,
Doctor of Technical Science, Professor,
Competent person to International Maritime Organization

Сучасний стан та перспективи розвитку морської освіти в Україні визначаються одночасним впливом цілого ряду факторів як національного, так і міжнародного рівнів. Серед них:

- реформи у системі вищої та фахової передвищої освіти України;
- суттєва трансформація системи дипломування (сертифікації) осіб командного складу морських суден, що відбулась наприкінці 2022 року;
- розвиток технологій сучасного судноплавства та тенденції щодо відповідних змін у міжнародних стандартах, що впроваджуються Міжнародною морською організацією (International Maritime Organization, IMO).

Реформування національної системи освіти та національної системи дипломування (сертифікації) осіб командного складу морських суден в Україні найбільшим чином впливають на морські заклади вищої освіти, які здійснюють підготовку суднових електромеханіків відповідно до правила III/6 Додатку до Міжнародної конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти (Конвенція ПДНВ). Так, натеper національні правила України не передбачають розрядів для суднових електромеханіків, а передбачають єдину кваліфікацію суднового електромеханіка (електротехнічного офіцера) відповідно до положень Конвенції ПДНВ. При цьому, така кваліфікація може бути здобутою вже на рівні фахової передвищої освіти, що де-факто зменшує привабливість бакалаврських програм у цій сфері для потенційних вступників.

Водночас, сучасні тенденції розвитку технологій у судноплавстві можуть відкрити нові можливості для морських закладів вищої освіти.

Однією з найбільш актуальних для системи морської освіти тенденцій у міжнародному судноплавстві є швидкий розвиток технологій у будівництві та експлуатації автономних суден. Це питання є на порядку денному ІМО і опрацьовувалось на 107-ій сесії Комітету з безпеки на морі ІМО (КБМ-107), яка проходила з 31 травня по 9 червня 2023 року.

У своїй вступній промові перед делегатами сесії Генеральний секретар ІМО окремо наголосив, що автоматизація в судноплавстві та технології автономних суден швидко розвиваються, і це означає, що ІМО, як світовий регулятор судноплавства, має також діяти швидко для забезпечення безпечної експлуатації таких суден. Генеральний секретар ІМО також відзначив, що одним із основних напрямів діяльності ІМО натеper є розроблення належних правил для морських автономних надводних суден.

Реагуючи на сучасні технологічні виклики, ІМО вже розробляє проєкт Міжнародного кодексу з безпеки для морських автономних надводних суден (International Code of Safety for Maritime Autonomous Surface Ships, MASS Code, далі - Кодекс МАНС). Зокрема, проєкт Кодексу МАНС опрацьовувався на КБМ-107. На теперішній час вже напрацьовано проєкт загальної структури Кодексу МАНС та ряд його основних положень.

Так, введені та визначені поняття центрів дистанційного управління, операторів дистанційного управління та розробляються вимоги до них, зокрема вимоги до їх кваліфікації, ролі та відповідальності, а також вимоги до їх сертифікації. Зокрема передбачається, що оператори дистанційного управління повинні мати компетентності та досвід як офіцери, кваліфіковані згідно відповідних вимог Конвенції ПДНВ. Також напрацьовуються вимоги до компетентності моряків, які можуть перебувати на борту морських надводних автономних суден.

Під час розгляду проєкту Кодексу МАНС на КБМ-107 розглядались також наступні аспекти стосовно морських надводних автономних суден: положення щодо пошуку та рятування; методологія оцінювання ризиків; термінологія для розроблення функціональних вимог; розроблення вимог щодо компетенцій та компетентностей фахівців; правові аспекти оперування автономними суднами та інші.

За результатами розгляду на КБМ-107 була прийнята дорожня карта щодо подальшого розроблення Кодексу МАНС, утворена міжсесійна робоча група для його подальшого розроблення та встановлено, що прийняття Кодексу МАНС має відбутись у 2026 році.

Швидкий розвиток технологій автономних суден вже у недалекому майбутньому приведе до поступових, але водночас радикальних змін у структурі ринку праці морських фахівців. З одного боку, будуть змінюватись вимоги щодо кваліфікації (потенційні зміни у стандартах компетентності) та потреби у кількості для фахівців традиційних професій (судноводії, суднові механіки та електромеханіки). З іншого боку, виникнуть потреби у фахівцях нових профілів, професійна діяльність яких буде безпосередньо пов'язана з проєктуванням, будівництвом, організацією експлуатації та управлінням, включаючи дистанційне управління рухом, морських автономних суден.

Вочевидь, зазначені тенденції вже у найближчі роки мають знайти своє відображення й у структурі спеціалізацій морської освіти та у змісті підготовки морських фахівців у морських закладах освіти. На погляд автора, у програмах підготовки фахівців нового профілю (нових профілів) значну роль мають відігравати такі області знань, як

- автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології;
- інфо-комунікаційні технології;
- кібер-безпека.

При цьому, змін будуть потребувати й програми підготовки морських фахівців традиційних професій, наприклад судноводіння (зокрема в частині управління автономними суднами або взаємодії з автономними суднами), морської інженерії, морського права й деяких інших.

**Секція 1. СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА
АППАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ**

УДК 004.942: 629.1

**МЕТОДИКА НАБЛИЖЕНОЇ ОЦІНКИ ЧАСУ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В
СУДНОВИХ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМАХ РЕГУЛЮВАННЯ****В.Ф. Миргород, д.т.н., доцент****І.П. Козирев, к.т.н.****Л. К. Шестаков, студент****Н. А. Очеретнюк, студент**

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Пропонується підхід до удосконалення засобів синтезу суднових систем автоматичного регулювання шляхом застосування методики, яка дозволяє попередньо встановити відповідність таких систем вимогам щодо експлуатаційних властивостей за найбільш важливим показником якості, а саме: часом перехідних процесів. Отримані відповідні співвідношення щодо оцінки часу перехідних процесів в суднових безперервних та цифрових системах автоматичного регулювання. Виконана оцінка адекватності отриманих співвідношень в залежності від метрологічних характеристик вимірювальних каналів. Шляхом комп'ютерного експерименту встановлені межі застосування пропонованої методики. Встановлено, що застосування пропонованої методики дозволяє удосконалити методи аналізу та синтезу суднових систем автоматичного регулювання.

Ключові слова: система автоматичного регулювання, показники якості, математична модель, методика синтезу.

**METHOD OF APPROXIMATE ESTIMATION OF THE TIME OF TRANSIENT
PROCESSES IN SHIPS AUTOMATIC REGULATION SYSTEMS****V. Myrhorod, Dr. of Science, Associate Professor****I. Kozyrev, Candidate of Technical sciences****L. Shestakov, student****N. Ocheretniuk, student**

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: An approach to improving the synthesis processes of shipboard automatic regulation systems is proposed by applying a methodology that allows you to preliminarily establish the compliance of such systems with the requirements for operational properties according to the most important quality indicator, namely, the time of transient processes. Corresponding ratios for estimating the time of transient processes in the ship's continuous and digital automatic regulation systems were obtained. The assessment of the adequacy of the obtained ratios, depending on the metrological characteristics of the measuring channels, was carried out. By means of a computer experiment, the limits of the application of the proposed method were established. It was established that the application of the proposed methodology allows to improve the methods of analysis and synthesis of ship systems of automatic regulation.

Key-words: automatic control system, quality indicators, mathematical model, synthesis method.

Актуальність теми. Важливим і проблемним питанням удосконалення методів синтезу автоматичних систем регулювання (АСР) суднових енергетичних установок (СЕУ) є забезпечення якості процесів регулювання за відповідними показниками. Специфіка схемо-технічних рішень АСР становиться в тому, що вони, як правило, є складовою підпорядкованих автоматичних систем, тому перехідні процеси в таких підпорядкованих системах повинні завершити-

тись набагато раніше, ніж у системах вищого рівня. Застосовувані методики синтезу суднових АСР на основі типових пропорційно-інтегрально-диференціальних (ПІД) регуляторів в цілому забезпечують вимоги щодо процесів регулювання. Але налаштування таких регуляторів виконується за типовими методиками, які взагалі не передбачують попередньо встановити відповідність таких систем вимогам щодо експлуатаційних властивостей за найбільш важливим показником якості, а саме: часом перехідних процесів. Невідповідність та несумірність часу перехідних процесів в підпорядкованих АСР може бути причиною непрацездатності синтезованих систем. Тому забезпечення відповідності перехідних процесів в підпорядкованих АСР є суттєвим чинником, що впливає на показники техніко-економічної ефективності СЕУ.

Проблемним науково-прикладним завданням є удосконалення процесів синтезу суднових систем автоматичного регулювання шляхом застосування методики, яка дозволяє попередньо встановити час перехідних процесів в безперервних та цифрових системах.

Методи синтезу законів автоматичного керування за показниками якості перехідних процесів отримали достатньо розповсюдження [1,2,3,4] в АСР. Тому такі методи можуть мати переваги відносно відомих методик налаштувань ПІД-регуляторів у суднових АСР. Часткові питання синтезу АСР розглянуто в [5,6].

Зазвичай час перехідних процесів визначається тільки на фінішному етапі синтезу АСР і його невідповідність вимогам потребує повторного виконання всіх етапів синтезу з розрахунком перехідних характеристик. Такий розрахунок виконується за необхідністю обчислювальним рішенням систем диференціальних рівнянь високого порядку, що описують рух АСР в просторі її фазових координат.

Об'єктом досліджень є перехідні процеси в суднових АСР.

Предметом досліджень є математичні моделі АСР, методики синтезу та визначення показників якості перехідних процесів.

Метою пропонованого дослідження є розробка науково-прикладної методики попереднього визначення часу перехідних процесів в суднових АСР безперервної дії та цифрових системах без розрахунку перехідних процесів.

Пропонована методика дослідження складається в наступному:

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

- Будується передатна функція замкненої АСР (або її модель простору стану) та знаходиться її характеристичний поліном – знаменник вказаної передатної функції.

- Знаходяться корені характеристичного рівняння або власні числа супровідної матриці характеристичного поліному.

- Встановлюються метрологічні характеристики вимірювального каналу за регульованою координатою, а саме: межі похибок вимірювань на заданому рівні значимості.

- Встановлюється оцінка часу перехідного процесу в АСР за метрологічними характеристиками вимірювального каналу регульованої координати та часом згасання компоненти вільного руху з найменшим по дійсній частині коренем.

- Виконується додаткова перевірка збіжності результатів моделювання для різних параметрів ПД-регулятора.

- За позитивним результатом перевірки встановлюються межі застосування в АСР пропонованої методики.

Деталізація пропонованої методики полягає в наступному. Для лінійних (лінеарізованих) АСР перехідний процес є загальним рішенням системи диференціальних рівнянь, що складають математичну модель руху замкненої системи, тому має відомий математичний опис у вигляді

$$x(t) = \sum_{i=1}^n C_i e^{\lambda_i t},$$

де C_i – постійні інтегрування, що визначаються початковими умовами, λ_i – корені характеристичного рівняння замкненої системи, n – порядок системи.

Вважається, що досліджувана АСР є сталою, оскільки в іншому випадку час перехідних процесів є нескінченним. Відомою умовою сталості лінійної АСР є умова, що корені характеристичного рівняння мають від'ємні дійсні частини, тобто знаходяться в «лівій» частині комплексної площини розташування коренів. Таким чином, за цієї умови, всі складові загального рішення системи диференціальних рівнянь є такими функціями часу, що збігаються до нуля, тобто є згасаючими функціями.

Оскільки вільна складова є сумою експоненціальних функцій, які згасають в нескінченності, часом перехідного процесу вважається така координата на вісі часу, для якої абсолютне значення вільної складової є меншим, ніж деяке наперед визначене її значення на рівні 5% (або 2%, або 1%) відхилення від нуля, або від усталеного значення для похибки регулювання. Конкретне значення рівня відхилення визначається вимогами до похибок розрахунку, або нормованих похибок вимірювальних каналів.

Оскільки зміна похибки регулювання описується сумою експоненціальних функцій, то час перехідного процесу за похибкою визначається такою складовою, яка сама має найбільший час згасання. Така складова відповідає дійсному кореню характеристичного рівняння, абсолютне значення якого є найменшим. Оскільки корені характеристичного рівняння можуть бути в загальному випадку комплексно-спорядженими, то потрібно брати до уваги абсолютне значення дійсної частини таких коренів. Звідси отримуємо загальний вигляд співвідношення для оцінки часу перехідних процесів в лінійних АСР:

$$t_{pp} \cong \frac{N_p}{\min |\operatorname{Re} \{ \lambda_k \}|},$$

де N_p – деяке числове значення, що залежить від порогового відхилення на рівні 5% (або 2%, або 1%) відхилення від усталеного значення. Зазвичай слід рекомендувати $N_p = 3$ для попередніх розрахунків на рівні 5%, та $N_p = 5$ для наявності інформації щодо метрологічних властивостей вимірювальних каналів АСР на рівні не гірше, ніж 1% відхилення від вимірюваного значення

Цифрові АСР мають суттєві відмінності щодо їх математичного опису та властивостей. Дискретизація за часом приводить до змінних у вигляді решітчастих функцій:

$$x(t_k) = x(kT) = x[k],$$

де T є інтервалом дискретизації.

Математичним описом руху цифрових АСР різницеві рівняння. Відповідно для лінійних цифрових динамічних систем перехідна складова, як рішення різницевого рівняння, має відомий математичний опис у вигляді

$$x[k] = \sum_{i=1}^n C_i^d z_i^k,$$

де C_i^d – постійні інтегрування для системи різницевого рівняння, що визначаються початковими умовами, z_i – корені характеристичного рівняння замкненої цифрової АСР.

Будемо вважати надалі, що у вказаному виразі змінна є сигналом похибки регулювання, а цифрова система є сталою. Сталість цифрової лінійної АСР, як відомо, означає, що корені характеристичного рівняння мають значення, що які по модулю не перевищують одиницю, тобто знаходяться в одиничному колі комплексної площини розташування коренів. За цієї умови всі складові перехідного процесу в цифровій АСР є решітчастими функціями, що збігаються до нуля, тобто є згасаючими. Тому часом перехідного процесу також вважається така координата на вісі часу, для якої абсолютне значення похибки регулювання є меншим, ніж деяке наперед визначене значення відхилення на рівні 5% (або 2%, або 1%) від усталеного значення, з урахуванням дискретизації за рівнем. Оскільки зміна похибки регулювання описується сумою згасаючих функцій, то час перехідного процесу за похибкою в цифровій АСР визначається такою складовою, яка сама має найбільший час згасання. Така складова відповідає кореню характеристичного рівняння, абсолютне значення якого є найбільшим, але меншим за одиницю за умови сталості. Оскільки корені характеристичного рівняння можуть бути в загальному випадку комплексноспорядженими, то потрібно брати до уваги абсолютне значення (модуль) дійсної частини таких коренів. Слід також мати на увазі, що час перехідного проце-

су в цифрових АСР визначається в кількості тактів дискретного часу, тому може бути тільки цілим числом. Звідси отримуємо загальний вираз співвідношення для оцінки часу перехідних процесів в цифрових лінійних АСР:

$$N_{pp} \cong \text{ciel} \left(\frac{N_p}{\ln(\max |\operatorname{Re}\{z_k\}|)} \right),$$

де функція $\text{ciel}(x)$ означає найбільше ціле значення аргументу, нижня межа чисельника відповідає попередній оцінці, а верхня – уточненню за наявності апіорної інформації щодо похибок вимірювальних каналів з урахуванням розрядності аналого-цифрового перетворення.

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

Висновки. Запропоновано та обґрунтовано підхід до удосконалення процесів синтезу суднових АСР шляхом застосування методики, яка дозволяє попередньо встановити відповідність таких систем вимогам щодо експлуатаційних властивостей за найбільш важливим показником якості, а саме: часом перехідних процесів. Отримані відповідні співвідношення щодо оцінки часу перехідних процесів в суднових безперервних та цифрових системах автоматичного регулювання. Встановлено, що застосування пропонованої методики дозволяє удосконалити методи аналізу та синтезу суднових АСР.

Перспективи подальших досліджень полягають в обґрунтуванні меж застосування пропонованої в суднових системах автоматичного регулювання з урахуванням реальних умов експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. R.C. Dorf, R.H. Bishop., Modern Control Systems // Prentice Hall– 2004. – 832 с
2. Жукова Н.В. та ін. Сучасна теорія керування динамічних систем // Навч. посібник. . – Донецьк, . – ДонНТУ. 2013 – 292 с..
3. Дубовой В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування : навчальний посібник / В. М. Дубовой. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 308 с..
4. Попович М.Г. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник – К.: Либідь, 2005. - 680 с.
5. Пушкар, М.С. Проектування систем автоматизації [Текст]: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с.
6. Myrhorod, V. “Dynamic Systems, Similar to the Time Scale” in Books of Abstracts/ V. Myrhorod, I. Hvozdeva // Tenth International Conference on Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences 20-25 June 2018, Albena, Bulgaria, P.43-44.

УДК. 628.32.2

RESEARCH OF AN INTELLIGENT SYSTEM OF CONTROL OF THE PARAMETERS OF AN INERT GAS GENERATION SYSTEM

D. Danilov, student
V. Mykhailenko, Dr. of Science, Professor

Abstract: consideration of the problems of modern shipboard inert gas generation systems requires a comprehensive approach and reveals a number of parameters that can be improved by changing the configuration and integrating intelligent control systems, which are able not only to increase the cost-effectiveness and environmental friendliness of the installation, but also to increase its reliability.

Key-words: inert gas generation system, intelligent control system, artificial intelligence.

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ СУДНОВОЇ УСТАНОВКИ ІНЕРТНОГО ГАЗУ

Д. В. Данілов, курсант
В.С. Михайленко, д.т.н., професор
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: розглядання проблем сучасних суднових систем генерації інертного газу потребує комплексного підходу та виявляє низку параметрів, які можна покращити через змінення конфігурації та інтегрування інтелектуальних систем контролю, які здатні не тільки підвищити економічність та екологічність установки, але й підвищити її надійність.

Ключові слова: система генерації інертного газу, інтелектуальна система контролю, штучний інтелект.

In today's world, inert gas generation ship installations occupy a key position and are the main element for ensuring the safety and efficiency of operation of the gas carrier and tanker fleet. However, managing the parameters of these settings requires constant improvement and innovation. In this article the study of an intelligent control system designed to optimize the operation of a ship's inert gas generation installation is to be analyzed.

The installation itself is a system (Fig. 1), the main purpose of which is to use exhaust gases from the main engine or from self-combustion of diesel fuel oil to displace explosive atmosphere from cargo tanks and pipelines and replace it with inert gas.

The main problem with modern inert gas generation plants is that the systems currently used on most ships are an outdated installation, which includes two towers filled with activated aluminum oxide adsorbent balls with a diameter of 4 to 8 mm, as well as process and regeneration heaters, coolers, gas blowers and valves for redirecting the flow of gas.

While one desiccant layer supplies dry inert gas through a desiccant tank to consumers, the other layer – with saturated adsorbent – is regenerated by blowing hot air through it. When the regeneration cycle is complete, both towers run in parallel for a short period of time before the other goes into regeneration mode.

These disadvantages include long start-up time and very high energy consumption, as the system needs to regenerate the desiccant layer that is not in use.

This requires a large gas volume and also has a long cycle time, allowing the heat of adsorption to dissipate from the desiccant, wasting energy. Also, there may be sudden changes and deviations in temperature and dew point during layer changes with the added risk of dust transfer.

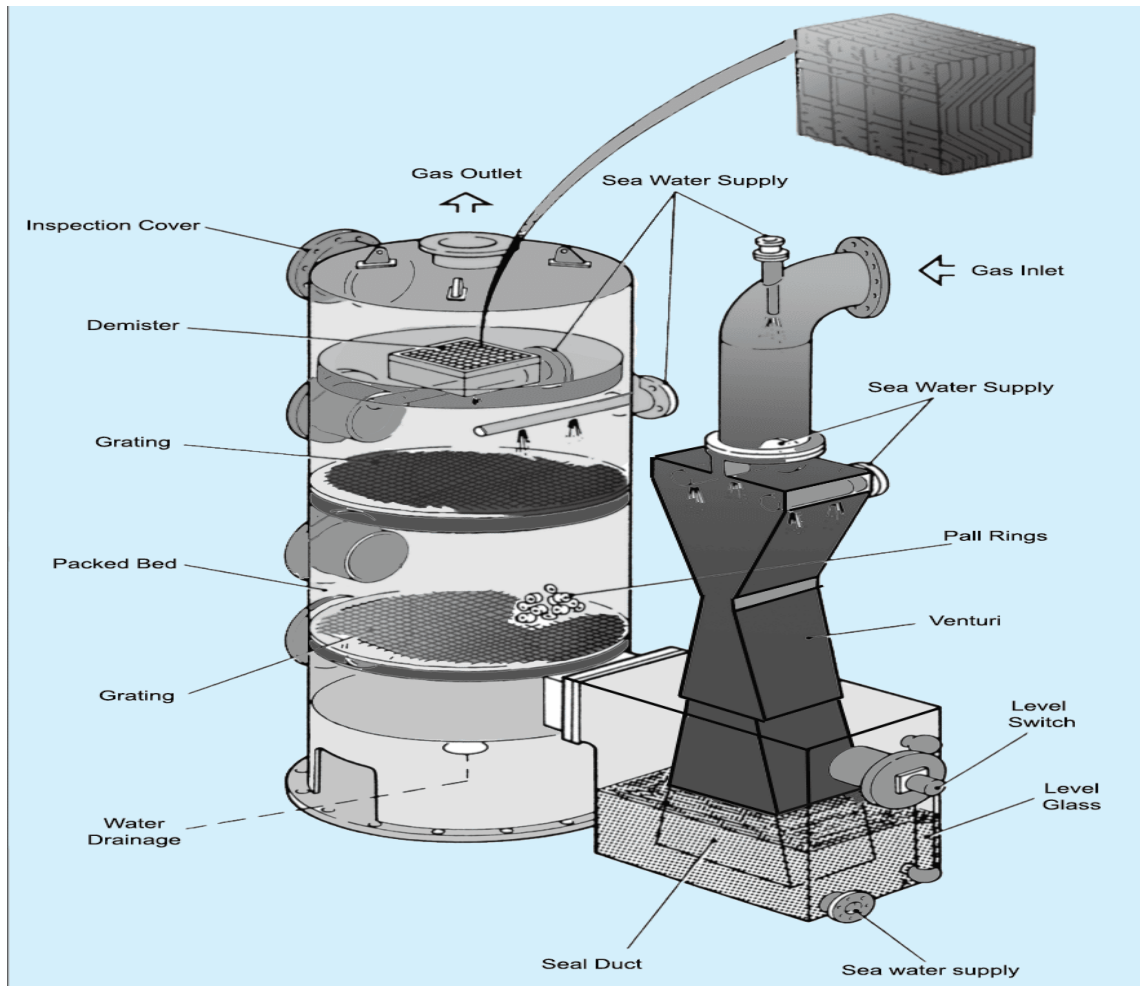


Figure 1 – general view of one tower of the inert gas system [4]

The solution of the problem of inefficient energy consumption and space saving in the engine room can be the use of a new type of inert gas generation installations, in which an integrated intelligent control system (ICS) of parameters in real-time is implemented, including the water level in the scrubber and its pressure, the load of the blowers, temperature of injected inert gas, its oxygen content and the operation of valves and deck sealing.

When errors occur, ICS can provide detailed diagnostic data and immediately analyze possible impacts that may have led to them.

The essence of using systems with artificial intelligence is their full integration into the ship's system, which has the following features, shown in work [1]:

- IS uses an adaptive algorithm to solve or coordinate tasks;
- can reveal hidden relationships in managed systems and their parameters;
- collect data from various systems for self-learning and accident prediction;

- analyze data of various types, starting with parameters transmitted by sensors, ending with weather conditions and the probability of an increase of temperature of surrounding environment, which may have consequences for the operation of the inert gas generation plant;

- choose from an unlimited number of options that are not classified in advance and are optimal according to the energy conservation criterion.

Such advantages put the artificial intelligence system ahead of the capabilities of an individual person. For example, receiving information about the temperature of the inert gas in the blower, the ICS will calculate the tendency for the temperature to increase way too much, which can lead to the shutdown of the entire system, and in advance will automatically adjust the process of burning diesel or supplying exhaust gases to the system to reduce the temperature. Moreover, the reliability of such a solution is much greater than the use of conventional sensors in combination with PLC or relay circuits, because the probability of failure or making the wrong decision of the ICS is the smaller, the more the system has been operating, since over time the system continuously collects and analyzes the incoming information, increasing own "experience".

The only problem that can be noted so far, according to works [2,4,5], is that such systems will become comprehensive only when implementation projects are transformed from "experiments" with long start-up times (through system training) to the implementation stage "at the workplace".

Conclusions. Integrated intelligent control systems have a number of advantages over the currently existing systems, because with their help it is possible not only to conduct monitoring, but also promptly, even before the appearance of the problem itself, to correct possible negative factors for the operation of mechanisms, guided only by information received from sensors, and trends regarding its change. Also, ICSs are capable of self-learning and adaptation to possible uncertain situations in operation processes under heavy weather conditions and changes of the load on ship power plant.

LITERATURE

1. John D. Kelleher, Brian Mac Namee, Aoife D'Arcy. Fundamentals of Machine Learning for Predictive Data Analytics // The MIT Press. - July 24, 2015.

2. Ian Goodfellow, Joshua Bengio, Aaron Courville. Deep learning // LitRes. - December 26, 2017. – p. 373-379.

3. .Mikhailenko V.S. Analysis of Traditional and Neuro Fuzzy Adaptive System of Controlling the Primary Steam Temperature in the Direct Flow Steam Generators in Thermal Power Stations / V.S. Mikhailenko, R.Yu. Kharchenko. // Automatic Control and Computer Sciences. – 2014. – Vol. 48, № 6. – P. 334 – 34

4. https://survitecgroup.com/media/343972/s_dryinertgasgenerator_datasheet.pdf

5. <https://slddigital.com/en/article/artificial-intelligence-is-the-imminent-future-of-industry/>

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ РОБАСТНОСТІ СУДНОВИХ
АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ****В.Ф. Миргород**, д.т.н., доцент**М.О. Третьяков**, студент**М.О. Кирсанов**, студент**К.Д. Говоров**, студент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Пропонується підхід до удосконалення методів синтезу суднових автоматичних систем регулювання шляхом застосування алгоритмічних засобів налаштування регуляторів, що забезпечують властивості нечутливості або слабкої чутливості до зміни параметрів елементів системи. Отримані умови на частотні характеристики автоматичних систем регулювання для забезпечення їх робастності. Запропоновані обмеження на параметри регуляторів, що забезпечують властивості робастності. Шляхом проведення комп'ютерного експерименту встановлені умови застосування пропонованого підходу. Розроблена методика дослідження чутливості систем автоматичного регулювання, що заснована на логарифмічних частотних характеристиках таких систем. Встановлено, що застосування пропонованої методики побудови регуляторів дозволяє удосконалити синтез суднових автоматичних систем при врахуванні зміни параметрів в процесі експлуатації.

Ключові слова: суднова система автоматичного регулювання, робастний регулятор, комп'ютерний експеримент, логарифмічні частотні характеристики.

**RESEARCH OF MEANS OF INCREASING THE LEVEL OF ROBUSTNESS OF SHIPS'
AUTOMATIC REGULATION SYSTEMS****V.F.Myrhorod**, Dr. of Science, Associate Professor**M.O. Tretyakov**, student**M.O. Kirsanov**, student**K.D. Govorov**, student

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: An approach to improving the methods of synthesis of shipboard automatic regulation systems is proposed by using algorithmic means of adjusting regulators, which provide the properties of insensitivity or weak sensitivity to changes in the parameters of the system elements. Obtained conditions for the frequency characteristics of automatic control systems to ensure their robustness. Proposed restrictions on the parameters of regulators that ensure robustness properties. The conditions of application of the proposed approach are established by means of a computer experiment. A method of studying the sensitivity of automatic control systems based on the logarithmic frequency characteristics of such systems is proposed. It was established that the application of the proposed method of construction of regulators allows to improve the synthesis of ship's automatic systems, taking into account the change of parameters during operation.

Key-words: shipboard automatic regulation system, robust regulator, computer experiment, logarithmic frequency characteristics

Актуальність теми. Автоматичні системи регулювання (АСР) суднових енергетичних установок (СЕУ), як правило, є підпорядкованими системами, в яких на виконавчому рівні використовуються типові пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори. Такі регулятори, за умови їх належного налаштування, забезпечують затребувані показники запасів сталості та показники якості перехідних процесів. Налаштування таких регуляторів є важливим науково-прикладним завданням багатовимірної оптимізації. Але при налаштуванні таких регуляторів за типовими методиками не завжди враховується можливість

підтримання запасів сталості та показників якості перехідних процесів у АСР в процесі експлуатації СЕУ при можливій зміні параметрів системи, наприклад, за умов експлуатаційної деградації. Забезпечення сталості таких показників АСР є предметом окремого питання теорії автоматичного керування, а саме: теорії робастності.

Проблемним науково-прикладним завданням, на яке спрямовано дослідження, є удосконалення методів синтезу суднових автоматичних систем регулювання шляхом застосування алгоритмічних засобів налаштування регуляторів, що забезпечують властивості нечутливості або слабкої чутливості до зміни параметрів елементів АСР на основі методів теорії робастності, зокрема підходів, що забезпечують гарантовані запаси сталості.

Синтез АСР за умови забезпечення певних показників робастності розглядається в низці праць [1,2,3,4]. Але їх загальним недоліком є значна алгоритмічна складність. В розглядаємій галузі такі методи пропонуються в [5,6,7].

Робастні регулятори в АСР СЕУ, що засновані на відповідній теорії чутливості, мають властивості, які дозволяють значно зменшити вплив зміни параметрів АСР в процесі експлуатації на показники сталості. Але встановлення таких умов і залежностей параметрів ПІД-регуляторів для забезпечення вказаних вимог є ще невирішеним завданням. Відомо, що регулятор, що синтезується методом логарифмічних амплітудних частотних характеристик (ЛАЧХ), повинен забезпечити нахил бажаної ЛАЧХ незмінної частини розімкненої АСР в області перетину вісі частот не більше, ніж 20 db/dec для забезпечення найменшої чутливості відносно зміни параметрів АСР. Але такий підхід пропонується виключно з досвіду експлуатації і є емпіричним, не обґрунтованим аналітичними методами. Має місце протиріччя між можливостями типових методик налаштування ПІД-регуляторів суднових АСР та вимогами практичного застосування з урахуванням варіації параметрів АСР. Тому пропонованим методом дослідження АСР з такими регуляторами є комплексне застосування аналітичних методів та методів математичного моделювання.

Об'єктом досліджень є динамічні процеси в суднових АСР.

Предметом досліджень є математичні моделі АСР та методики синтезу робастних регуляторів.

Метою пропонованого дослідження є вирішення вказаного протиріччя, що пропонується шляхом застосування методики наближеного синтезу регуляторів, що володіють властивостями робастності, зокрема, до найбільш важливого показника якості суднових АСР, а саме, запасів сталості.

Пропонована методика дослідження складається в наступному:

- Виконується аналіз суднової АСР, з класичним ПІД-регулятором, що заздалегідь налаштований за верифікованою типовою методикою, та встановлюються відповідні показники запасів сталості та показники якості.

- Деякою варіацією параметрів регулятора та об'єкту в межах експлуатаційних вимог та обмежень встановлюються можливі варіації запасів сталості та показників якості.

- Якщо варіація запасів сталості перевищує встановлені заздалегідь межі, використовується запропонована алгоритмічна послідовність синтезу робастного регулятора та моделювання АСР. Виконується додаткова перевірка збіжності результатів моделювання для різних параметрів ПД-регулятора.

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

Деталізація запропонованої методики полягає в наступному. Як це обґрунтовано в попередніх працях авторів, найкращі показники робастності може мати така АСР, в якій регулятор забезпечує перший перетин АФЧХ розімкненої системи $W_r(j\omega)$ уявної вісі у лівій напівплощині під кутом в 90 град. Тобто дотична до годографу АФЧХ (годографу Найквіста) в такій точці повинна мати нахил саме 90 град. Будь-який інший кут перетину призводить до збільшення чутливості запасів сталості від зміни параметрів АСР. Вказані вимоги відповідають вирішенню наступних рівнянь

$$\operatorname{Im}\{W_r(j\omega)\} = 0.$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial \omega} \operatorname{Re}\{W_r(\omega)\}\right)_{\omega=\omega_k} = 0.$$

Рішення першого рівняння відносно частоти можуть мати деяку множину коренів, з яких обирається таке значення частоти перетину ω_k вісі у лівій напівплощині, що є найменшим. Рішення другого рівняння відшукується відносно невідомих параметрів регулятора. Але такі вимоги, вочевидь, відповідають максимуму модуля АФЧХ, що не відповідає емпіричній вимоги щодо регулятора, який синтезується методом ЛАЧХ та який повинен забезпечити нахил бажаної ЛАЧХ незмінної частини розімкненої АСР в області перетину вісі частот не більше, ніж 20 db/dec.

Тому запропонований підхід потребує удосконалення, для чого використовується наступне рівняння для шуканих параметрів регулятора із використанням ЛАЧХ розімкненої системи $L_r(\omega)$:

$$L_r(\omega_k - \delta\omega) - L_r(10\omega_k) = 20\text{db}.$$

Стабілізаційна варіація частоти в першій складовій в деяку частину декади призначена для гарантованого вигляду бажаної ЛАЧХ.

Верифікація запропонованого підходу виконана на прикладі АСР газотурбінного приводу [7]. На рис. 1 представлено ЛАЧХ розімкненої системи зі статичною незмінною частиною, на рис. 2 відповідно – з астатичною незмінною частиною, а рис. 3 ілюструє перехідний процес в такій системі.

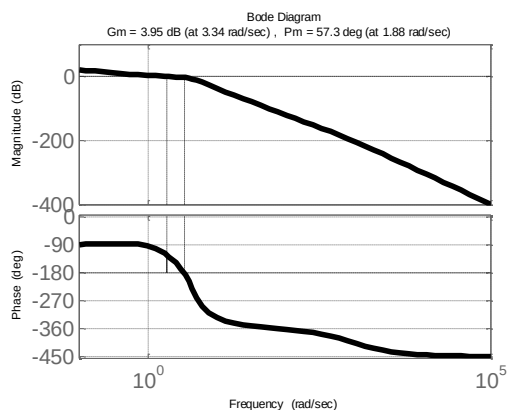


Рисунок 1 – ЛАЧХ робастної АСР зі статичною незмінною частиною

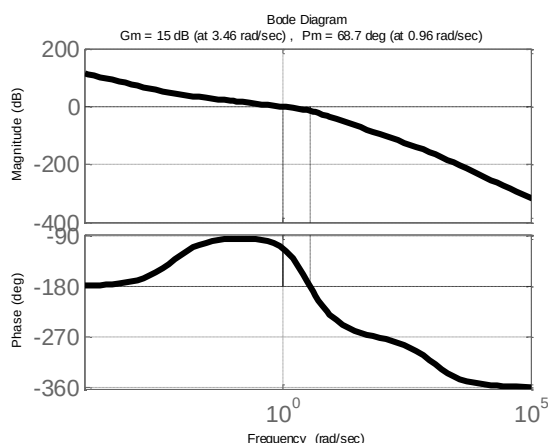


Рисунок 2 – ЛАЧХ робастної АСР з астатичною незмінною частиною

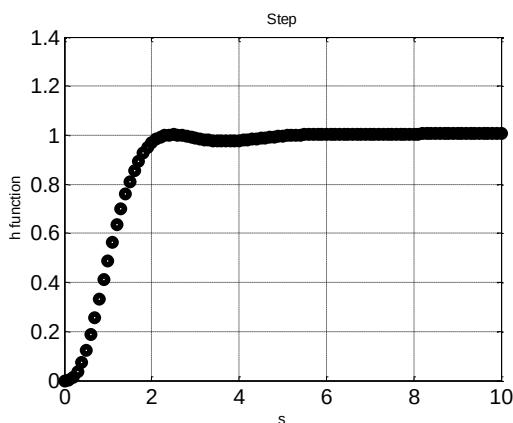


Рисунок 3 – Перехідна характеристика робастної АСР із астатичною незмінною частиною

Висновки. Мета дослідження у вигляді побудови методики наближеного синтезу регуляторів, що мають властивостями робастності, зокрема, до найбільш важливого показника якості судових АСР, а саме, запасів сталості, досягнута шляхом аналітичного обґрунтування умов робастності та вирішенням прикладних завдань.

Перспективи подальших досліджень пропонуються у розширенні пропонуваної методики на клас цифрових систем регулювання.

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.
7. Миргород, В.Ф. Методика наближеного синтезу регуляторів за умов забезпечення властивостей робастності / В.Ф. Миргород, І.М. Гвоздева // Авіаційно-космічна техніка і технологія – № 4 ч.1 – 2023. – С.58-63, DOI: <https://doi.org/10.32620/aktt.2023.4sup1>

**ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ
АНАЛОГІЇ ПРИ РОЗРОБЦІ ТА МОДЕЛЮВАННІ СУДНОВИХ
АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ****В.Ф. Миргород**, д.т.н., доцент**І.М. Гвоздева**, д.т.н., професор**І.П. Козирев**, к.т.н.**М.І. Плетнев**, студент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Розглядаються проблемні питання та пропонується удосконалення методів розрахунку і дослідження динамічних процесів у розгалужених підсистемах та мережах гідравлічного, пневматичного і комбінованого електрогідравлічного, електропневматичного устаткування суднових енергетичних систем. Обґрунтовано відповідний еквівалентний математичний опис таких мереж та шлях удосконалення методів їх аналізу шляхом застосування методики, яка дозволяє попередньо встановити відповідність таких систем вимогам щодо експлуатаційних властивостей за найбільш важливим показником. Розглянуті проблемні питання застосування методу електрогідравлічної аналогії та запропоновані шляхи їх вирішення. Встановлено, що застосування запропонованої методики дозволяє удосконалити методи дослідження суднових енергетичних систем.

Ключові слова: суднові енергетичні системи, метод електрогідравлічної аналогії, математична модель, методика аналізу.

**PROBLEM ISSUES OF THE APPLICATION OF THE ELECTROHYDRAULIC
ANALOGY METHOD IN THE DEVELOPMENT AND SIMULATION OF SHIP
AUTOMATED SYSTEMS****V. Myrhorod**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor**I. Hvozdeva**, Doctor of Technical Sciences, Professor**I. Kozyrev**, Candidate of Technical Sciences**E. Pletnev**, student

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: Problematic issues are considered and improvement of methods of calculation and research of dynamic processes in branched subsystems and networks of hydraulic, pneumatic and combined electrohydraulic, electropneumatic equipment of ship power systems is proposed. The appropriate equivalent mathematical description of such networks and the way to improve their analysis methods by applying a technique that allows you to pre-establish the compliance of such systems with the requirements for operational properties according to the most important indicators are substantiated. Considered problematic issues of applying the method of electrohydraulic analogies and suggested ways to solve them. It was established that the application of the proposed methodology allows to improve the methods of research of ship power systems.

Keywords: ship power systems, method of electrohydraulic analogy, mathematical model, analysis technique.

Актуальність теми. Суднові енергетичні системи (СЕС) мають у своєму складі, крім суто електричного та електромеханічного обладнання, також розгалужені підсистеми та мережі гідравлічного, пневматичного і комбінованого електрогідравлічного, електропневматичного устаткування. Важливим і проблемним питанням розрахунку та дослідження динамічних процесів у такому устаткуванні є обґрунтування відповідного математичного опису та класу адекватних міждисциплінарних математичних моделей (ММ). Безпосереднє засто-

сування відомих фізичних законів та рівнянь збереження і рівноваги має досить значні труднощі і використовується тільки на етапах проектування і побудови відповідних складових СЕС. Тому для завдань забезпечення безпечної та ефективної експлуатації використовуються методи, які забезпечують певний компроміс між вимогами адекватності та можливостями комп'ютерної реалізації. Одним з таких підходів є використання методу електрогідравлічної аналогії (ЕГА), що спирається на подібність процесів та рівнянь рівноваги в гідравлічних мережах та електричних колах, та надає можливість використати розвинений математичний апарат теорії електричних ланцюгів.

Але безпосереднє використання методу електрогідравлічної аналогії за спрощеними моделями не має досі достатнього обґрунтування та обґрунтування меж застосування вказаного методу. Суднові СЕС обладнуються автоматичними регуляторами підтримки експлуатаційних параметрів у відповідних межах, математичний опис яких базується на класичній теорії автоматичного управління, яка має власний апарат аналізу та синтезу, який не завжди відповідає методу ЕГА. Тому забезпечення відповідності та адекватності методу ЕГА при його застосуванні для розрахунку та дослідження динамічних процесів у судновому устаткуванні є суттєвим чинником, що впливає на показники техніко-економічної ефективності СЕС.

Проблемним науково-прикладним завданням є удосконалення методу ЕГА шляхом застосування методики, яка дозволяє узгодити вимоги щодо його застосування в суднових СЕС.

Загальні питання моделювання складних динамічних систем розглянуті в [1,2,3,4,5,6]. Застосування методу ЕГА для моделювання та аналізу різноманітних технічних систем є предметом досліджень низки праць [7,8,9,10]. Такі методи можуть мати переваги відносно відомих при практичному застосуванні в суднових СЕС.

Об'єктом досліджень є динамічні процеси в суднових мережах гідравлічного, пневматичного і комбінованого електрогідравлічного, електропневматичного устаткування.

Предметом досліджень є математичні моделі процесів в таких мережах, *межі застосування методу ЕГА та аналіз можливостей його удосконалення.

Метою пропонованого дослідження є удосконалення методу ЕГА шляхом застосування методики, яка дозволяє узгодити вимоги щодо його застосування в суднових СЕС.

Пропонована методика дослідження складається в наступному:

- На основі функціональної схеми мережі будується її комп'ютерна ММ на основі методу ЕГА, що включає еквівалентні щодо математичного опису основні елементи (джерело енергії, моделі трубопроводів та споживачів у вигляді ланок електричних ланцюгів, комутуючі пристрої).

- Виконується комп'ютерне моделювання усталених та перехідних режимів мережі методом ЕГА у порівнянні з експериментальними та розрахунковими даними для верифікації комп'ютерної ММ.

-Виконується еквівалентне перетворення отриманої ММ мережі в моделі передатних функцій та простору стану.

- За отриманою ММ у вигляді передатних функцій виконується синтез пристроїв регулювання режимів та встановлюються показники сталості і якості перехідних режимів.

- За отриманою ММ у вигляді моделі простору стану (ММПС) встановлюються фундаментальні властивості сталості. Керованості та спостережуваності.

- Виконується додаткова перевірка збіжності результатів моделювання для різних форм представлення ММ мережі.

- За позитивним результатом перевірки встановлюються межі застосування методу ЕГА в суднових мережах та системах.

Сутність методу ЕГА становить подібність рівнянь збереження та рівноваги в гідравлічній мережі у вигляді

$$\begin{aligned}-\frac{\partial P}{\partial x} &= \frac{2a}{S} Q + \frac{\rho_0}{S} \frac{\partial Q}{\partial t}, \\ -\frac{\partial Q}{\partial x} &= \frac{S}{\rho_0 c^2} \frac{\partial P}{\partial x},\end{aligned}$$

де P – тиск рідини, Q – витрата рідини, S – площа поперечного перерізу мережі, ρ_0 – щільність рідини, c – швидкість звуку в рідині, a – коефіцієнт в'язкого тертя, що визначається втратами кінетичної енергії в мережі, x – відстань від початку мережі, та відповідними диференціальними рівняннями в часткових похідних для лінії електропередачі з розподіленими параметрами без врахування втрат:

$$\begin{aligned}-\frac{\partial U}{\partial x} &= RI + L \frac{\partial I}{\partial t}, \\ -\frac{\partial I}{\partial x} &= C \frac{\partial U}{\partial x},\end{aligned}$$

де U, I – напруга та струм на відстані x від початку лінії, R, L, C – активний опір, індуктивність та ємність, віднесені до одиниці довжини лінії.

Вказану подібність ілюструє рис. 1

Верифікація пропонованого підходу виконана на прикладі суднової системи покращення екологічних характеристик СЕС, а саме обладнання скрубера, та має позитивні результати.

Але при практичному застосуванні методу ЕГА виникають проблемні питання, що тільки частково вирішуються відомими та пропонованими підходами.

До таких проблемних питань, що потребують подальших досліджень, відносяться:

1. Математичні моделі методу ЕГА є моделями електричних ланцюгів, що не пристосовані до застосування в автоматичних системах регулювання режимних параметрів і потребують додаткових перетворень.

2. Зміна режимів функціонування мережі відповідає явищу **комутації** у відповідних електричних аналогіях і потребує врахування незалежних початкових умов, тобто струму в індуктивних елементах та напруги в ємнісних, що не враховується в методі ЕГА.

3. Динамічні режими розповсюдження збудження не враховуються ММ методу ЕГА із зосередженими параметрами, зокрема умови узгодження навантаження.

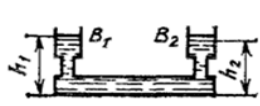
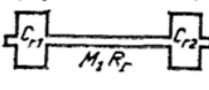
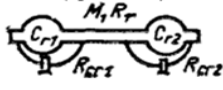
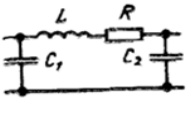
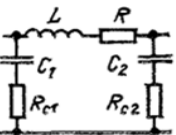
Гідродинамічні системи			Електричні аналоги	
Потік рідини, що не стискається, під напором 	Потік рідини (газу), що стискається під час відхилення від усталеного стану (акустичні аналогії) 	Потік рідини, що не стискається в пружнов'язких трубопроводах (кровообіг) 	Для гідродинамічних систем 1 та 2 	Для гідродинамічних систем 3 
Гідростатичний напір h	Тиск P		Напруга u	
	Об'єм рідини V		Заряд q	
	Витрата $Q = dV/dt$		Струм $i = dq/dt$	
Дзеркало резервуару $B = V/h$	Гідравлічна ємність $C_z = V/P$		Ємність $C = q/u$	
Інерційність $M = P/(dQ/dt)$			Індуктивність $L = u/(di/dt)$	
Гідравлічний опір R_z : при фільтраційному та ламінарному потоці $R_z = P/Q = \text{const}$; при турбулентному потоці $R_z = k Q ^{n-1}$, де $n \approx 2$ (для води)			Опір $R = u/i$	
Час t			Час t	

Рисунок 1 – Моделі відповідності ЕГА

Висновки. Розглянуті проблемні питання та знайдені шляхи удосконалення методів розрахунку і дослідження динамічних процесів у розгалужених підсистемах та мережах гідравлічного, пневматичного і комбінованого електрогідравлічного, електропневматичного устаткування суднових енергетичних систем. Пропонується відповідний математичний опис таких мереж та шляхи удосконалення методів їх аналізу шляхом застосування пропонованої методики, яка дозволяє врахувати особливості перехідних режимів. Пропонуються для вирішення проблемні питання застосування методу електрогідравлічної аналогії та запропоновані шляхи їх вирішення.

Перспективи подальших досліджень полягають в обґрунтуванні меж застосування методу ЕГА в СЕС 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.
7. Мошноріз М. М. Розробка методики виконання лабораторних робіт на лабораторному стенді для дослідження систем водопостачання [Електронний ресурс] / М. М. Мошноріз, А. С. Горбань //

Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – 2018. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2018/paper/view/4483>; <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/21313?show=full>.

8. Мошноріз Микола Аналіз способів підвищення енергоефективності роботи системи водопостачання [Електронний ресурс] / М. Мошноріз, А. Горбань // Матеріали XIV міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018)", м. Вінниця, 15-17 жовтня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/22712>.

9. Мошноріз М. М. Автоматизація процедури енергоаудиту системи водопостачання [Текст] / М. М. Мошноріз, А. С.

10. Горбань // Електротехніка та електроенергетика. - 1 (2019). - Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. - С. 52 - 60. ISSN 1607-6761 (print), ISSN 2521-6241 (online). DOI 10.15588/1607-6761-2019-1-5. Режим доступу: <http://ee.zntu.edu.ua/article/view/165195>.

УДК 629.5.064.5:656.6(042)

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СУЧАСНИХ ОБ'ЄКТІВ МОРСЬКОЇ ІНДУСТРІЇ

В.Б. Власов, старший викладач

О.В. Глазева, к.т.н, доцент

С.Ф. Самонов, к.т.н, доцент

В.О. Дубовик, старший викладач

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: У роботі представлено огляд корабельних енергосистем MVAC, MVDC та гібридної системи MVAC-MVDC. Виділено переваги системи живлення постійного струму в порівнянні з системою змінного струму, що використовується на борту суден: підвищення ефективності первинного двигуна та зниження витрат на паливо, економію ваги та місця, роботу генераторів з високим коефіцієнтом потужності, нижчі втрати при передачі енергії, спрощення паралельного підключення генераторів та реалізацію зберігання енергії. Розглянуто проблеми, пов'язані з технологією постійного струму.

Ключові слова: електроенергетична система, системи зберігання енергії, динамічне позиціонування, генератори

PROSPECTS OF USING DIRECT CURRENT FOR ELECTRICAL POWER SUPPLY OF MODERN MARINE INDUSTRY FACILITIES

V. Vlasov, Senior Lecturer

O. Glazeva, Ph.D., Associate Professor

S. Samonov, Ph.D., Associate Professor

V. Dubovyk, Senior Lecturer

National University «Odesa Maritime Academy»

Abstract: The work presents an overview of ship power systems MVAC, MVDC and hybrid system MVAC-MVDC. The advantages of a direct current power system compared to an alternating current system used on board ships are highlighted: increasing the efficiency of the primary engine and reducing fuel costs, saving weight and space, operating generators with a high power factor, lower losses during power transmission, simplifying parallel connection generators and implementation of energy storage. Problems related to direct current technology are considered.

Key words: electric power system, energy storage systems, dynamic positioning, generators

Досягнення в галузі силовій електроніки направили розвиток архітектури суднових систем живлення у напрямку гібридних систем змінного/постійного струму та систем повного живлення постійного струму. Впровадження систем зберігання енергії, відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та засобів зниження впливу на навколишнє середовище, особливо важливі при розробці та проектуванні сучасних суднових енергетичних систем.

Потужність споживачів електроенергії на сучасних судах постійно зростає завдяки використанню електричного руху як основного, так і допоміжного, збільшенню кількості технологічних та допоміжних електроприводів та перетворювачів, систем DP (динамічного позиціонування). Електроенергетична система має оперативно реагувати на будь-які зміни режимів роботи судна, бути надійною та мати високий рівень живучості.

З економічної точки зору споживання палива має бути ефективним, оскільки воно безпосередньо призводить до мінімізації витрат на паливо та викидів забруднюючих речовин у повітря. Правила MARPOL Міжнародної морської організації (ІМО) із забруднення повітря є інструментом для зведення цих викидів до мінімуму.

Метою даного дослідження є розгляд основних принципів побудови, переваг та недоліків суднових енергосистем постійного струму.

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). Однак слід відмітити, що значний прогрес в області силовій електроніки відкриває можливості для впровадження на морських кораблях і судах електричного розподілу постійного струму MVDC (medium voltage direct current).

Перехід до розподілу MVDC головним чином обумовлений можливістю підвищити паливну економічність на генерації електроенергії, а також з реалізацією більш гнучкої архітектури інтегрованої електроенергетичної системи судна.

На рис.1. наведена спрощена однолінійна схема системи електричного розподілу MVAC танкера СПГ (скраплений природний газ). Концепція резервування передбачає взаємозв'язки з використанням перемикачів X і Y. В існуючих системах MVAC генератори повинні бути налаштовані на фіксовану частоту розподілу змінного струму (наприклад, 50/60 Гц), і, відповідно, частоту обертання валу незалежно від поточних умов навантаження.

Це призводить до неоптимального використання первинних двигунів і неможливості регулювання їх робочих точок. MVDC система розподілу має перевагу, у цьому відношенні, оскільки за рахунок випрямлення змінної напруги генератора фактичну робочу частоту обертання можна регулювати, і таким чином покращити якість та споживання виробленої електроенергії.

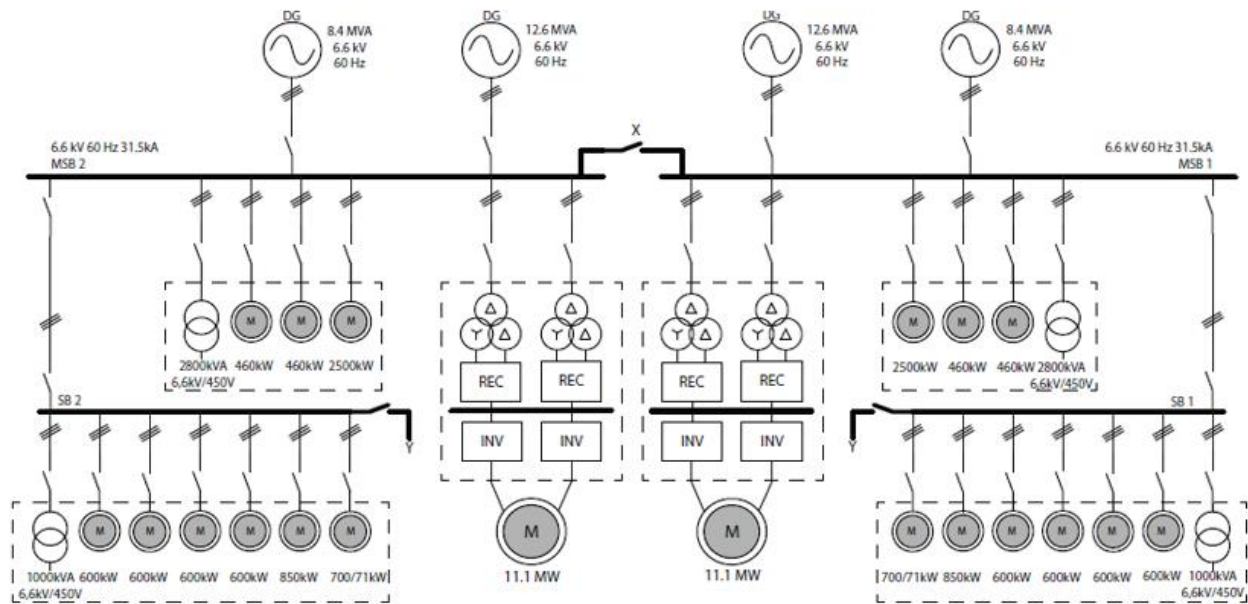


Рисунок 1 – Спрощена однолінійна схема системи електричного розподілу MVAC танкера СПГ

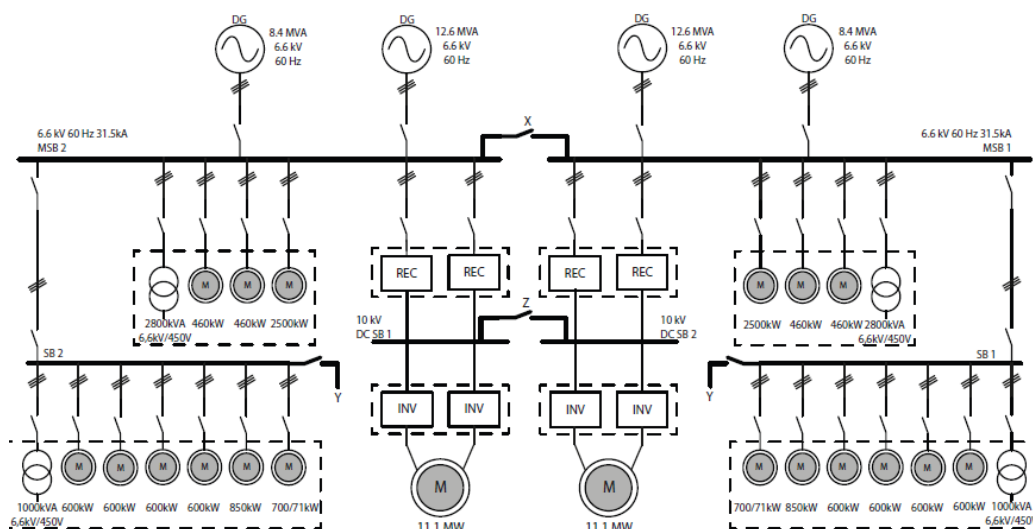
Ця гнучкість забезпечує підвищення ефективності, а також глибоко змінює загальну систему розподілу на судні. В таких системах з'являється можливість використання високошвидкісних генераторів, підключених до розподілу MVDC через випрямлячі, що дозволяє зменшити їх габарити. Для розробки апаратури та розповсюдження MVDC були схвалені і впроваджені відповідні стандарти для елементів силової електроніки. Судновласники деяких компаній вже продемонстрували вплив передових технологій та запровадили їх в суднобудівництві.

Але, з урахуванням існуючих проблем з постачанням необхідного обладнання, модернізацію, на наш погляд, краще починати з гібридного варіанту MVAC-MVDC, в якому в значній мірі використані важливі надійні елементи устаткування, успішно апробованого в MVAC, як показано на рис.2.

Номінальна напруга 10 кВ постійного струму пропульсивних інверторів (INV) та пропульсивних двигунів майже вдвічі перевищує напругу на рис.1.

Як показано на рис.3 незалежно від конфігурації мережі постійного струму, у новій концепції виключені такі електричні елементи, як головний розподільний щит змінного струму та всі трансформатори підрулюючих пристроїв. Замість цього напруги та струми всіх генераторів випрямляються, а активна потужність передається в загальну шину постійного струму, де йде розподіл електричної енергії по основним споживачам, і кожен з них живиться окремим інверторним блоком. В результаті обсяг компонентів, які необхідно встановити в приміщенні головного розподільного щита різко скорочується через відсутність автоматичних вимикачів змінного струму і відповідних їм реле.

Конфігурація мережі постійного струму дозволяє модернізувати систему за допомогою накопичувачів енергії або відновлюваних джерел енергії (наприклад, фотоелектричних панелей), які можна підключати безпосередньо до мережі або через DC/DC конвертери. Основними перевагами такого підходу є



До переваг використання судових енергосистем постійного струму також можна віднести генератори, що працюють з коефіцієнтом потужності, що дорівнює одиниці. У разі використання діодних випрямлячів для генераторів, потоки реактивної потужності виключаються, отже кабелі, що йдуть від котушок статора генераторів до випрямлячів, не будуть містити реактивну потужність а їх перетин суттєво зменшиться. Робочий коефіцієнт потужності генераторів можна встановити рівним одиниці ($\cos\varphi = 1$), що з економічної точки зору призводить до зменшення розмірів генераторів, системи збудження, але зберігає таким же обсяг активної потужності для корабельної мережі.

- розподіл (кабелю) постійного струму не викликає проблем скін-ефекту в кабелях, який існує при змінному струмі;

- кабелі, які працюють на постійному струмі, не мають індуктивного реактивного опору, оскільки він дорівнює нулю на частоті 0 Гц.

Оскільки генератори та мережа постійного струму не передають реактивну потужність, їх струми нижчі і, як наслідок, менші втрати енергії, що пов'язані з силовими кабелями.

Більш швидке та просте підключення генераторів на паралельну роботу також є перевагою мережі постійного струму. В системах змінного струму перед підключенням на паралельну роботу генератори мають бути синхронізовані - узгоджені за частотою, напругою та фазою. У системі постійного струму таке узгодження не потрібне, оскільки всі випрямлячі перетворюють вихідну напругу генератора змінного струму у напругу головної шини постійного струму, що

призводить до скорочення часу відгуку вироблення електроенергії, що важливо для збереження стійкості енергосистеми при великих змінах навантаження.

Простіша реалізація зберігання енергії, теж є перевагою мережі постійного струму. Системи зберігання енергії (ESS- energy storage system), які технологічно реалізуються сьогодні це - акумуляторна система зберігання енергії (BESS battery energy storage system), маховики, надпровідні магнітні накопичувачі енергії (SMES- superconducting magnetic energy storage), накопичувачі енергії на стиснутому повітрі (CAES), суперконденсатори та гідроакумулятори (PHS) (використовуються в наземних енергосистемах). Більшість технологій ESS вимагає перетворювачів потужності як інтерфейс з мережею для цілей заряджання та розряджання, незалежно від характеру ланцюга. На борту багатьох суден при різних типах морських операцій широко використовують джерело безперебійного живлення (ДБЖ), у якого батареї служать резервним джерелом живлення.

Одним із застосувань ESS є зниження навантаження (пікового навантаження) корабельних енергосистем. Використовуючи ESS для вирівнювання загального профілю навантаження судна, PMS (Power Management System) виконує менше операцій із запуску та зупинки генераторів. Крім того, для задоволення потенційно високого та миттєвого попиту на електроенергію буде потрібно менше первинних двигунів, що призведе до більшої економії палива.

Оптимальне використання ESS буде досягатися за рахунок заряджання пристроїв накопичення в умовах низького неідеального навантаження та розряджання, або відбору енергії від них, коли потреба в навантаженні перевищує можливості вироблення електроенергії в системі. Згладжування пікових значень навантаження є важливою особливістю ESS і, крім паливної ефективності, сприяє зниженню викидів забруднюючих речовин в атмосферу через необхідність меншої кількості працюючих генераторних установок.

Під час маневрів корабля, коли кілька генераторів мають бути підключені до мережі, щоб компенсувати можливі зміни навантаження, використання ESS дозволяє зменшити кількість працюючих генераторів, і таким чином знизити споживання пального.

Нарешті, ESS може автоматично підключатись до працюючих генераторів як додаткове джерело енергії під час перехідних станів мережі через свою малу інерційність, що зменшує вірогідність захисного відключення навантаження. Що стосується систем DP, то для підтримки руху судна в проміжок часу, поки головний або додатковий двигун не буде запущений і виведений на необхідну потужність, може бути використана енергія, що накопичена в акумуляторах.

Можливо, найбільшою перевагою ESS є робота без викидів в атмосферу. У майбутньому суднові енергосистеми з ESS можуть стати частиною більшої «зеленої» системи у поєднанні з відновлюваними джерелами енергії, метою якої є зведення забруднення повітря від спалювання пального в двигунах до мінімуму. Відновлювані джерела, такі як фотоелектричні елементи, можуть бути підключені до системи постійного струму і зберігати надлишкову енергію в акумуляторах.

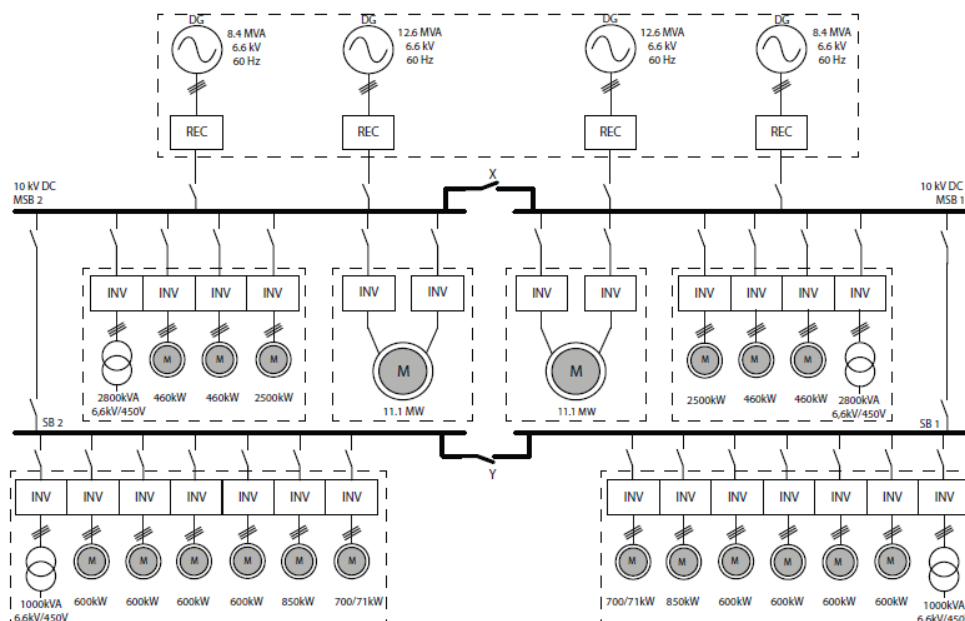


Рисунок 3 – Однолінійна схема запропонованої повної системи електричного розподілу MVDC танкера СПГ

Система MVDC (рис.3) реалізується через спеціальний випрямляч, пов'язаний з кожним DG. При цьому рівень напруги MVDC безпосередньо залежить від обраного рівня напруги генератора, і для танкера СПГ це буде приблизно 10 кВ постійного струму. Слід зауважити, що було б вигідно використовувати багатофазні генератори (наприклад, кілька трифазних обмоток), що дало би можливість реалізації випрямлення з більшою кількістю імпульсів. Залежно від загальної концепції управління, яка використовується на судні можуть одноково використовуватися як пасивні, так і активні перетворювачі, а для гальванічної розв'язки – (використовувати) середньочастотні трансформатори.

Таблиця 2 – Потенційні переваги та проблеми гібридної MVAC/MVDC системи розподілу (електромережі)

Потенційні переваги	Недоліки
Менш інвазійна архітектура електропостачання корабля	Основні двигуни і генератори з фіксованою швидкістю
Демонтаж громіздких силових трансформаторів	Неефективне використання електродвигунів прямого пуску
Можливість повторної генерації з MVDC в MVAC	Дві різні схеми захисту (змінний і постійний струм)
Можливість обміну енергією між приводами	Відсутність перетворювачів DC-DC високої потужності
Наявність апробованого захисту устаткування змінного струму	Недостатньо гнучка система координації напруги

Таблиця 3 – Потенційні переваги та проблеми повного MVDC електричної системи розподілу

Потенційні переваги	Недоліки
Високошвидкісні приводні двигуни та генератори	Відсутність комерційних випрямлячів для MVDC
Демонтаж громіздких силових трансформаторів	Відсутність пристроїв захисту MVDC
Можливість повторної генерації	Дві різні схеми захисту для LVAC і MVDC
Можливість обміну енергією між приводами	Відсутність перетворювачів DC-DC високої потужності
Можливість інтеграції зберігання енергії	Відсутність конверторів DC-DC високої потужності. Недостатня гнучкість перетворювачів напруги

Резервування електрозабезпечення здійснюється за допомогою перемикачів X і Y, подібно до оригінальної системи.

Систему MVDC було б вигідніше використовувати з генераторами з більш ніж на 3 фази. Генератор має пряме відношення до конфігурації випрямляча. Генератори з більшою кількістю фаз (кратною трьом, наприклад 6, 9, 12, 18) можна безпосередньо підключати до пасивних багатоімпульсних випрямлячів. Це покращує якість випрямленої електроенергії MVDC, знижує номінальний пофазний струм і підвищує надійність на рівні генераторів (резервування через кілька наборів трифазних обмоток). Використання активних випрямлячів дозволяє розширити робочий діапазон швидкостей генераторів та покращити керування системою MVDC.

В даний час не існує стандартів щодо системи розподілу постійного струму на борту суден та відповідної компонентної бази, що робить практично неможливим досягнення обмежень щодо змін напруги, THD та інших показників якості суднової мережі.

Виникає низка питань, які необхідно вирішити для енергосистем постійного струму:

1. *Обмеження високого струму короткого замикання.* У системах змінного струму повний опір кабелю автоматично обмежує струми короткого замикання, які домінують при виборі елементів енергосистеми. У системах постійного струму опір кабелів (дуже низький) слабо обмежує струми короткого замикання, і з цієї причини всі частини енергосистеми однаково схильні до короткого замикання в довільному місці.

2. *Концепція захисту мереж постійного струму.* Основні традиційні проблеми розподілу постійного струму загалом пов'язані з досягненням повної селективності та захисту обладнання аналогічно до того, як це відбувається з розподілом змінного струму. Належний захист мережі постійного струму може бути досягнутий за рахунок поєднання запобіжників та напівпровідникових силових пристроїв з керованим вимкненням. Якщо випрямлячі енергоблоків оснащені такими керованими комутаційними пристроями, то струми пошкодження можна блокувати набагато швидше, ніж це можливо, за допомогою традиційних автоматичних вимикачів з відповідними реле захисту.

3. Проблема дорогих, поки що нерентабельних рішень для систем зберігання енергії.

Багато доступних технологій ESS насправді є дуже дорогим рішенням з обмеженою продуктивністю. BESS – доступна акумуляторна технологія, але важка та громіздка з обмеженим терміном служби акумуляторних блоків. Гібридні системи зберігання енергії, включаючи різні типи пристроїв зберігання енергії, можуть бути цікавою можливістю для вирішення цієї проблеми.

Для деяких суден із характерними експлуатаційними характеристиками системи постійного струму найближчим часом не стануть раціональним рішенням. На інших типах суден перехід від змінного струму до постійного струму буде здійснюватися поступово за рахунок гібридних рішень, які одночасно, міститимуть головну шину змінного струму та головну шину постійного струму, кожна з яких матиме відповідний тип навантаження. Але доступні технології та елементна база матимуть вирішальне значення при виборі типу суднової енергосистеми.

Висновок. Розподіл електроенергії MVDC розглядається як перспективний спосіб для суднових систем електропостачання.

Проте є велика потреба у великій дослідницькій роботі в цій галузі для подальшого проектування і промислового виробництва всіх елементів довгого ланцюга перетворення енергії від генератора до самих різноманітних споживачів. Кабельна технологія MVDC, застосування та проектування енергії систем накопичення, активні та пасивні фільтри, інтелектуалізація дизельних двигунів та газових турбін – ось далеко не повний перелік наукоємних технологій, які повинні бути повноцінно розроблені раніше, ніж системи розподілу електроенергії MVDC стануть реальністю та справді запропонують перевагу перед MVAC системами.

Слід було б згадати і про важливість професійної підготовки науково-технічних працівників високого рівня, яким вирішувати окреслені задачі.

ЛІТЕРАТУРА

1. T.J. McCoy, "Trends in ship electric propulsion," in *Proc. of Power Engg. Society Summer Meeting*, 2002, vol. 1, pp. 343-346.
2. B. Zahedi and L.E. Norum, "Efficiency analysis of shipboard dc power systems," in *Proc. of IECON 2013*, pp. 689-694.
3. Budashko, V. V. Conceptualization of research of power hybrid electric power complexes [Text] / O. V. Glazeva, V. V. Budashko, S. F. Samonov // *Technology audit and production reserves*. – 2016. – V. 5. – 1(31). – 63–73. Doi:10.15587/2312-8372.2016.81407.
4. С.Ф. Самонов, О.В. Глазева, В.Б. Власов Повышение энергоэффективности судов с электрическими пропульсивными установками. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019) [Збірник матеріалів XI Міжнародної науково-практичної конференції (28-30 травня 2019 року, м. Херсон, Україна)]. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2019. – С.406-410.
5. Glazeva O. Modern lines of development of ship electromotive systems [Text] / O. Glazeva, V. Busher, V. Vlasov // *Electrotechnics and Computer Systems*, ISSN: друковане – 2221-3937 електронне – 2221-3805. – Odessa : Nauka i Technika, 2015. – Vol. №19(95). – P.46–49.

Access mode :

<http://etks.opu.ua/core/getfile.php?id=1600>, <http://dx.doi.org/10.15276/eltecs.19.95.2015.12>

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МАГНІТОМ'ЯКИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СУДНОВИХ СПЕЦПРИСТРОЇВ

А. Завадський, к.т.н., професор
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: В роботі розроблено методику дослідження і тестування базових параметрів магнітом'яких матеріалів для високочастотних суднових радіоелектронних пристроїв.

Ключові слова: напруженість, індукція, магнітна проникність, гістерезис, електромагнітні поля (ЕМП), засоби радіозв'язку і радіолокації.

STUDY OF THE PARAMETERS OF MAGNETIC MATERIALS FOR SHIP SPECIAL DEVICES

V. Zavadsky, Ph.D, Professor
National University «Odesa maritime academy»

Abstract: The paper develops a methodology for researching and testing the basic parameters of a magnet, which materials for high-frequency ship radio-electronic devices.

Key-words: intensity, induction, magnetic permeability, hysteresis, electromagnetic fields (EMF), radio communication and radar.

Професійна діяльність моряків здійснюється в умовах складного електромагнітного середовища або полів (ЕМП), яке формується технічними засобами, конструкційними матеріалами, залежить від призначення судна, його особливостей і класифікації. На суднах зазвичай реєструються статичні електричні поля, постійні магнітні та низькочастотні електричні та магнітні поля. Електромагнітні поля (ЕМП) радіочастотного діапазону створюються морськими радіоелектронними засобами (РЕЗ), які забезпечують зв'язок, безпеку плавання та експлуатації, а також вирішення навігаційних завдань.

До суднових радіоелектронних спеціальних пристроїв відносять групу останніх, високо- і надвисокочастотних, високонадійних і швидкодіючих приладів радіозв'язку, радіолокаційного пошуку і супроводження, систем безпеки, автоматичної радіолокаційної прокладки курсу судна і т.ін.

Для високоякісного формування складу цих пристроїв необхідно приділяти вагомий підхід до підбору елементів живлення таких пристроїв, серед яких не останнє значення мають високочастотні магнітом'які матеріали, які використовуються у відповідних перетворювачах електромагнітних сигналів суднової електростанції. Магнітом'які матеріали повинні мати малу коерцитивну силу (що знижує втрати на гістерезис), велике значення магнітної проникності (що збільшує К.П.Д. трансформатора), велике значення індукції насичення (що дозволяє зменшити габаритні розміри та масу магнітної системи), підвищений питомий опір (що зменшує втрати на вихровий струм). Крім того, вони повинні мати стабільні властивості як у часі, так і по відношенню температури та механічних напруг [1].

На основі зазначеного здається своєчасним на стадії комплектування таких пристроїв звертати увагу на рівень цих параметрів. Для своєчасного їх контролю і відбору судновому електромеханіку можна рекомендувати надійний і нескладний засіб контролю і тестування таких важливих параметрів, як питомий опір, статична і динамічна магнітна проникність, втрати на вихровий струм, післядію, гістерезис.

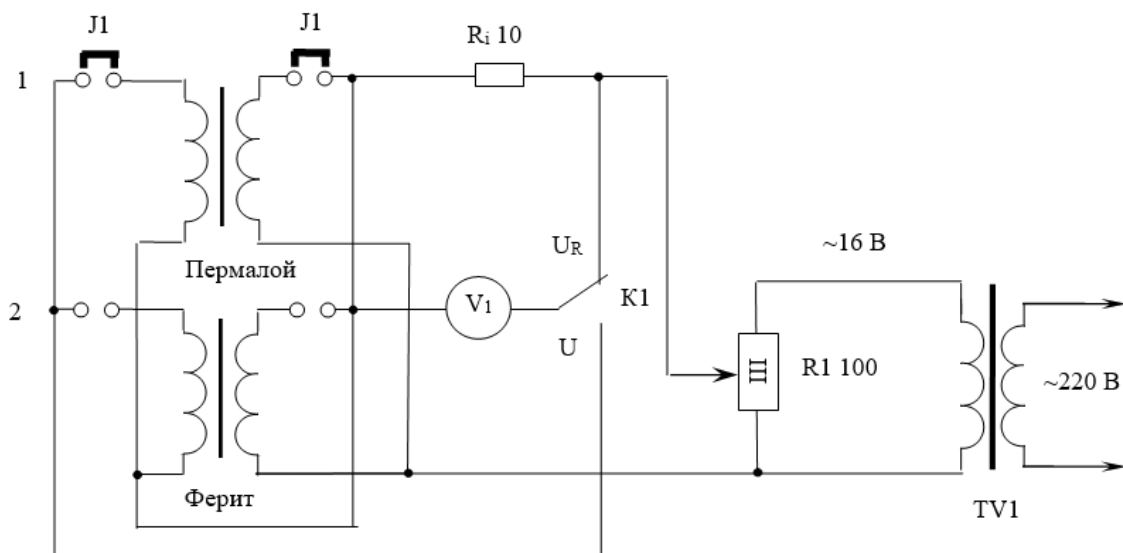


Рисунок 1 – Схема для дослідження властивостей магнітомягких матеріалів

В роботі пропонується проста і надійна схема (див. рис.) для дослідження і тестування цих параметрів на базі вимірювання магнітної індукції при різних значеннях напруженості електромагнітного поля. На базі такого тестування стає можливим обрати згідно умовам експлуатації найбільш відповідний тип магнітомягкого матеріалу. Наприклад для феритів їх умовно ділять на 11 груп [1]. Для магнітодіелектриків (конгломерат із подрібненого феромагнетиту) наприклад, часова зміна початкової магнітної проникності не перевищує (0,2...2) % у рік [2].

Таким чином, в роботі пропонується досить оперативний метод дослідження, тестування і відбору найбільш надійних компонентів для перетворювачів електромагнітних сигналів в схемах живлення відповідних спец приладів суднової радіоелектроніки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Завадський В.А., Матеріали електронної техніки: навчальний посібник /Дранчук С.М.. – Одеса: ОНМА, 2005. -144 с.
2. Вікулін І.М. Електротехнічні матеріали для суднової електроніки: навчальний посібник /Вікулін І.М., Завадський В.А., Михайлов С.А. - Одеса, 2020. - 251 с.

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ВИВЧЕННІ ОКРЕМИХ РОЗДІЛІВ ФІЗИКИ

О.І. Велика, старший викладач

В.М. Полосіна, старший викладач

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. Розглянуто питання покращення підготовки курсантів цивільних та військових навчальних закладів за дисципліною «фізика». Рекомендації базуються на включенні в зміст лабораторних робіт широкого комплексу понять з різноманітних тем, котрі були заздалегідь викладені курсантам на лекціях та практичних заняттях. Це дозволяє створити цілісну систему понять та уникнути труднощів з розумінням загальних принципів розглянутої теми. Як наслідок поліпшується здатність курсантів до розуміння схемної реалізації вихідних задач.

Ключові слова: фізика, газорозрядна лампа, газовий розряд, релаксаційні коливання

METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL RESEARCH IN THE STUDY OF CERTAIN SECTIONS OF PHYSICS

O.I. Velyka, Senior Lecturer

V.M. Polosina, Senior Lecturer

National University «Odesa maritime academy»

Abstract: Abstract. The issue of improving the training of cadets of civilian and military educational institutions in the discipline "physics" was considered. The recommendations are based on the inclusion in the content of laboratory work of a wide range of concepts from various topics, which were previously explained to the cadets in lectures and practical classes. This allows you to create a coherent system of concepts and avoid difficulties in understanding the general principles of the topic under consideration. As a result, the cadets' ability to understand the schematic implementation of the initial tasks improves.

Key words: physics, gas discharge lamp, gas discharge, relaxation oscillations

Важко переоцінити роль фізики в навчанні курсантів цивільного та військового напрямків, незважаючи на те, що вона не є їхнім профільюючим предметом. Фізика стає основою багатьох інших спеціальностей, навчає застосовувати здобуті знання на практиці з такими традиційними напрямками, як механіка, електротехніка, навігація, радіоелектроніка, обчислювальна техніка тощо.

Аби підвищити рівень підготовки курсантів до подальшої практичної діяльності, треба чітко визначити зміст і об'єм завдань і лабораторних робіт, які найбільше підходять для засвоєння конкретних питань. Важливу роль відіграє встановлення ефективних зв'язків при вивченні даної теми з попередніми. Вміння читати та пояснювати роботу елементарних схем в деяких лабораторних роботах базується на знанні основних фізичних принципів та процесів, які були засвоєні при вивченні попереднього курсу. Вірне трактування графіків та змін в них в залежності від змін параметрів схеми, що досліджується, досягається при свідомому засвоєнні знань, умінь та навичок курсантом. При виконанні практичних та лабораторних робіт важливим фактором є математичний апарат для обробки виразів що описують процеси в схемі.

Даним вимогам до лабораторних робіт відповідає робота «Релаксаційні електричні коливання». Теоретична частина роботи починається з нагадування

елементарних знань з теорії електричного струму, а саме: сила струму, потенціал, різниця потенціалів, електрорушійна сила, напруга. Також доцільно нагадати одиниці вимірювання вищезазначених величин. В початковому розділі теоретичної частини згадується закон Ома, поняття електроємності, терміни резистор та конденсатор.

В наступному розділі теоретичної частини курсантам нагадують про такі процеси, як коливання, періодичні коливання, гармонічні коливання. Увага акцентується на тому, що всі вищезазначені види коливань виникають в лінійних системах. На противагу вводять поняття релаксаційних коливань, котрі виникають у нелінійних системах. Також згадується термін «дисипативні сили» для механічних і електричних систем та його зміст.

Надалі в лабораторній роботі наведено декілька різних за формою графіків релаксаційних коливань (рис. 1).

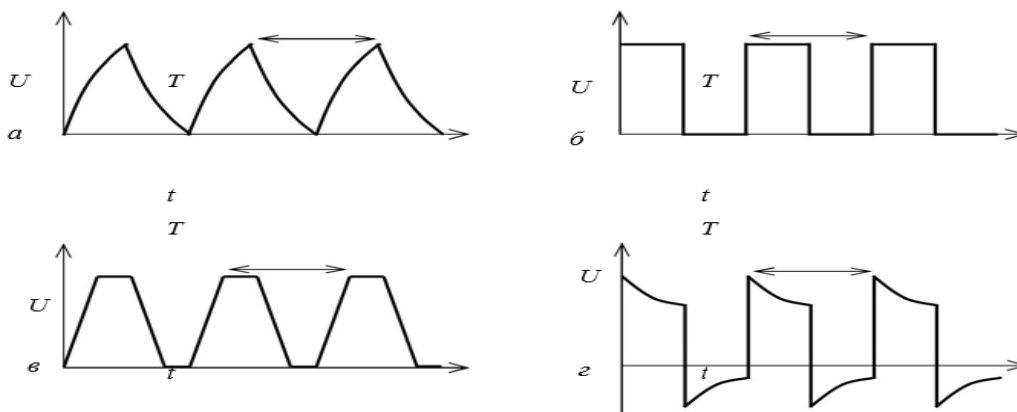


Рисунок 1

В даній роботі увага приділяється дослідженню електричних і релаксаційних коливань пилоподібної форми. Їх можна отримати за допомогою RC-генератора релаксаційних коливань.

Наступний розділ розглядає умови виникнення, особливості та властивості струму в газах. Вводиться поняття іонізації газу, робота іонізації, потенціал іонізації, ударна іонізація ступінь іонізації, рівняння Саха, концентрація іонів, газовий розряд, явище електронної емісії, іонізатор.

Наведена схема установки (рис. 2) для дослідження залежності сили струму I при газовому розряді від напруги U між електродами неонові лампи.

Графік (мал. 3) відображає означену залежність і допомагає разом з вивченою теорією зрозуміти суть процесів, що відбуваються при прикладанні напруги.

Пояснюються терміни напруга запалювання та напруга гасіння і те, чому опір неонові лампи різко зростає або спадає; тобто наголошується на нелінійній залежності опору від прикладеної напруги в даній системі (рис. 4).

Відповідно, наголошується на можливості створення за допомогою такої лампи релаксаційних коливань. Надалі в лабораторній роботі наведена схема RC-генератора релаксаційних коливань (рис. 5). Розглядається принцип його

роботи: проходження змінного електроструму через резистор R і струму зміщення через конденсатор C , тобто по певному контуруві.

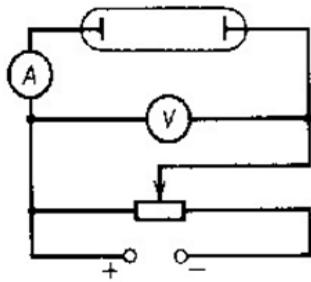


Рисунок 2

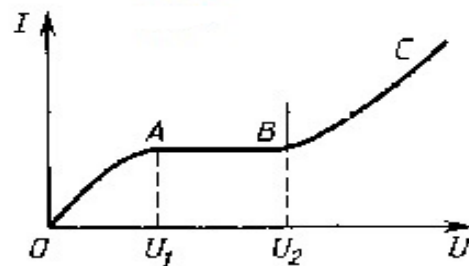


Рисунок 3

Це призводить до зарядки конденсатора, збільшення напруги на ньому та у результаті до загоряння лампи. Загоряння лампи - це результат проходження електричного струму вже по іншому контуру. У цьому випадку заряд на конденсаторі спадає, напруга теж зменшується і лампа згасає.

Необхідно звернути увагу курсантів на різні шляхи проходження струму до загоряння лампи та після нього та причини цієї різниці. Треба порівняти опори в першому і другому випадках. Це дасть розуміння, чому час зарядки і розрядки конденсатора сильно відрізняються один від одного. Час зарядки набагато більше, аніж час розрядки; як наслідок, напруга на конденсаторі буде змінюватися за пилоподібним законом (рис. 6). Це і зумовить утворення релаксаційних коливань.

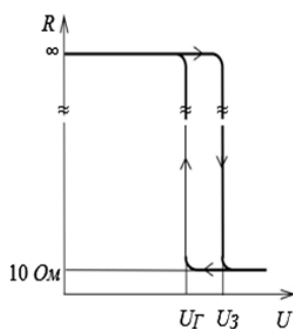


Рисунок 4

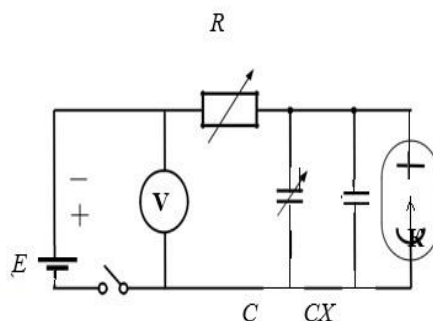


Рисунок 5

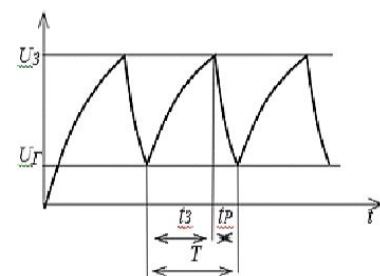


Рисунок 6

Розуміння якісних процесів, що відбуваються в даному випадку, базується на великому об'ємі теоретичних знань і понять, воно формує цілісний підхід курсантів до поставленої задачі. Вважаю, що фізичний навчальний експеримент не можна розглядати як щось стале, раз і назавжди встановлене, незважаючи на порівняно високу досконалість та розробленість.

Після опанування якісних процесів настає черга використання математичного апарату для знаходження періоду релаксаційних коливань при цьому з невеликою похибкою можна вважати що період коливань $T = t$ зарядки конденсатора. При зарядці конденсатора неонові лампи струм не проводять, тому для контура можна застосувати друге правило Кірхгофа. Спади напруги в даному

випадку будуть на резисторах R і конденсаторі C . В контурі стоїть тільки одна $\mathcal{E}$ живлення.

Виведемо вираз для t_3 , для чого розглянемо процес зарядки конденсатора C через опір R (рис.6). Можна застосовати для контуру R -1-2- $\mathcal{E}$ друге правило Кірхгофа. Правила Кірхгофа дають змогу розраховувати струми в складних електричних колах з відомими опорами та ЕРС.

Друге правило Кірхгофа звучить так: *Алгебраїчна сума спадів напруги в замкненому контурі дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, включених у цей контур:*

$$\sum \pm I_k R_k = \sum \pm E_n.$$

Отримаємо: $IR + U_C = E$, (1)

де I – миттєве значення сили струму;

U_C - миттєве значення напруги на конденсаторі

Оскільки миттєве значення заряду конденсатора дорівнює $Q = CU_C$, то струм через конденсатор, який дорівнює швидкості зміни заряду на його обкладках буде

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{d(C \cdot U_C)}{dt} = C \frac{dU_C}{dt} \quad (2)$$

Підставивши цей вираз для струму у формулу (1), отримаємо диференціальне рівняння релаксаційних коливань напруги на конденсаторі:

$$\frac{dU_C}{dt} + \frac{1}{RC} U_C - \frac{\mathcal{E}}{RC} = 0 \quad (3)$$

Воно являє собою неоднорідне диференціальне рівняння першого порядку зі сталими коефіцієнтами відносно U_C .

Після його розв'язання отримаємо формулу, що відображає співвідношення між параметрами схеми та періодом коливань, що в ній виникають:

$$\frac{dU_C}{dt} = \frac{1}{RC} (\mathcal{E} - U_C) \quad (4)$$

Звідси знаходимо період коливань у RC - генераторі:

$$\ln \frac{\mathcal{E} - U_3}{\mathcal{E} - U_r} = - \frac{1}{RC} T \quad (4)$$

$$T = RC \ln \frac{\mathcal{E} - U_3}{\mathcal{E} - U_r} \quad (5)$$

Після математичних перетворень отримаємо диференціальне рівняння першого порядку для релаксаційних коливань напруги на конденсаторі. Розв'язавши це рівняння методом підстановки, отримуємо формулу, що відображає період коливань у RC -генераторі:

$$T = RC \ln \frac{\mathcal{E} - U_3}{\mathcal{E} - U_r}$$

де: R - опір резистора,

C - ємність конденсатора,

$\mathcal{E}$ - едс джерела струму,

U_3 - напруга запалювання,

U_r - напруга гасіння.

Якщо проаналізувати кінцеву математичну формулу, то можна побачити, що період коливальності зростає при зростанні C та R :

Якісно- збільшується час зарядки конденсатора. Період коливальності зростає при зростанні опору.

Якісно- при великих опорах струму буде малим і зарядка конденсатора буде повільнішою.

Вміння не лише вивчити, але й зрозуміти сутність процесів, що відбуваються, вважаю за один із найважливіших наслідків виконання лабораторних робіт взагалі.

Наголошую : Немає сенсу вимагати від деяких курсантів використання математичного апарату. Для них може бути достатнім опанування якісною частиною лабораторної роботи і вміння пояснити кінцеву формулу. Після проведення вимірювань будується графік залежності T від C . При цьому необхідно контролювати правильний вибір масштабу на вісях графіку.

Дану роботу можна урізноманітнити, якщо до схеми додати ще один конденсатор C_x , що є підключеним паралельно першому. Це дасть можливість побудувати ще один графік в тій же системі координат і знайти величину невідомої ємності C_x (мал. 5), використовуючи формулу паралельного з'єднання конденсаторів.

Отже лабораторна робота релаксаційні електричні коливальності об'єднує в собі широкий спектр понять і питань. Спираючись на цю роботу, у викладача є можливість достатньо реально оцінити загальний рівень підготовки курсанта по різноманітним темам і його здатність аналізувати, систематизувати отримані знання. З іншого боку, дана робота має велике значення для розуміння курсантом сучасної фізичної картини деяких процесів, ролі експерименту та його зв'язку з теорією. Тому я вважаю, що виконання даної роботи в курсі лабораторних робіт є дуже важливим і дозволяє комплексно підходити до підготовки студентів і можна наполегливо радити до виконання цю роботу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Михайленко В.І., Короткий курс фізики, – Одеса: ОНМА, 2017, –166.
2. Птащенко Ф.О. Фізика в запитаннях і відповідях. – ОНМА: ч.1 та 2, 2008-2010.
3. Михайленко В.І., Калініченко Л.Ф., Кузнєцова Г.О., Збірник завдань для підготовки та проведення АКР для курсантів заочної форми навчання (1 курс), – Одеса: ОНМА, 2018, –90.

Інформаційні ресурси в інтернеті:

1. – відео лекції шкільного курсу фізики Віктора Павла Андрійовича <https://ms.detector.media/media-i-diti/post/21252/2018-06-01-odeskyy-vchytel-fizyky-znimaie-svoi-uroky-na-video-u-yogo-youtube-kanalu-vzhe-67-tysyach-pidpysnykiv/>
2. Братусь Т.І., Строкач М.С. Загальна фізика. Навчальний посібник, КПІ ім. І.Сікорського, К.:2022.- 130 с.
https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48705/1/Zahalna_fizyka

УДК 621.181 – 629.5(045)

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ СУДНОВИМ ДОПОМІЖНИМ КОТЛОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛК МОДУЛЬНОГО ТИПУ

А.О. Дранкова, к.т.н., доцент

В.О. Артюх, магістр

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: розглянуто судновий допоміжний котел та його система управління. Запропоновано впровадження ПЛК модульного типу у систему управління котлом для модернізації схемних рішень та вдосконалення режимів роботи системи управління.

Ключові слова: судновий допоміжний котел, програмовані логічні контролери, режими роботи, система управління.

SHIP'S AUXILIARY BOILER CONTROL SYSTEM USING MODULAR PLC

Alla Drankova, ass. Professor

Vladyslav Artiukh, master

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: the ship's auxiliary boiler and its control system are considered. It is proposed to introduce a modular PLC into the boiler control system to modernize circuit solutions and improve the control system's operating modes.

Keywords: ship's auxiliary boiler, programmable logic controllers, operating modes, control system.

Модернізація системи управління суднового допоміжного котла за допомогою модульного ПЛК (програмованого логічного контролера) передбачає такі зміни у системі управління, як отримання вищого рівня автоматизації та більшої гнучкості самої системи управління, а також підвищення ефективності роботи котла. На сьогодні ПЛК широко використовуються у промисловій та судновій автоматизації, включаючи управління котлами в різних сферах застосування [1, 2, 3, 4].

Для модернізації системи управління котлом необхідно рішення наступних технічних задач:

1. Аналіз конфігурації системи управління, а саме розробка детального опису проекту системи управління. Це передбачає створення схеми, яка ілюструє з'єднання між ПЛК, датчиками, виконавчими механізмами та компонентами системи управління котлом. Підбір необхідного типу ПЛК та його системи живлення.

2. Аналіз фізичних параметрів, які необхідно контролювати у системі управління котлом. Підбір та інтеграція датчиків для вимірювання відповідних параметрів, таких як температура води, тиск пару, рівень води та витрата палива.

3. Аналіз та підбір компонентів привода. Схемна реалізація підключення компонентів привода до ПЛК, таких як клапани, насоси та двигуни. ПЛК вико-

ристовує зворотний зв'язок від датчиків для регулювання цими компонентами та підтримки необхідних за технічними умовами режимів роботи.

4. Аналіз та впровадження заходів безпеки у систему управління котлом. Це повинні бути технічні і обов'язково програмні заходи, такі як сигналізація безпечної (штатної) роботи системи управління котлом, сигналізація аварійного відключення котла, виявлення та індикація несправностей, як системи управління в цілому, так і її компонентів.

5. Розробка та впровадження людино-машинного інтерфейсу (НМІ). НМІ для моніторингу та керування судновим котлом повинен забезпечувати зручний та зрозумілий інтерфейс для всього технічного персоналу. НМІ демонструє зміну параметрів та режимів у системі управління котлом, забезпечує перегляд параметрів системи та відображає аварійні режими.

Загальний вигляд панелі управління судновим котлом та пояснення позначень на ній наведено на рис.1 та рис.2.

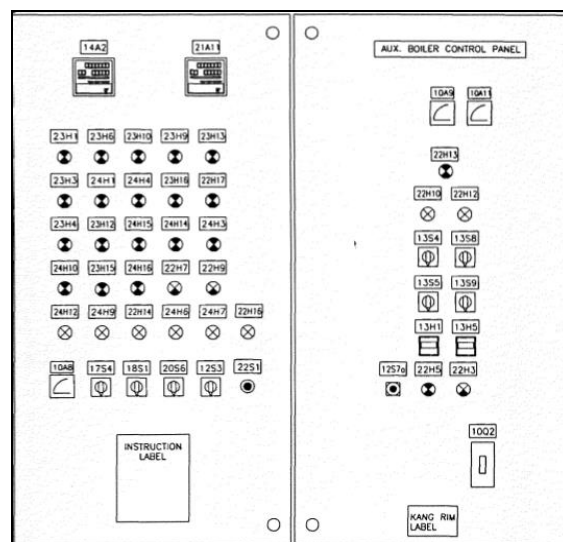


Рисунок 1 – Загальний вигляд панелі управління допоміжним котлом

POS	TEXT TO BE ENGRAVED	TYPE/COLOR	POS	TEXT TO BE ENGRAVED	TYPE/COLOR
1002	MAIN POWER SUPPLY	OFF - ON	1004	PREHEATER	MAX. 40A
			1005	BOOSTER PUMP MOTOR	MAX. 6.3A
1253	CONTROL VOLTAGE	OFF/ON/RESET	1006	BURNER MOTOR	MAX. 32A
1257a	EMERGENCY STOP	PUSH BUTTON - LOCKABLE	1008	OIL TRANSFER PUMP 1	MAX. 1.6A
2251	LAMP TEST	PUSH BUTTON	10010	OIL TRANSFER PUMP 2	MAX. 1.6A
			10013	PILOT VOLTAGE	MAX. 4A
1354	OIL TRANSFER PUMP 1	ST-BY.O.DUTY	10014	TRANSFORMER	MAX. 10A
1355	OIL TRANSFER PUMP 1	START/STOP	10015	CONTROL VOLTAGE	MAX. 6A
1358	OIL TRANSFER PUMP 2	ST-BY.O.DUTY	14A2	WATER LEVEL CONTROLLER	
1359	OIL TRANSFER PUMP 2	START/STOP	21A11	BURNER LOAD CONTROLLER	
1754	BURNER	OFF - ON	24H14	HIGH SALINITY IN FEED WATER	RED
1851	BURNER OPERATION MODE	AUTO/OFF/MANUAL	24H15	HIGH OIL CONTENT IN FEED WATER	RED
2056	BURNER MODULATION MODE	AUTO/OFF/MANUAL			
22H3	SOURCE	WHITE	10A8	AM METER FOR BURNER MOTOR	
22H5	EMERGENCY STOP	WHITE	10A9	AM METER FOR OIL TRANSFER PUMP1	
22H7	DIESEL OIL OPERATION	WHITE	10A11	AM METER FOR OIL TRANSFER PUMP2	
22H9	HEAVY FUEL OIL OPERATION	WHITE	13H1	HOUR METER FOR OIL TRANSFER PUMP1	
22H10	OIL TRANSFER PUMP 1 ON	WHITE	13H5	HOUR METER FOR OIL TRANSFER PUMP2	
22H12	OIL TRANSFER PUMP 2 ON	GREEN			
22H13	AUTO ST-BY OIL TRANSFER PUMP STARTED	GREEN			
22H14	PREHEATER ON	RED			
22H16	BOOSTER PUMP ON	GREEN			
22H17	OVERLOAD BOOSTER PUMP	GREEN			
23H1	HIGH WATER LEVEL	RED			
23H3	LOW WATER LEVEL	RED			
23H4	TOO LOW WATER LEVEL	RED			
23H8	HIGH STEAM PRESSURE	RED			
23H9	LOW OIL PRESSURE ON BURNER	RED			
23H10	LOW OIL PRESSURE IN F.O. LINE	RED			
23H12	QUICK CLOSING VALVES CLOSED	RED			
23H13	HIGH OIL PRESSURE IN BURNER RETURN LINE	RED			
23H15	BURNER SWING OUT	RED			
23H16	BURNER MOTOR OVERLOAD	RED			
24H1	HIGH OIL TEMPERATURE	RED			
24H3	LOW COMB. AIR PRESSURE	GREEN			
24H4	LOW OIL TEMPERATURE	RED			
24H6	AUTOMATIC OPERATION	GREEN			
24H7	MANUAL OPERATION	GREEN			
24H9	SAFETY INTERLOCKS OK	GREEN			
24H10	FLAME FAILURE	RED			
24H12	BURNER MOTOR ON	GREEN			
24H16	UPTAKE TEMP. HIGH-HIGH	RED			

Рисунок 2 – Пояснення позначень на панелі управління допоміжним котлом

На рис.3 представлена силова електрична схема системи управління допоміжним котлом, яка живиться 3-и фазною напругою 440 В, 60 Гц та включає наступні компоненти: Preheater (потужністю 25кВт); Booster pump motor (потужністю 1,9 кВт); Burner motor (потужністю 15 кВт); Oil transfer pump 1 and 2 (потужністю 0,65 кВт кожен).

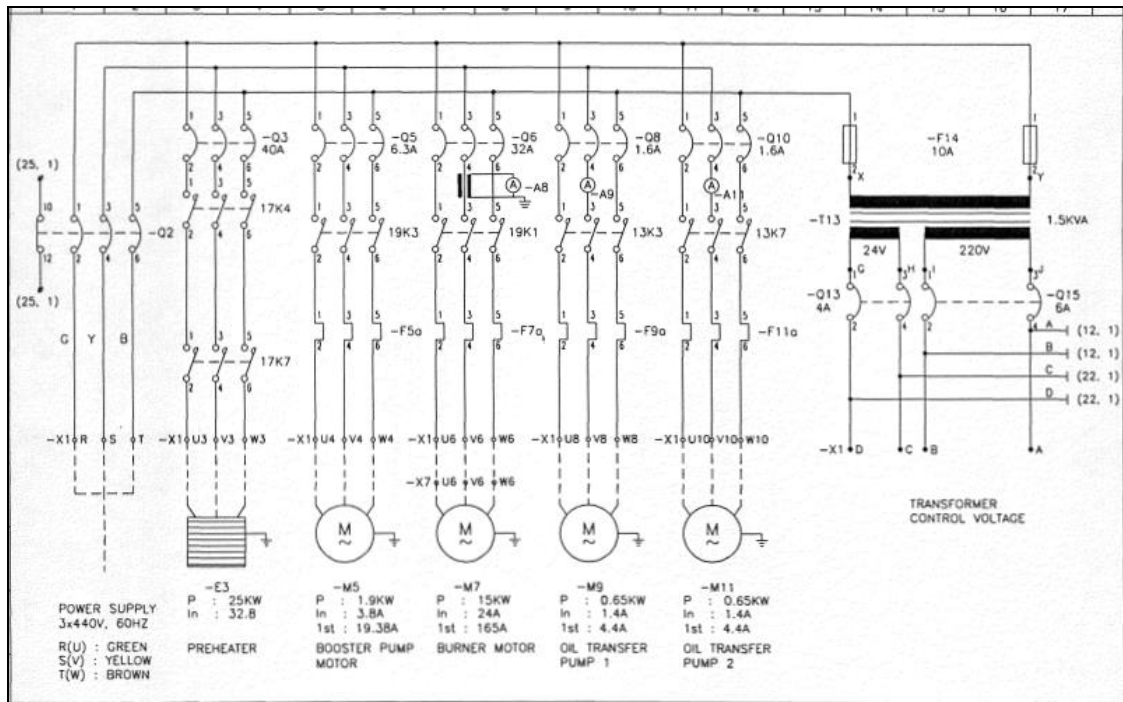


Рисунок 3 – Силовая электрическая схема системы управления котлом

Відповідно до конкретних вимог до функцій системи управління допоміжним котлом та його технічної експлуатації основними режимами роботи системи управління є наступні режими [5]:

1. Режим запуску. У цьому режимі ПЛК керує послідовністю запуску допоміжного котла. ПЛК в автоматичному режимі забезпечує виконання всіх перевірок безпеки, контролює подачу палива в правильному співвідношенні та ініціювання запалювання. Режим запуску включає процедуру попереднього нагріву, щоб привести температуру котла до бажаної робочої температури.

2. Нормальний режим роботи. Цей режим є стандартним режимом роботи, коли котел працює на проектну потужність. ПЛК регулює такі параметри, як тиск пару, рівень води та ефективність згоряння палива. ПЛК постійно регулює подачу палива та повітря для підтримки оптимальних умов роботи котла та забезпечує роботу котла відповідно до норм технічної експлуатації.

3. Режим модуляції навантаження. Цей режим передбачає регулювання потужності котла відповідно до змінної потреби в парі або гарячій воді. ПЛК контролює умови навантаження та регулює паливник, кількість палива та подачу повітря відповідно до зміни навантаження. Цей режим допомагає оптимізувати паливну ефективність і забезпечує динамічну реакцію котла на коливання навантаження.

4. Режим зупинки. В цьому режимі ПЛК контролює послідовність дій задля безпечної зупинки допоміжного котла, а саме процеси припинення подачі палива, гасіння полум'я запальника та захисту усіх систем безпеки. Послідовність дій для зупинки котла є критичним для запобігання будь-яким небезпечним умовам під час простою допоміжного котла.

5. Режим аварійного вимкнення. У разі аварійної ситуації або критичної несправності ПЛК активує послідовність дій для аварійного відключення допоміжного котла. Це передбачає негайне припинення подачі палива та повітря, а також інші заходи безпеки задля захисту котла та запобігання будь-яким небезпечним ситуаціям.

На рис.4 наведено блок-діаграму базових функцій ПЛК. Модульний характер ПЛК забезпечує гнучкість у програмуванні та адаптації системи управління допоміжним котлом відповідно до різних режимів роботи [5].

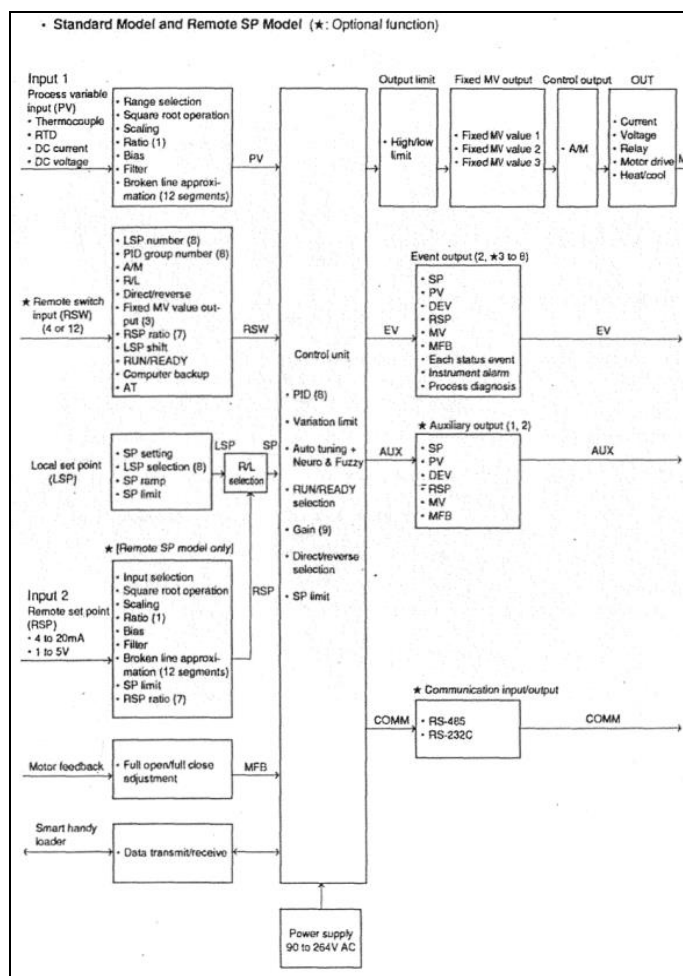


Рисунок 4 – Блок-діаграма базових функцій ПЛК експлуатації, безпеки та ефективності.

Висновок. Реалізація системи управління допоміжним котлом за допомогою модульного програмованого логічного контролера забезпечує численні переваги з точки зору гнучкості, налаштування та ефективного управління об'єктом керування. Використання спеціального програмного конфігуратора для реалізації схемного рішення модульної системи ПЛК дозволяє уникнути багатьох помилок на етапі проектування. А перепрограмування ПЛК дає можливість змінювати та удосконалювати роботу системи управління допоміжним котлом у процесі експлуатації.

Таким чином, можливо стверджувати, що використання ПЛК модульного типу у системі управління допоміжним котлом забезпечить надійне та адаптоване рішення, яке враховує питання технічної

ЛІТЕРАТУРА

1. А.О. Дранкова, Н.И. Муха, А.И. Шестака. Лаборатория микроконтроллерного управления и моделирования электромеханических систем// Электротехнические и компьютерные системы. Тематический выпуск: Проблемы автоматизированного электропривода. Научно-технический журнал, №15(91), Издательство «Техника» – Киев. – 2014. – С. 435 - 440.

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 Krasovskiy / 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. INSTRUCTION MANUAL FOR Aux. Boiler & RMS60/2A-ZMD

УДК 656.6

ОСОБЛИВОСТІ ПРАКТИЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОХОЛОДЖЕННЯМ СУДОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

О.В. Рябцов, к.т.н., доцент
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:** Статтю присвячено окремим аспектам практичної експлуатації мікропроцесорних систем управління охолодженням суднових енергетичних установок.*

***Ключові слова:** Технічна експлуатація суднового електрообладнання, суднові системи охолодження, суднові енергетичні установки.*

FEATURES OF THE PRACTICAL OPERATION OF THE MICROPROCESSOR CONTROL OF SHIP'S POWER PLANT COOLING SYSTEM

O. Ryabtsov, Ph.D., associate profesor
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:** The article is devoted to certain aspects of the practical operation of cooling systems of ship's power plants under control of PLC based system.*

***Keywords:** Technical operation of ship electrical equipment, ship cooling systems, ship power plants.*

Чим більш складні завдання ставляться перед сучасними судами, тим складнішими стають суднові системи управління. Незважаючи на те, що більшість робочих операцій з експлуатації судна вже автоматизовано, такі операції все ще вимагають від екіпажу глибоких знань та великого досвіду. У зв'язку з цим детальне вивчення специфіки практичної експлуатації суднових механізмів та систем було і залишається одним із актуальних завдань для екіпажу будь-якого судна.

Як приклад розглянемо особливості роботи системи охолодження головного двигуна судна та налаштування мікроконтролера у регуляторі температури.

На більшості суден торгового флоту основним режимом роботи головного двигуна є тривалий ходовий режим з фіксованими оборотами і практично незмінним навантаженням, таке завдання вирішується за допомогою автономних

двоконтурних рідинних систем охолодження на основі термостатичних клапанів. Однак в умовах, коли режим роботи головного двигуна не можна вважати постійним, а навантаження на валу може змінюватись у широких межах, доводиться використовувати складніші системи регулювання температури. Розглянемо процес управління охолодженням головного двигуна на суднах типу ANTS (Anchor Handling Tug Supply Vessels), де упор гвинта судна, і, відповідно, навантаження на головні двигуни, у момент підриву якорів може змінюватись від нуля до кількох сотень тон за лічені секунди. У таких випадках інерційність звичайних механічних термостатів не в змозі забезпечити надійне охолодження двигуна та необхідні ефективніші технічні рішення. На сучасних суднах використовуються мікропроцесорні системи управління, що реалізують принцип ПД-регулювання. Однак навіть такі швидкодіючі системи, що працюють за програмами з постійними коефіцієнтами регулювання, не можуть забезпечити утримання температури в заданих межах. У разі іноді доводиться вручну підбирати оптимальні коефіцієнти ПД-регулятора під час переходу з одного експлуатаційного режиму роботи судна в інший.

Розглянемо роботу регулятора температури в системі охолодження головного двигуна судна проекту UT745 на основі мікроконтролера CHINO DB1060 та особливості його налаштування.

Як регулюючий клапан у системі охолодження використовуються керовані електропневматичні клапани моделі 3730 виробництва компанії «Samson» з I/P-позиціонерами «Тип 2» з РК-дисплеєм (для програмування позиціонера та індикації ступеня відкриття клапана).



Рисункок 1 - Електропневматичний клапан «Samson» модель 3730, з поворотним приводом (стандарт VDI/VDE 3845)



Рисункок 2 – Позиціонер Тип 2

Для керування положенням заслінки клапана використано I/P конвертори, інакше звані «позиціонерами».

У процесі регулювання позиціонер порівнює керуючий сигнал, отриманий від контролера (4-20мА), з кутом повороту заслінки клапана, а в якості вихідної змінної видає пневматичний керуючий сигнал у вигляді тиску, що впливає на клапан і повертає заслінку на необхідний кут.

Перед початком експлуатації позиціонер необхідно сконфігурувати за допомогою програми TROVIS-VIEW. Для цієї мети позиціонер обладнаний дода-

тковим цифровим послідовним інтерфейсом, що дозволяє підключати його до комп'ютера за узгоджувальним кабелем з роз'ємами RS-232 або USB.

Програма TROVIS-VIEW дозволяє користувачеві задавати вихідні параметри позиціонера та контролювати параметри процесів в оперативному режимі. Перед початком роботи слід здійснити тестування початку часткового робочого ходу позиціонера (PST). Перевірка виконується відповідно до кодів діагностики клапана з 49-d2 по 49-d9 (див. процедуру налаштування EXPERTplus в EB 8389).

Для обробки вхідних сигналів від датчика температури системи охолодження та завдання струмового сигналу керування позиціонером електропневмоклапану використовується мікроконтролер CHINO моделі DZ1030. На рис.6 при ведений зовнішній вигляд передньої панелі.



Рисунок 3 - Зовнішній вигляд панелі мікроконтролера з індикаторами та органами управління/програмування:

SV (Set Value) - уставка регулювання (значення температури, яке має підтримуватися в системі), PV (Process Value) - виміряна температура, SEL - вибір режиму/значення змінної, OUT - вихідна команда керування клапаном, EV1 - вихід A1, EV2 - вихід A2, PARA 1 – набір параметрів. 1, PARA 2 – набір параметрів. 2.

При програмуванні мікроконтролера необхідно задати вихідні параметри контрольованої системи за допомогою програмного пакета.

Вихідне налаштування ПІД-регулятора та його переналаштування в оперативному режимі може також виконуватися за допомогою кнопок на передній панелі контролера. Для цього підбираються вручну необхідні коефіцієнти P, I та D. P задає діапазон посилення, тобто піднімає вихідний сигнал (4-20 мА) до рівня, необхідного для досягнення змінної процесу PV (виміряної температури) заданому значенню SV. Збільшення значення P забезпечує кращу реакцію клапана за тієї ж різниці між PV і SV. Час інтеграції (параметр I) інтегрує різницю між SV та PV. Параметр D задає швидкість зміни реакції клапана. Правильний вибір параметрів P, I та D особливо важливо у системі НТ, де відбуваються дуже різкі зміни температури.

Коефіцієнти ПД-регулятора в контролері налаштовані методом Циглера-Нікольса, що цілком влаштовує при ходовому режимі судна. Додатково в контролері DB-1060 використано функцію автоналаштування параметрів. Однак при регулюванні швидкозмінного стану охолодження ГД в режимі підриву якорів вбудований алгоритм контролера не встигав відпрацьовувати вхідні параметри. При пікових значеннях навантаження на головний двигун доводилося в ручному режимі збільшувати посилення та зменшувати часові коефіцієнти. Однак при цьому практично відразу виникало перерегулювання, виникала нестійкість системи, і процес підбору параметрів регулятора доводилося починати знову. Крім незручності ручної експлуатації виникала проблема, пов'язана із зносом та зменшенням терміном служби обладнання.

Опускаючи тривалий процес перебору різних методів налаштування ПД-регулятора, відзначимо, що проблема була вирішена заміною початкової моделі контролера на контролер CHINO DZ2000, де використано покращений алгоритм Z-контролю, що відрізняється оптимальним налаштуванням для швидкопротікаючих процесів рис.3).

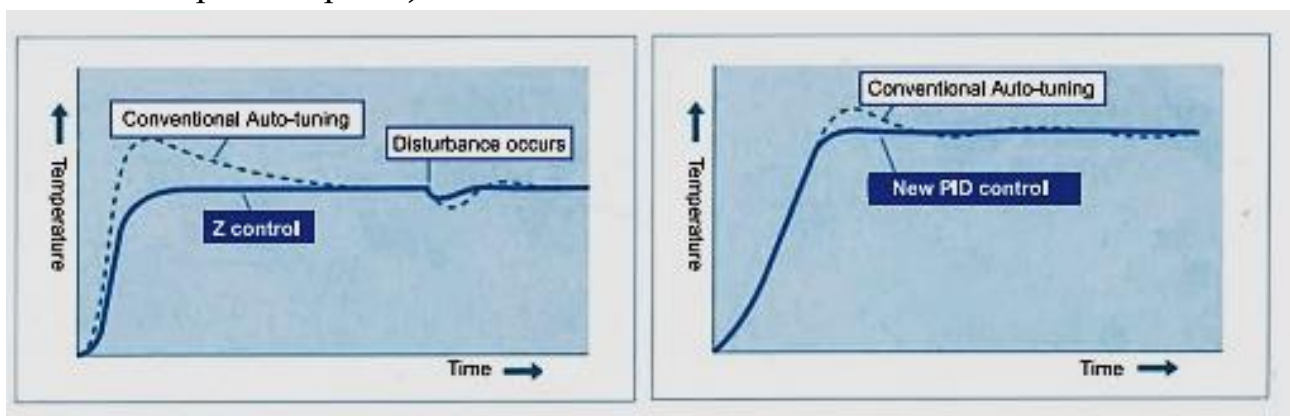


Рисунок 3 – Процес регулювання при Z- алгоритмі

ЛІТЕРАТУРА

1. CHINO DZ Series. Digital indicating controller. Performance Specification/CHINO Corporation (Japan). Джерело – <http://www.chino.com.jp>

Секція 2. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

УДК.629

ОГЛЯД МЕТОДІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДЕН

В.С. Михайленко, д.т.н., професор

В.В. Лещенко, ст. викладач

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Приведено огляд основних методів та технологій щодо підвищення енергоефективності експлуатації суден. Огляд доповнено низкою пропозицій щодо підвищення означеної енергоефективності.

Ключові слова: Енергетична ефективність, оптимізація, вітрові установки

OVERVIEW OF METHODS AND TECHNOLOGIES FOR INCREASE IN THE ENERGY EFFICIENCY OF VESSEL OPERATION

V. Mykhailenko, Dr. of Science, Professor

V. Leshchenko, Senior Teacher

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: An overview of the main methods and technologies for increasing the energy efficiency of ship operation is given. The review is supplemented by a number of proposals for increasing the specified energy efficiency.

Keywords: Energy efficiency, optimization, wind turbines

Відомо, що Додаток VI, Глава 4 МАРПОЛ встановлює вимоги щодо енергетичної ефективності суден з метою обов'язкової розробки та впровадження плану управління енергетичною ефективністю судна (Ship Energy Efficiency Management Plan) для існуючих судів [1]. Особливістю плану є збір даних для обліку річного коефіцієнта викидів вуглецю, а також розроблення процедур зниження показників забруднення атмосфери. Значна низка судовласників розробила значну кількість шляхів підвищення енергетичної ефективності експлуатації суден та, пов'язані з цим, зниження шкідливих викидів в атмосферу. Нижче (табл.1) приведено основні методи та запропоновані авторами шляхи їх поліпшення [2]

Можна також зазначити, що впровадження вітрильних технологій може призвести до суттєвої економії палива та, як наслідок, зниження шкідливих викидів. Так, за існуючими даними, експериментальне судно оснастять вісьмома щоглами з жорсткими асиметричними вітрилами, робота яких повністю автоматизована і підпорядкована бортовому комп'ютеру. Вітрила автоматично розгортатимуться під оптимальним кутом, здатним забезпечити максимальну швидкість судна 10-12 вузлів. Також на контейнеровозі встановлять пару стандартних дизельних двигунів з системою рекуперації тепла для економії палива. Кла-

сифікаційні суспільства вказують, що запропоновану розробником технологію автоматизованих жорстких вітрил можна успішно застосовувати і на контейнеровозах більшої місткості [3].

Таблиця 1 – Методи та шляхи реалізації енергоефективних технологій на суднах

Методи	Шляхи поліпшення
Покращення планування рейсу	Планування рейсу за допомогою технологій інтелектуального аналізу великих даних (Data Mining). Використання нейромережових алгоритмів оптимізації маршруту судна з урахуванням обмежень на погодні умови і час доставки вантажів.
Оптимізація швидкості	Впровадження методів оптимізації швидкості судна з урахуванням обмежень щодо витрати палива та показників шкідливих викидів.
Оптимальне використання керма і систем управління (автопілотів)	Скорочення пройденого шляху за допомогою мінімізації корегування курсу методами інтелектуального аналізу даних
Покриття корпусу (Hull coating)	Використання покращених систем покриття корпусу, сучасної системи очищення корпусу та підводних оглядів.
Технічне обслуговування пропульсивної установки	Постійна мінімізація теплових і механічних втрат за допомогою планового технічного обслуговування. Використання методів розрахунку теплових втрат агрегатів СЕУ та способів їх зменшення.
Використання енергії вихідних газів	Впровадження установок утилізації димових газів агрегатів СЕУ.
Використання адаптивних систем оптимального управління агрегатами СЕУ	Адаптація типових регуляторів по показникам якості перехідних процесів з урахуванням накладених обмежень.
Контроль кольору димових газів	Аналіз коефіцієнту надлишку повітря в системах горіння палива
Економія енергії	Аналіз енергоспоживання судна та впровадження заходів щодо зменшення споживання електроенергії. Електроживлення з берега.
Суднове паливо	Використання нових альтернативних видів палива.
Впровадження систем моніторингу вмісту оксидів азоту та сірки в димових газах	Оперативний контроль показників шкідливих викидів та впровадження експертних систем з вибору оптимальних режимів роботи судових агрегатів.
Програмне забезпечення	Впровадження програмного забезпечення для розрахунку витрати палива та прогнозу його споживання з урахуванням погодних умов, маршруту, швидкості руху судна і т.д.
Діагностика роботи технічних систем	Впровадження інтелектуальних систем діагностики параметрів судових агрегатів. Профілактичний ремонт.
Інтелектуальні датчики	Використання мікропроцесорних систем збору вимірювальної інформації.
Технології вітрових установок	Використання проектів класифікаційного товариства Bureau VERITAS парусного контейнеровозу місткістю 1 800 TEU, розробленого компанією Zephyr & Borée [3]

Висновки. Можна відзначити, що серед зазначених вище технологій, використання вітрових установок може призвести до значних скорочень викидів за рахунок використання безкоштовного та відновлюваного джерела енергії. Також, комбінація традиційних методів із плану компаній судновласників з методами альтернативної енергетики сприятиме суттєвій оптимізації індексу енергетичної ефективності.

ЛІТЕРАТУРА

1. http://rise.odessa.ua/texts/MARPOL_VI_22.php3
2. <https://ibicon.ua/plan-upravleniya-energeticheskoy-effektivnostyu-sudna>
3. <https://ports.ua/bureau-veritas-odobrilo-proekt-pervogo-v-mire-parusnogo-kontejnerovoza-vmestimostyu-1800-teu/>

УДК 629.1

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СКРУБЕРІВ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

І.М. Гвоздева, д.т.н., професор

Г.П. Грама, к.п.н.

І.Є. Кузнєцов, студент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Робота присвячена порівняльному аналізу можливостей і перспективам застосування скрубберів на морському транспорті. Обґрунтована доцільність встановлення скрубберів на морських судах середньої та великої тоннажності, які обладнані дизельними енергетичними установками. Виконано порівняння двох типів скрубберів: відкритого і закритого циклу, визначено їх переваги та недоліки з точки зору ефективності очищення вихлопних газів від шкідливих компонентів. Описано принцип дії та характеристики скрубберів та обґрунтовано необхідність удосконалення системи управління процесами очищення відпрацьованих газів.

Ключові слова: ефективність, система управління, скруббер, закритий та відкритий цикл, вихлопний газ, сірка, екологія, очищення.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES AND PERSPECTIVES OF APPLYING SCRUBBERS ON MARINE TRANSPORT

I. Hvozdeva, Dr. of Science, Professor

G. Grama, Dr. of Science

I. Kuznietsov, Student

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The work is devoted to the comparative analysis of the possibilities and prospects of using scrubbers on marine transport. The feasibility of installing scrubbers on medium and large tonnage ships equipped with diesel power units is substantiated. A comparison of two types of scrubbers: open and closed cycles, their advantages and disadvantages from the point of view of efficiency of cleaning exhaust gases from harmful components is performed. The principle of operation and characteristics of scrubbers are described and the necessity of improving the control system of the processes of cleaning exhaust gases is justified.

Key-words: efficiency, control system, scrubber, closed and open cycle, exhaust gas, sulfur, ecology, cleaning

Актуальність. Перспективним напрямком розвитку засобів морського транспорту є вирішення питань охорони навколишнього середовища від забруднення різними шкідливими речовинами. Більшість суднових дизельних двигунів працює на важкому мазутному паливі (HFO), яке містить достатньо високий рівень сірки (3,5%), що призводить до змісту у відпрацьованих газах значної частки діоксиду сірки (SOx), а також деяких інших речовин, таких, як: оксидів азоту (NOx), альдегідів, безпірену, похідних антрацену, чадного газу і твердого пилу, тобто сажі [1]. Всі вони є основними забруднювачами атмосфери, оскільки, вихлопи, які мають вагу, більшу за повітря, з часом будуть знаходитися на водній поверхні, а отже здійснювати шкідливий вплив на морську флору і фауну та екологію в цілому.

У зв'язку з введенням міжнародною морською організацією (ІМО) обмеження вмісту сірки в судновому паливі на рівні 0,5% для всіх суден та 0,1% [2] для суден, які перебувають в зонах особливого контролю за викидами сірки з суден SECA (Sulphur Emission Control Area), судновласникам необхідно знайти екологічно більш прийнятні альтернативи для бункерування суден або можливість їх модернізації за рахунок застосування спеціалізованих установок очищення вихлопних газів (скрубєрів).

Скрубєри забезпечують можливість використання на суднах, обладнаних дизельними енергетичними установками, традиційного палива з високим вмістом сірки і з меншими витратами на його постачання завдяки незмінній інфраструктурі. Фільтрування вихлопних газів, які утворюються під час згоряння палива, де кількість сірки може бути навіть більшою, ніж у важкому мазутному паливі – основна задача скрубєрів.

На відміну від сучасних суден, які вже обладнані скрубєрами з моменту початку їх експлуатації, судна, які потребують модернізації такої переваги ще не мають і, щоб відповідати новим вимогам щодо забезпечення ефективності очищення вихлопних газів від шкідливих компонентів, встановлення скрубєрів на таких суднах є необхідною мірою, незважаючи на їх значну вагу та габарити. Проте, важливо розуміти, що будівництво нових суден зі скрубєрами, або їх модернізація, матимуть свої власні фінансові та екологічні аспекти. Розміри обладнання впливають на остійність судна, тому встановлення скрубєрів на деяких типах суден унеможлиблюється, особливо на пасажирських. Встановлення скрубєрів доцільне для середніх та великотоннажних суден торгового флоту, де спалювання палива в рази вище, а отже і кількість відпрацьованих газів буде відповідно вищою.

Сьогодні необхідно вирішити дві суперечливі за своєю суттю проблеми: підвищити екологічність експлуатації суднових дизельних двигунів за рахунок зниження вмісту сірки в паливі та підвищити надійність суднових дизельних двигунів за рахунок ефективного змащування тертьових вузлів [3], оскільки через зменшення кількості сірки в паливній суміші відбувається збільшення зносу тертьових елементів паливної системи двигуна.

У перспективі скрубєри будуть невід'ємною частиною морських суден, що дозволить значно зменшити кількість шкідливих викидів з відпрацьованих газів у навколишнє середовище. Тому, розгляд питань, що присвячені порівня-

льному аналізу можливостей та перспективам використання скруберів на морських судах різного призначення, є актуальним і своєчасним.

Мета роботи полягає у порівняльному аналізі можливостей та перспектив застосування скруберів різних типів на морському транспорті, дослідженні їх ефективності очищення вихлопних газів від шкідливих компонентів та встановленні напрямків подальших досліджень.

Основна частина. Згідно статті [4], на 2020-й рік 2960 (74%) всіх морських суден у світі були модернізовані за рахунок встановлення скруберів, а 1054 (26%) новобудов були оснащені цією системою очищення з самого початку. Розподіл за типами морських суден, обладнаних скруберами, виглядає наступним чином: балкери - 1365 (34,1%), контейнеровози - 814 (20,3%), танкери - 572 (14,3%), хімовози - 520 (13,0%), ролкери - 256 (6,3%), пасажирські судна - 215 (5,4%), газовози - 104 (2,5%), суховантажі - 91 (2,2%) і пороми - 12 (0,3%), а це свідчить про те, що дана тенденція набирає обертів, і з часом основна частина суден буде оснащена даними установками.

Встановлення скруберів на морських судах різного призначення має свої економічні аспекти, однак затрати на таку модернізацію, враховуючи високі ціни на інші види палива, такі, як зріджений природний газ (LNG) або низькосірчисте паливо (LSFO), будуть все ж набагато нижчими [4].

Наразі на ринку існує декілька типів скруберів, які використовують морську воду для очищення вихлопних газів. Найпоширенішим із них можна виділити скрубери відкритого циклу (рис. 1), в яких морська вода подається у скруббер, який здійснює очищення більшої частини сірки з відпрацьованих газів, і вже після чого вода скидається за борт.

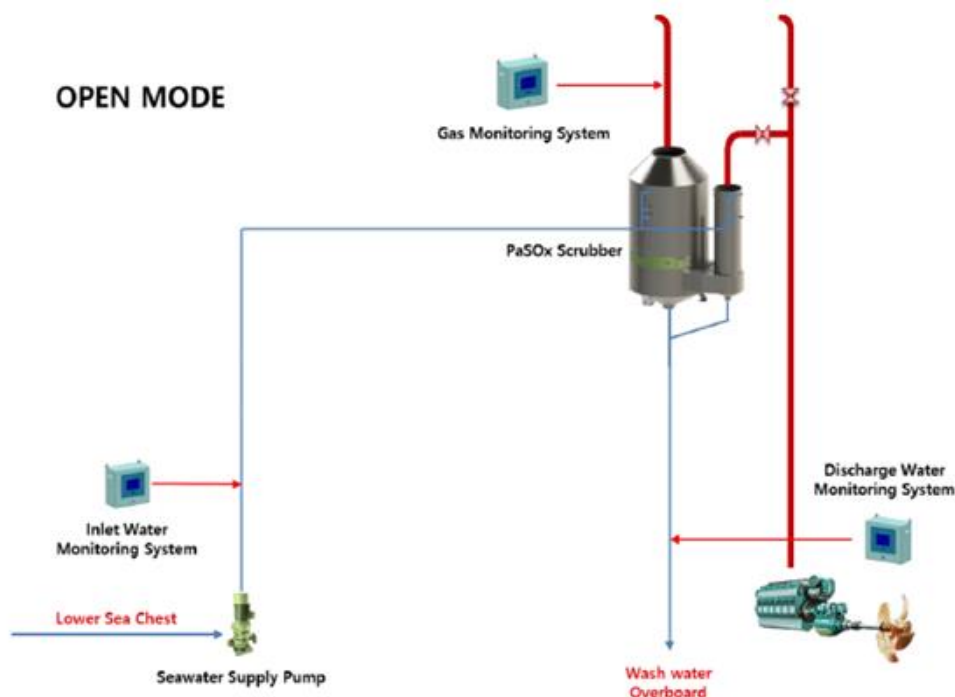


Рисунок 1 – Схема скрубера відкритого циклу

У скруберах, що працюють за принципом закритого циклу [5], вихлопні гази очищуються від сірки та інших забруднювачів за допомогою води, яка не викидається в море, а циркулює в замкнутій системі. Вода розпилюється на гази в

скрубери, де відбувається тепло- і масообмін. Після скрубера вода потрапляє в систему водопідготовки та нейтралізації, де вона проходить через два гідроциклони та муловідділювачі. Гідроциклони видаляють сажу та нафтовмісні відходи з води, а муловідділювачі відокремлюють тверді частинки, які потім направляються в сепаратор. Сепаратор коагулює та перезаряджає відходи з частиною води в скрубери. Приблизно 20% циркулюючої води відводиться в спеціальний танк, де вона нейтралізується гідроксидом натрію та фільтрується. Після цього вона скидається в море, дотримуючись встановлених норм рівня рН та каламутності (турбідності). Решта води повертається в систему скруберів, де вона знову контактує з вихлопними газами в пластинчастому теплообміннику. Тут вода охолоджує гази та відбирає з них сірку та інші забруднювачі. Вода, що скидається в море, поповнюється автоматичним клапаном від живильного насоса, який подає свіжу воду з моря або з іншого джерела. У пластинчастому теплообміннику також відбувається процес нейтралізації сульфату, який утворюється в результаті окислення сірки водою. Сульфат реагує з карбонатом кальцію, що міститься в морській воді, і перетворюється на сульфат кальцію (гіпс) і вуглекислий газ. Ці продукти викидаються в море разом з водою, де вони швидко розчиняються або осідають на дні. Скрубери із закритим циклом забезпечують ефективне очищення вихлопних газів та мінімізують вплив забруднюючих речовин на водне середовище.

Головною частиною системи управління процесами очищення вихлопних газів суднових дизельних двигунів є контрольно-вимірювальна апаратура параметрів якості води, які визначаються шляхом вимірювання вмісту поліциклічного ароматичного вуглеводню (РАН), каламутності (turbidity) та значення кислотності (pH) із застосуванням відповідних сенсорів, сигнали від яких поступають на пристрої зі спеціальним інтелектуальним дисплеєм.

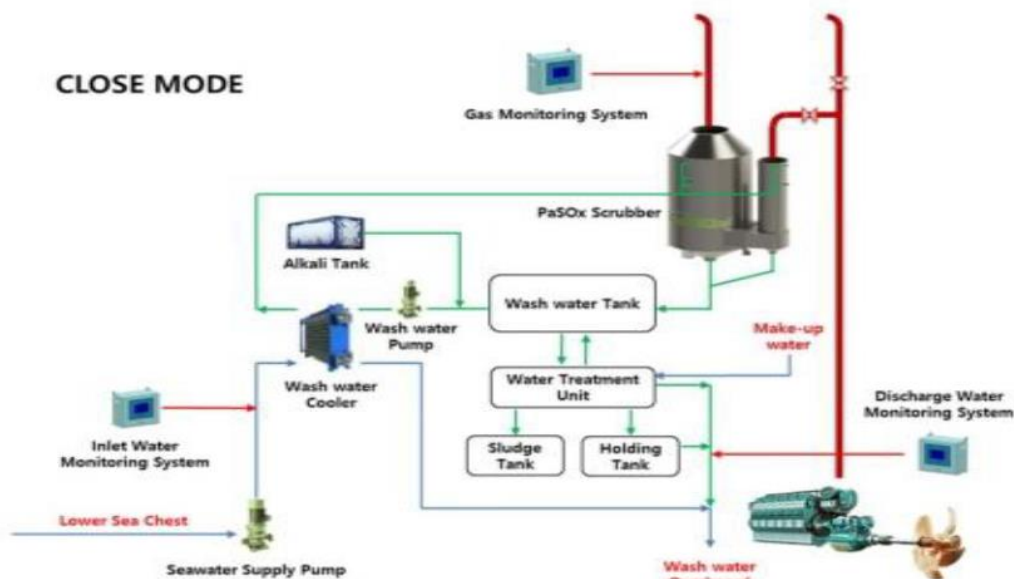


Рисунок 2 – Схема скрубера закритого циклу

Важливим науково-технічним завданням, на вирішення якого будуть спрямовані подальші дослідження, є вдосконалення системи управління процесами

очищення вихлопних газів у скруберах за рахунок розробки нових алгоритмів інтелектуального управління.

Висновки. На основі проведеного аналізу застосування скрубєрів на морському транспорті можна стверджувати, що скрубєри є ефективним засобом для зниження викидів сірки та інших забруднювачів з вихлопних газів у навколишнє середовище. У поточний час відбувається активне переобладнання суден із застосуванням скрубєрів і у перспективі кількість таких суден буде тільки збільшуватися.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ліпенков І. Аналіз сучасних систем очищення вихідних газів у суднових енергетичних установках / І. Ліпенков; Молодий вчений. – 2020. – № 1 (77). – С. 1–5. – DOI: 10.32839/2304-5809/2020-1-77-1.
2. Акімов О. В. Експлуатація суднових енергетичних установок в зонах спеціального екологічного контролю / О. В. Акімов // Обладнання і технології сучасного машинобудування : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 11–12 травня 2017 р. – Т. : ТНТУ, 2017. – С. 29–31.
3. Дакі О. А. Особливості використання низькосернистих палив для підвищення екологічності суднових дизелів / О. А. Дакі, Н. С. Урум, О. І. Рященко, О. С. Бабєре; Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2021. – Т. 32 (71), № 2. – Ч. 2. – С. 167–173.
4. Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту : колективна монографія / за ред. В. Чимшир. – Ізмаїл : ДІ НУ «ОМА» 2020 – Київ : Міленіум, 2020. – С. 339–351.
5. Удолатій В. Б. Алгоритм роботи систем очищення димових газів від домішок при використанні скрубєрів / В. Б. Удолатій; Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт: матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 24–25 березня 2022 р. – Одеса: НУ «ОМА», 2022. – С. 53–56. – Режим доступу: <http://www.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2022/06/Tezysy-2022-1.pdf>. – Дата звернення: 14.11.2023.

УДК 629.1

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ, НАДІЙНОСТІ ТА ЕКОНОМІЧНОСТІ РОБОТИ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

А.В. Ципа, студент

І.М. Гвоздева, д.т.н., професор

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: робота присвячена дослідженню шляхів підвищення показників ефективності, надійності та економічності суднових електроенергетичних систем. Пропонується впровадження у склад суднових електроенергетичних систем додаткових джерел електричної енергії, а саме: фотоелектричних систем та акумуляторних батарей великої ємності. Наведена структурна схема гібридної суднової електроенергетичної системи.

Ключові слова: суднова дизель-генераторна установка, гібридна електроенергетична система, фотоелектрична система, акумуляторна батарея, ефективність, надійність.

WAYS OF INCREASING INDICATORS OF EFFICIENCY, RELIABILITY, AND
ECONOMICAL OPERATION OF THE SHIP ELECTRIC POWER SYSTEM

A. Tsypa, student

I. Hvozdeva, Dr. of Science, Professor
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *Abstract: the work is devoted to the study of ways to increase the efficiency, reliability and economy of shipboard electric power systems. It is proposed to introduce additional sources of electrical energy into the structure of the ship's electrical power systems, namely: photovoltaic systems and high-capacity storage batteries. The structural diagram of the hybrid ship electric power system is presented.*

Key words: *marine diesel generator set, hybrid electric power system, photovoltaic system, storage battery, efficiency, reliability.*

Актуальність. Ефективне використання дизельного палива на судах впливає на вартість перевезень та кінцеву вартість вантажу. Новітні впровадження для підвищення ефективного використання палива не завжди дозволяють зберігати високий рівень надійності суднової електроенергетичної системи (СЕЕС), адже збільшують загальну кількість її елементів. Все це спонукає до розгляду шляхів застосування технологій гібридних СЕЕС, які б не тільки задовольняли потреби збереження високого рівня надійності та підвищення ефективності СЕЕС, але ще й були більш екологічними. Основними додатковими елементами гібридних СЕЕС є фотоелектричні системи та акумуляторні батареї (АКБ) великої ємності, які можна розглядати як окремі системи енергопостачання.

Метою роботи є дослідження шляхів підвищення показників ефективності роботи СЕЕС, їх надійності та економічності, враховуючи новітні технології для раціонального впровадження у склад СЕЕС додаткових джерел накопичення та вироблення електричної енергії.

Основна частина. Для оцінки ефективності використання дизельного палива у СЕЕС виникає необхідність детального розгляду процесів перетворення енергії палива на електричну енергію. Автори вважають, що впровадження додаткових джерел електричної енергії у склад СЕЕС дозволить зменшити час роботи дизельних генераторів (ДГ) та знизити таким чином вартість перевезень та кінцеву вартість товару. Одночасно це допоможе зменшити викиди NO_x , SO_2 та CO_2 , що регулюються конвенцією MARPOL розділом 6 [1]. У 2022 році морськими суднами, які працюють на дизельному паливі, було викинуто 858 мільйонів тон CO_2 [2].

При експлуатації сучасних суднових дизель-генераторних установок (ДГУ) виникають потреби збільшення ефективності використання дизельного палива. Наприклад, якщо СЕЕС потребує потужності у 1000-1100 кВт, то ДГ потужністю у 1000 кВт буде задіяний у такому випадку на 100-110%, і не може експлуатуватися тривалий час, через те, що такий режим не є робочим. З метою підвищення надійності у цьому випадку вводять додатково ще один ДГ з такою ж потужністю, і навантаження розподіляється між ними рівним чином, по 50-55% для кожного. Витрати палива для ДГ Wärtsilä 6L20DF при навантаженні у 50% складає 216 г/кВт на годину, а при навантаженні у 75% – 204 г/кВт на го-

дину. Тобто два ДГ, навантажені на 500 кВт, споживатимуть за годину 0,216 тон дизельного палива, а два ДГ, навантажені на 750 кВт, споживатимуть за годину 0,306 тон дизельного палива. Таким чином два ДГ, навантажені на 750 кВт, споживатимуть в 1,416 разів більше палива, але вироблятимуть в 1,5 рази більше електричної енергії, залишкову ж енергію при цьому слід накопичувати у акумуляторних батареях (АКБ). На жаль, така економія не є значною, адже для двох ДГ загальною потужністю у 1000 кВт, навантажених на 50%, при споживанні 216 г/кВт на годину витрати палива на добу сягатимуть 5,184 тони, або витрати палива складатимуть 1892,16 тон за 365 діб. У разі ж використання двох ДГ загальною потужністю у 1500 кВт, навантажених на 75%, при споживанні 204 г/кВт на годину, витрати палива на добу сягатимуть 7,344 тони, але працюватимуть вони лише 2/3 часу, тому що 1000 кВт споживатимуть судові системи, а залишкові 500 кВт електричної енергії використовуватимуться для зарядки АКБ. Таким чином, якщо накопичувати електричну енергію впродовж 48 годин, отримаємо 24 МВт залишкової енергії, якої вистачить для системи, що споживає 1 МВт на годину, впродовж 24 годин, використовуючи накопичену в АКБ електроенергію і не застосовуючи при цьому ДГ. У такому випадку ДГ використовуватимуться лише 2/3 часу та замість 365 діб на рік, у роботі будуть лише 244 доби, за які буде використано 1791,936 тон палива. Економія складатиме 100 тон палива на рік. При сьогоденній вартості дизельного палива у 900 \$ за тону така економія складатиме лише 90 000 \$ на рік. Вартість АКБ є також немалою, наприклад, установка «Megarack» від компанії «Tesla» ємністю 3,9 МВт/годин, якої вистачає приблизно на 4 години при потужності системи у 1 МВт, без вартості встановлення коштує 1,270,310 \$ [4]. Така вартість окупиться лише за 14 років, що є вигідним лише у довгостроковій експлуатації. Оптимізувати витрати дизельного палива у розглядаємої СЕЕС допоможе заміна ДГ потужністю в 1000 кВт на ДГ потужністю 1350 кВт, для яких споживання потужності у 1 МВт буде якраз близьким до навантаження у 75%, але ж у разі меншого споживання знову виявиться проблема неефективного використання палива. Якщо дозволяє конфігурація судна, іншим варіантом підвищення ефективності використання дизельного палива є застосування валогенератора, що дозволить зменшити витрати палива на 2-5% [5]. Для підвищення надійності СЕЕС також буде доцільним використання потужних твердотільних реле (Solid-state relay), які не мають рухомих частин [6].

Оптимізувати систему генерації електричної енергії [7] можна, наприклад, використовуючи фотоелектричну систему, яка, наприклад, буде складатися із сонячних панелей SUNPOWER MAXEON-3 потужністю 390 Вт (вартість кожної на сьогодні сягає 297 \$) [8]. Враховуючи розміри одної сонячної панелі 1690 x 1046 x 40 мм, їх площа становитиме приблизно 1,77 м². За умови, що електромережа споживає 1 МВт, а час, коли сонячні панелі вироблятимуть електричну енергію сягатиме 8 годин, тобто 1/3 від доби, то для забезпечення 1 МВт енергії необхідно приблизно 2600 панелей, вартість яких складатиме 772 200 \$, та які будуть займати 4600 м². Для судна довжиною 270 метрів та шириною 48 метрів з загальною площею близько 13000 м² це складатиме 35 % від усієї площі.

Для більшості малогабаритних суден така площа є досить значною, але якщо, наприклад, встановити такі сонячні панелі у два, чи декілька поверхів, або частина сонячних панелей буде виходити за межі судна під час збору енергії, а після завершення складатися у декілька шарів на головній палубі із застосуванням електрогідравлічних систем для їх переміщення, то така ідея є досить реалістичною. У такому режимі, коли ДГ не працюють 1/3 доби, економія складатиме приблизно 630 тон дизельного палива, або 567 000\$ на рік, тобто вже за півтори роки така система окупиться. Якщо ж збільшити кількість панелей до 7700 штук, вартість яких складатиме 2 286 900\$, які будуть спроможні видавати до 3 МВт електроенергії на годину та 2 МВт з яких накопичувати у чотирьох АКБ «Megarack» загальною ємністю близькою до 16 МВт, цього буде достатньо для забезпечення 16 годин роботи системи потужністю у 1 МВт, тобто протягом 2/3 доби. Загальна вартість АКБ складатиме приблизно 7 286 900\$ без урахування витрат на перетворювачі елементи та встановлення. Але така система спроможна економити відповідно до попередніх розрахунків 1892,16 тон палива на рік, або ж 1 702 944\$ без урахування того, що для використання палива необхідно його підігрівати за допомогою парових установок, у яких так само спалюється

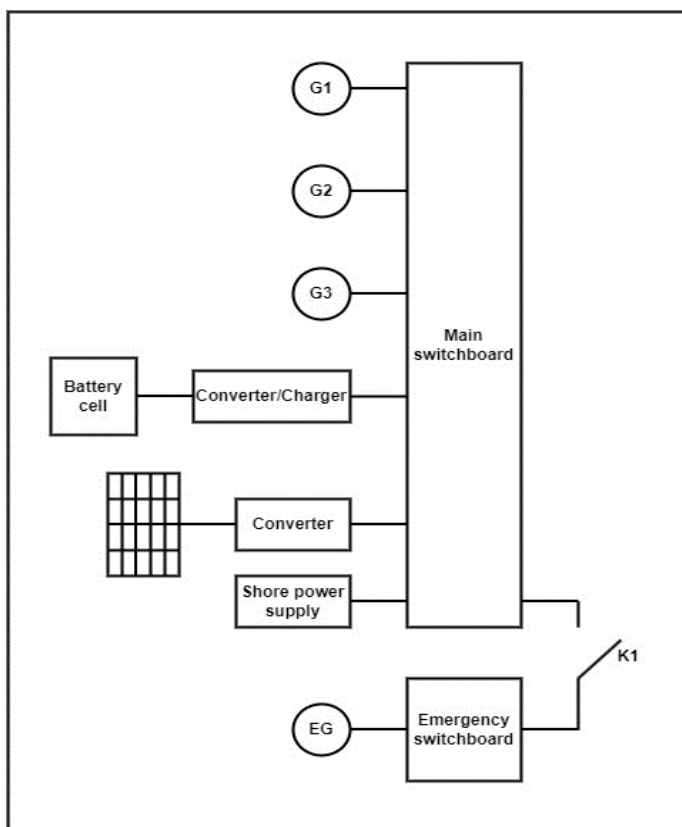


Рисунок 1 – Структурна схема гібридної СЕЕС

використовувати для забезпечення потреб споживачів у електричній енергії різних джерел, такі, як: АКБ, живлення з берегу, фотоелектричні системи, основні ДГ чи аварійний ДГ. У такої СЕЕС є можливість накопичувати електричну енергію у АКБ з метою подальшого використання.

Висновки. Гібридні суднові електроенергетичні системи, що мають у складі додаткові джерела електричної енергії, а саме: фотоелектричні системи

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

4,3 роки. СЕЕС, що має живлення від фотоелектричних систем, АКБ, та від ДГ, тобто декількох різних джерел, називається гібридною СЕЕС та є надійнішою, окрім цього така система буде ще й більш екологічною. Але така гібридна СЕЕС для забезпечення її ефективності та надійності потребує автоматизації та алгоритмізації її роботи. Структурна схема гібридної СЕЕС, яка пропонується авторами, наведена на рисунку 1.

Гібридна СЕЕС, структура якої представлена на рис. 1, може

та акумуляторні батареї великої ємності, дозволяють зменшити використання дизельного палива, відповідно й собівартість перевезення, а також зменшити забруднення повітря викидами NO_x, SO₂ та CO₂. Подальший розвиток гібридних СЕЕС може бути спрямований на розробку алгоритмів їх роботи та вибір засобів автоматизації.

ЛІТЕРАТУРА

1. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Index-of-MEPC-Resolutions-and-Guidelines-related-to-MARPOL-Annex-VI.aspx>.
2. <https://oecdstatistics.blog/2023/06/15/new-estimates-provide-insights-on-co2-emissions-from-global-shipping/#:~:text=In%202022%2C%20there%20were%20an,companies%20based%20in%20OECD%20countries.>
3. <https://www.energy-observer.org/resources/solar-energy-crew-number-one-ally>.
4. <https://www.tesla.com/megapack/design>.
5. <https://greenvoyage2050.imo.org/technology/shaft-generator/>
6. <https://www.electronics-tutorials.ws/power/solid-state-relay.html>.
7. Lianwei Wang, Jinchuan You, Jing Shi, Bobo Peng, and Paul K. Chu. Improving solar-cell efficiency // Newsroom. Hong Kong, China. 2008.
8. <https://solarenergo.ua/uk/oborudovanie/solnechnye-batarei/solnechnaya-batareya-sunpower-maxeon3-390-vt/>

УДК 629.5.065-049.34(045)

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ВАНТАЖНИХ ПРИСТРОЇВ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

О.В. Дрозд, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. З кожним роком проблемі енергетичної ефективності і енергозбереження у морсько-господарчому комплексі приділяється все більше уваги. Це викликано тим, що морський транспорт, як і всі перевантажувальні комплекси морських портів, є енергоємними, з високою вартістю енергетичних ресурсів. Впровадження інноваційних інженерно-технічних рішень в досконалість конструкцій вантажних пристроїв безперервної дії, а саме, конвеєрів, дозволяє підвищити їх експлуатаційну ефективність і енергозбереження.

Ключові слова: морсько-господарчий комплекс, інноваційні інженерно-технічні рішення, конвеєри, наскінні вантажі, енергозбереження вантажних пристроїв.

INCREASE OF ENERGY SAVING OF CONTINUOUS CARGO LIFTING DEVICES

O.V. Drozd, associate professor

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. Every year, more and more attention is paid to the problem of energy efficiency and energy saving in the marine-economic complex. This is caused by the fact that sea transport, like all transshipment complexes of sea ports, is energy-intensive, with a high cost of energy resources. The implementation of innovative engineering and technical solutions in the perfection of designs of continuous-acting cargo devices, namely, conveyors, allows to increase their operational efficiency and energy saving.

Keywords: maritime complex, innovative engineering and technical solutions, conveyors, bulk cargo, energy saving cargo devices.

У сучасній економічній ситуації у морегосподарчому комплексі ефективна діяльність компаній неможлива без здійснення заходів, спрямованих на мінімізацію витрат виробництва. Це змушує фірми-виробники вирішувати такі актуальні науково-технічні завдання як, зниження матеріалоємності створюваного устаткування, підвищення його ресурсу, підвищення енергоефективності при тому ж або більшому обсязі виробництва, пошук альтернативних матеріалів для вузлів і механізмів, що працюють у жорстких експлуатаційних умовах. Стосовно устаткування, що використовується на перевантажувальних комплексах у морських портах, це, насамперед, створення більш досконалих конструкцій конвеєрів безперервної дії, підвищення надійності й зносостійкості конвеєрних стрічок і роликотопор для них. До таких завдань також ставляться зниження трудомісткості й підвищення безпеки робіт, пов'язаних зі збиранням втрати вантажу, що транспортується, з підконвеєрного простору конвеєрів, зниження енергоємності транспортування насипних вантажів конвеєрами, забезпечення надійної фіксації стрічок конвеєрів у випадку деструкції стрічок, підвищення тягової здатності барабанних приводів і надійності гальмових пристроїв конвеєрів [1-7].

Для пошуків шляхів вдосконалення та підвищення енергозбереженості вантажних пристроїв безперервної дії проаналізовані відомі схеми технічні рішення у галузі конвеєрного транспорту.

Відомий інерційний конвеєр, який складається із жолоба, встановленого на котках з можливістю здійснювати зворотно-поступальний рух по нерухомій основі і привода для реалізації цього руху [8].

Недоліком цього пристрою є наявність сили тертя між вантажем і жолобом в моменти часу, коли його швидкість відносно вантажу буде напрямлена в протилежний бік, що призводить до зменшення продуктивності інерційного конвеєра.

Найбільш близьким, за технічною суттю до винаходу що пропонується, є інерційний конвеєр, що складається із жолоба, встановленого з можливістю здійснювати зворотно-поступальний рух по нерухомій основі, і приводу зворотно-поступального руху жолоба. Між жолобом і основою встановлена додаткова рама, з додатковим окремим віброприводом для здійснення крутильних коливань жолоба навколо осі симетрії жолоба [9].

Недоліком цього пристрою є можливість здійснювати тільки двокоординатний рух жолоба із вантажем, що призводить до зменшення продуктивності інерційного конвеєра у разі перевантаження вантажів, які потребують подрібнення структури підвищеної щільності. Також значим чином впливає на надійність конструкції наявність окремого віброприводу для здійснення крутильних коливань жолоба навколо осі симетрії жолоба.

Таким чином, актуальною є задача створення інерційного конвеєру, у якому присутня можливість трикоординатного руху жолобу з вантажем, відсутні

додаткова рама та вібропровід та одночасно збережені надійність та простота схемотехнічних рішень пристроїв відомих типів.

Поставлена задача вирішується тим, що інерційний конвеєр для транспортування сипких матеріалів, що складається із жолоба, встановленого з можливістю здійснювати зворотно-поступальний рух і електродвигуна з кривошипним приводом зворотно-поступального руху жолоба та який відрізняється тим, що застосовано єдину нерухому основу і єдиний електродвигун у сполученні із системою важелів, для забезпечення одночасного коливання вздовж та перпендикулярно осі конвеєра і крутильні коливання навколо осі симетрії жолоба.

Суть запропонованого рішення пояснюється кресленням (рис. 1), де зображена нерухома основа 1, який містить електродвигун з кривошипним механізмом 2 та стойки 3.

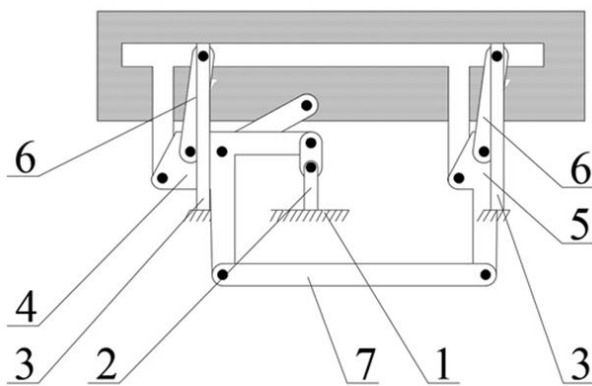


Рисунок 1 – Інерційний конвеєр для транспортування сипких матеріалів: 1 – нерухома основа; 2 – електродвигун з кривошипним механізмом; 3 – стойка; 4 – головне коромисло; 5 – вторинне коромисло; 6 – важіль приводу зворотно-поступового руху жолобу; 7 – з'єднувальна тяга.

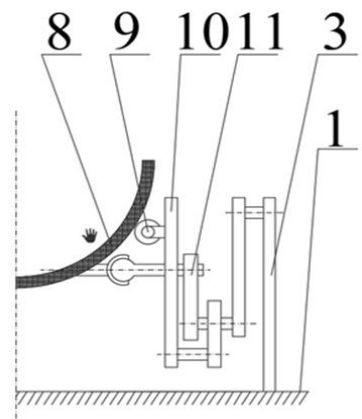


Рисунок 2 – Інерційний конвеєр для транспортування сипких матеріалів: 1 – нерухома основа; 3 – стойка; 8 – жолоб; 9 – ролик; 10 – рама жолобу; 11 – важіль обертового руху жолобу.

До стійок, за допомогою осей, кріпляться важелі приводу зворотно-поступового руху жолобу 6. Важелі, за допомогою осей, сполучені з головним коромислом 4 та вторинним коромислом 5. До головного коромисла, за допомогою осей, під'єднані рама жолобу 10 та важіль обертового руху жолобу з відповідною тягою 11 (рис. 2). До вторинного коромисла, за допомогою осей, під'єднана рама жолобу 10. Коромисла для синхронізації руху з'єднані з'єднувальною тягою 7. Рама жолобу сполучається з жолобом 8 за допомогою роликів 9.

У динамічному режимі (транспортування вантажу) вмикається електродвигун, який приводить до руху кривошипний механізм, що з'єднаний з головним коромислом. Коромисла (головне та вторинне) починають обертання навколо відповідних осей. Завдяки цього обертання приводяться до руху важелі 6, які надають рамі 10 разом з жолобом 8 двокоординатний рух. Одночасно важіль обертового руху жолобу 11 своєю тягою, сполученою з жолобом, надає йому обертального руху навколо поздовжньої осі симетрії. Жолоб починає вільно

обертатися у роликах 9. Після завершення обертання кривошипного механізму цикл повторюється. Завдяки чому жолоб здійснює трикоординатний рух відбувається не тільки транспортування вантажу, але й подрібнення його структури підвищеної щільності. Як наслідок – збільшення продуктивності інерційного конвеєра.

Технічний ефект досягається завдяки тому, що застосування єдиної основи та єдиного електродвигуна у сполученні із системою важелів забезпечує:

- трикоординатний рух жолоба з вантажем;
- можливість транспортування вантажів, які потребують подрібнення структури підвищеної щільності;
- спрощення конструкції за рахунок відмови від додаткових рами та вібро-проводу;
- можливість монтажу на існуючих конструкціях інерційних конвеєрів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дрозд, Е. В., Сандлер, А. К. Совершенствование технической эксплуатации судовых грузоподъемных средств // Судостроение. – 2004. – № 11-12. – С. 27-28.
2. Сандлер, А. К., Дрозд, Е. В. Диагностирование судовых грузоподъемных средств с помощью волоконной оптики // Автоматизация судовых технических средств. – 2005. – Вып. 10. – Одесса: ОНМА. – С. 70-75.
3. Дрозд, Е. В., Сандлер, А. К. Техногенна безпека при обробці зернових культур // Аграрний вісник Причорномор'я. – 2009. – № 48. – Одеса: ОДАУ. – С. 72-76.
4. Сандлер, А. К., Дрозд, О. В. Роликовий вузол стрічкового транспортера // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2018. – Т. 10. – №. 4. – Одесса: ОНАХТ. – С. 73-76. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.1237>.
5. Дрозд, О. В., Сандлер, А. К. Проблеми технічної експлуатації суднових стрічкових транспортерів // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2019. – Т. 11. – №. 1. – Одесса: ОНАХТ. – С. 24-26. DOI <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i1.1324>.
6. Сандлер, А. К., Дрозд, О. В. Засіб протидії перевантаженню електропривода стрічкового конвеєра// XII міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 21.11.2022 - 23.11.2022 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ "ОМА". – 2022. – С.165-169. DOI: 10.31653/2706-7874.SEEEA-2022.11.1-203.
7. Сандлер, А. К., Дрозд, О. В. Автоматизований засіб підвищення безпеки суднових вантажних операцій// XII міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 21.11.2022 - 23.11.2022 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ "ОМА". – 2022. – С.174-178. DOI: 10.31653/2706-7874.SEEEA-2022.11.1-203.
8. Спиваковский, А. О., Дьячков, В. К. Транспортирующие машины. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
9. Патент України № 111201. МПК (2006.01) B65G 25/02. Інерційний конвеєр для транспортування сипких матеріалів / Р. М. Рогатинський, Л. С. Серілко, Д. Л. Серілко; Заявник та володар патенту Національний університет водного господарства і природокористування. – № u201602703. – заявл. 18.03.2016; опубл. 10.11.2016, бюл. № 21/2016. – 3 с.

УДК 697.921.47

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ HVAC СИСТЕМ КРУЇЗНИХ СУДЕН ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ VAV МОДУЛІВ

А. І. Шестака¹, ст. викладач

Л.М. Мельнікова², к.т.н., доцент

¹Національний університет "Одеська Морська Академія"

²Національний університет "Одеська Політехніка"

Анотація: розглянуто можливості і переваги використання систем із змінним об'ємом повітря порівняно з традиційними системами вентиляції круїзних суден як суттєвого фактору зменшення споживання електроенергії HVAC, заощадження палива на енергетичні потреби HVAC, а також із зменшення викидів CO₂ судном.

Ключові слова: обігрів, вентиляція, кондиціювання, системи із змінним об'ємом повітря, енергозбереження.

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF CRUISE SHIP HVAC SYSTEMS BY USING VAV MODULES

A. Shestaka¹, Senior lecturer

L. Melnikova², Ph.D., Associate Professor

¹National University "Odessa Maritime Academy"

²Odesa Polytechnic National University

Abstract: considered the possibilities and advantages of variable air volume systems compared to traditional cruise ship ventilation systems as a significant factor in reducing HVAC electricity consumption, saving fuel for HVAC energy needs, as well as reducing ship CO₂ emissions.

Key-words: heating, ventilation, air conditioning, variable air volume, energy saving.

Відповідно до щорічного звіту Cruise Industry News Annual Report за 2023 рік, глобальний круїзний флот планується збільшити на понад 60 нових суден, які будуть введені в експлуатацію з 2023 по 2028 рік, збільшивши флот до 499 круїзних суден. Передбачається, що пасажиромісткість зросте з 26,5 мільйонів у 2022 році до майже 38 мільйонів до 2028 року. У 2023 році очікується, що пасажиромісткість зросте ще на 18 %.

У 2021 році більшість флоту зупинилася через COVID-19, але віддача круїзів різко зросла у 2022 році: кількість пасажирів збільшилася на 178 % порівняно з 2021 роком.

Тривалий темп зростання з 2024 по 2028 рік встановиться на більш стабільному рівні з 7 % у 2024 році, поступово знижуючись до одного відсотка в 2028 році [1], [2].

Круїзні судна мають найвищу енергоємність на пасажиро-кілометр порівняно з будь-якою іншою формою туризму через велику кількість енергії, необхідної для живлення судна та підтримки комфорту та розкоші для його пасажирів. У круїзному секторі було впроваджено різні політики енергозбереження та скорочення викидів, включаючи, зокрема, ініціативи ЄС щодо моніторингу споживання палива та викидів CO₂ круїзних суден та звітування про них, організаційні заходи різних країн щодо створення зон контролю ви-

кидів із суден у прибережних регіонах та інші. Отже, ефективне управління енергією з метою досягнення найкращих можливих показників енергоефективності, зокрема, систем HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) та скорочення викидів мають вирішальне значення для індустрії круїзних суден [3].

Завдяки стратегії ІМО щодо скорочення на 50 % загальних викидів парникових газів від міжнародних суден і 70 % викидів CO₂ на транспортну роботу до 2050 року порівняно з базовим рівнем 2008 року, це означає, що енергоефективність відіграє більшу роль у індустрії, ніж будь-коли.

Системи HVAC круїзних суден є другим за величиною споживачем енергії після силової установки через велику кількість кондиціонування повітря та вентиляції, необхідних для підтримки комфортних умов для пасажирів та екіпажу [3], [10]. Круїзні судна та поромі – це енергоємний сектор суден, де споживання енергії для так званої "готельної системи" на борту (опалення, кондиціонування повітря, охолодження, прилади в каютах, тощо) становить у середньому близько 40% від загальної кількості енергії, що використовується судном [4]. Енергетичні потреби суден покриваються за рахунок спалювання палива, що призводить до високого вуглецевого сліду на пасажирів, а також до викидів речовин, які є шкідливими як для навколишнього середовища, так і для здоров'я людини. Розвиток "зелених" пасажирських суден з альтернативними (LPG) видами палива та силових установок значною мірою знизив ці негативні фактори. Однак, щоб досягти "нульових викидів", також важливо зменшити споживання енергії готельними системами.

Для досягнення цієї мети ІМО встановила нові індекси вуглецевої інтенсивності (CII) та індекси енергоефективності існуючих суден (EEXI), які набули чинності 1 січня 2023 року. Крім того, ймовірно, з 2025 року буде запроваджено вуглецевий збір на основі еквіваленту викидів CO₂, враховуючи викиди, створені під час виробництва, транспортування та нафтопереробки на додаток до експлуатації судна

Згідно досліджень KOYA OY, провідного виробника систем HVAC для круїзних суден, внесок HVAC у загальне річне споживання палива судном може становити до 15%, а зменшення споживання енергії цією системою на 30% призведе до споживання палива всім судном приблизно на 5% [9].

Систему вентиляції всередині круїзного лайнера можна розділити на чотири підсистеми: каюти (29% потоку повітря – за даними MEYER TURKU OY); громадські приміщення і місця загального користування (31%); сервіс (ресторани, кухні, пральні (27%) та сходів (13%). Таким чином, частка свіжого повітря розподіляється досить рівномірно між громадськими, каютними та обслуговуючими системами, тоді як система сходів має помітно меншу потребу у свіжому повітрі. Отже, найвищий потенціал економії енергії полягає в цих трьох системах, які споживають найбільше свіжого повітря.

Системи вентиляції місць загального користування в нових та в суднах, що проектується, вже мають нові рішення у вигляді вентиляції зі змінним об'ємом повітря (Variable Air Volume, VAV): кількість свіжого повітря та його температура змінюється шляхом регулювання швидкості потоку повітря в залежності від присутності людей в приміщенні замість постійної роботи вентиляції з розрахунку повного заповнення приміщення згідно до санітарних норм. Темпера-

тура ж припливного повітря регулюється через зміну потоку і температури теплоносія в теплообмінниках.

Вентиляція сервісних приміщень в нових суднах проектується на основі потреб (Demand Based Ventilation, DBV), яка відстежує використання обладнання (кухні, пральні та ін.) та керує вентиляцією на основі даних моніторингу конкретного приміщення.

На відміну від впровадження сучасних технологій вентиляції в громадських та сервісних зонах, система вентиляції кают не зазнала значних покращень з моменту впровадження в ній фанкойлів (FCU) понад 20 років тому.

Виходячи з досвіду удосконалення вентиляційних систем номерного фонду сучасних готелів, для каютного фонду круїзних суден можна запропонувати низку покращень, головним чином через зниження швидкості потоку повітря і зменшення тиску від вентиляційних установок (Air Handling Unit, AHU), що передбачає перехід від системи з постійною подачею повітря (Constant Air Volume, CAV), коли HVAC працює в усіх зонах з повною потужністю незалежно від їх наповненості людьми, до систем із змінним об'ємом повітря (VAV) на стадії проектування або модернізації суднових систем HVAC. Додатково до регулювання швидкостями вентиляторів логічним буде також управління температурою припливного повітря.

На існуючих круїзних суднах застосовують три варіанти обробки повітря: система з так званими каютними блоками і з центральною припливно-втяжною установкою (AHU) приблизно на 50 кают; система чилер-фанкойл і система з охолоджувальними балками.

Каютні блоки є найменш ефективними з трьох технологій. Це пов'язано з тим, що середовищем для передачі холоду або тепла є вже підготовлене повітря від АНУ, а не вода, а каютні блоки фактично лише частково перекривають приплив повітря в каюту. В типових умовах експлуатації круїзних суден, таких як Карибське або Середземне море, це означає, що гаряче, вологе зовнішнє повітря потрібно охолоджувати до потрібної температури та вологості виходячи з стовідсоткової потреби, наприклад, п'ятдесяти кают. Якщо задана температура на термостаті кабіни вища за вхідне повітря, припливний потік спочатку потрібно зменшити через регулюючу заслінку каютного блоку, а потім повітря нагріти за допомогою електричної нагрівальної спіралі, що збільшує споживання енергії. Рекуперація в каютних блоках відсутня.

Оскільки значна частина "старого" круїзного флоту використовує технологію каютних блоків, оптимізація енергоспоживання при модернізації таких суден може стати вагомим сегментом енергоефективності круїзного флоту. Більшість систем каютних блоків працюють як системи постійного тиску, тобто одна установка обробки повітря (АНУ) зазвичай обслуговує певну територію, як правило, близько 50 кают, і підтримує тиск у повітропроводі в певній точці вимірювання на постійному рівні, також на постійному рівні підтримується і температура припливного повітря. Блок кожної каюти контролюється власним контролером, підключеним до кімнатного термостата, але пряма інформація про задану і фактичну температури в каюті не передається в АНУ.

Тому, створюючи мережу для всіх контролерів каютних блоків, підключених до ПЛК, який взаємодіє з АНУ, можна оптимізувати як температуру по-

вітря, так і швидкість вентилятора АНУ, за умови, що АНУ обладнано приводом змінної частоти, що дозволяє досягнути оптимальні швидкості вентилятора.

Згідно з даними КОУА ОУ така модернізація працюючих круїзних лайнерів дає економію енергії на 15-25% для кают, обладнаних інформаційною мережею, порівняно із споживанням до модернізації, що є суттєвим результатом, навіть якщо не брати до уваги повний потенціал економії, а саме зменшення потужності теплообмінних процесів і потенційне виявлення зайнятості каюти. Для типової каюти круїзного судна для судна, що працює в тропічних умовах, це означає щорічну економію 500-700 kWh на каюту, отже, судно з 1500 каютами може заощаджувати понад 10^6 kWh в рік з можливістю збільшення заощадження при використанні сенсорів відкритих балконних дверей і сенсорів присутності [4]. Сучасні системи з фанкойлами забезпечують значне підвищення ефективності порівняно з каютними блоками за рахунок рециркуляції вже охолодженого повітря та використання води як теплоносія, проте також існують способи підвищення їх ефективності [9], [10].

У типовому каютному фанкойлі вентилятор налаштовано на подачу об'єму свіжого повітря приблизно $75 \text{ m}^3/\text{h}$ на годину. Однак цей потік можна зменшити, якщо можна надійно контролювати якість повітря в каюті датчиком CO_2 . Також необхідну кількість припливного повітря можна регулювати за допомогою датчика присутності пасажирів в каюті не лише шляхом встановлення електричних регулюючих заслінок, але і зміною швидкості вентилятора. Часткове ж чи повне перекриття потоку теплоносія в групі каютних фанкойлів може використовуватись в якості команди на зниження продуктивності чілера. Хоча потенціал економії на каюту нижчий, ніж для суден із каютними блоками, для круїзних суден загальна економія є значною.

Так само, як і для кают очевидно є безумовна доцільність використання систем VAV для місць загального користування: ресторани, басейни, SPA-зони, фітнес, конференц зали, бутики, що прекрасно ілюструється добовими графіками наповненості кают і одного з головних ресторанів на прикладі круїзного поїзду MS Color Fantasy (рис. 1).

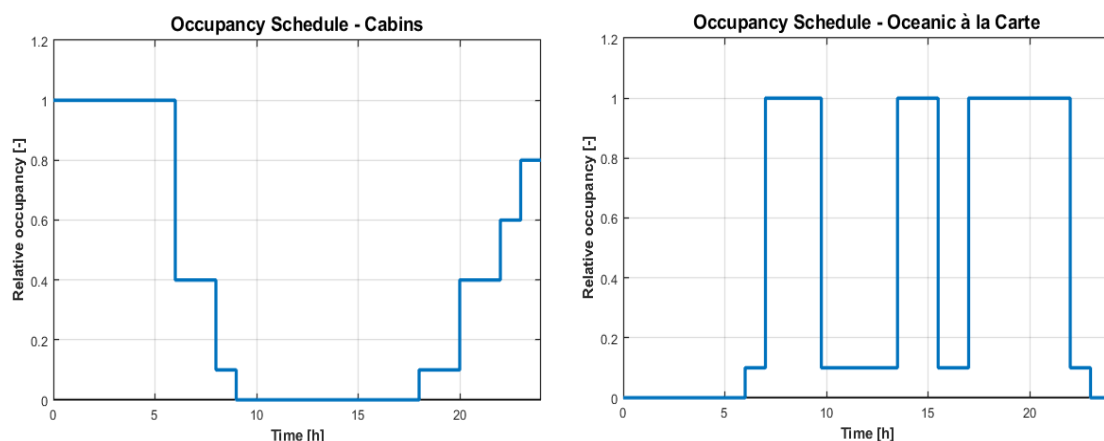


Рисунок 1 – Добові графіки наповненості кают і ресторану для судна MS Color Fantasy [5]

Ще більш наочним для планування роботи систем HVAC є графік наповненості судна в цілому (рис. 2).

Наведені на рис. 1 і рис. 2 графіки визначають періоди доби, в які, наприклад, для кают, більшості ресторанів, конференц-залів подача свіжого повітря

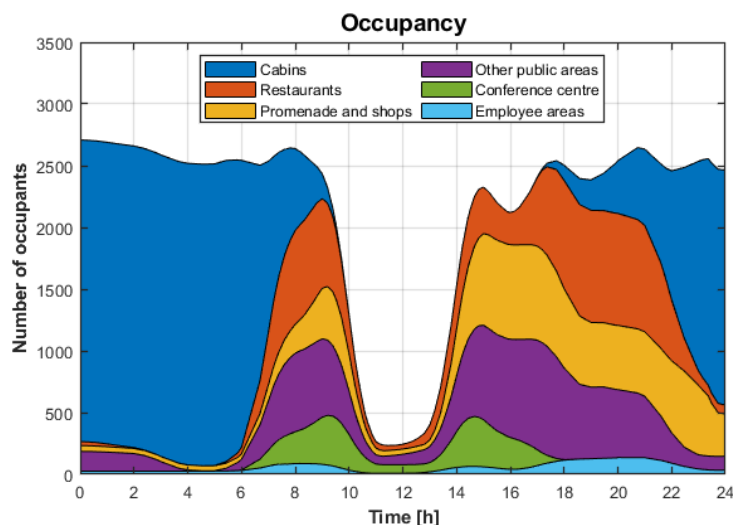


Рисунок 2 – Добовий графік заповненості з розподіленням по зонах для судна MS Color Fantasy [5]

може і повинна бути зменшена до мінімального рівня, або навіть відключена. Також в ці періоди часу може бути відключена більшість чілерів. Також за подібними статистичними графіками можливо спланувати завчасне включення і відключення систем HVAC для тих зон, що невдовзі будуть заповнені або ж покинуті пасажиром.

Висновки. Таким чином, впровадження систем із змінним потоком повітря є суттєвим фактором зменшення

споживання електроенергії системами HVAC (до 25 % залежно від наявних технічних рішень та району плавання судна), що напряму пов'язано з заощадженням палива на енергетичні потреби HVAC (до 5 %), а також із зменшенням викидів CO₂ судном.

Оскільки ж круїзні судна подібні до великих готелів преміум класу, ефективність використання всіх сучасних досягнень в управлінні готельними інженерними системами – Guest Room Management System (GRMS), Building Management System (BMS) – є очевидною і доцільною.

ЛІТЕРАТУРА

1. 2023 Cruise Industry News Annual Report - <https://www.cruiseindustrynews.com/store/product/annual-reports/2023-cruise-industry-news-annual-report/>
2. <https://cruiseindustrynews.com/cruise-news/2023/04/cruise-fleet-passenger-capacity-to-grow-by-43-percent-by-2028/>
3. Rebecca Moore. HVAC: boosting energy savings and sustainability - 01 May 2023 - <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/hvac-boosting-energy-savings-and-sustainability-75958>
4. Teemu Lehtiö - Improving cruise ship passenger cabin ventilation energy and space efficiency - Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT, 2023 - <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/166632>
5. August Brækken, Cecilia Gabriell, Natasa Nord - Energy use and energy efficiency in cruise ship hotel systems in a Nordic climate - <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117121> - Published by Elsevier Ltd. - Available online 9 May 2023
6. Chenyu Liu, Yixin Su and Danhong Zhang - Optimal Control Strategy for Ship Cabin's Active Chilled Beam System Using Improved Multi-Objective Salp Swarm Algorithm - J. Mar. Sci. Eng. 2023, 11, 1396. <https://doi.org/10.3390/jmse11071396>
7. Lu Jiang - Optimal Control of VAV Air Conditioning Terminal in the Polar Cruise Public Area - Journal of Physics: Conference Series, Volume 2520, 2nd International Conference on Energy Utilization and Automation (ICEUA 2023) 10/02/2023 - 12/02/2023 Sanya, China - <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2520/1/012035>
8. Journal of Marine Science and Engineering - <https://www.mdpi.com/journal/jmse>
9. <https://www.meyerturku.fi/en/technology/index.jsp>
10. <https://www.meinschiff.com/mein-schiff-4>
11. <https://www.danfoss.com/uk-ua/markets/buildings-commercial/dhs/smart-hvac/#tab-overview>

ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД СУДНОВОГО КОМПРЕСОРА ОХОЛОДЖЕННЯ ЕТИЛЕНУ

О.С. Швидкий, здобувач другого рівня вищої освіти
В.С. Петрушин, д.т.н., професор
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Розглянуто задачу регулювання обертів суднового електроприводу компресора охолодження етилену.

Ключові слова: система охолодження етилену, судновий електропривод, перетворювач частоти.

FREQUENCY REGULATED ELECTRIC DRIVE FOR ETHYLENE COOLING COMPRESSOR

O. S. Shvydkyi, master degree student
V.S. Petrushyn, Ph.D., professor
National University «Odesa Maritime Academy»

Abstract: The task of regulating the speed of the ship's electric drive for the ethylene cooling compressor has been examined.

Keywords: The cooling system for ethylene, ship electric drive, and frequency converter.

Етилен – це безбарвний газ, який транспортується в рідкому стані при дуже низьких температурах (нижче -100°C). В морській галузі для таких цілей використовуються спеціальні танкерні судна – газовози, які обладнуються системами охолодження та ізоляції для утримання необхідної температури [1].

Процес охолодження етилену на газовозі складається з компресії (зменшення його об'єму і підвищення тиску), охолодження в теплообміннику та конденсації, тобто газ охолоджується до температури, при якій етилен переходить у рідкий стан [2].

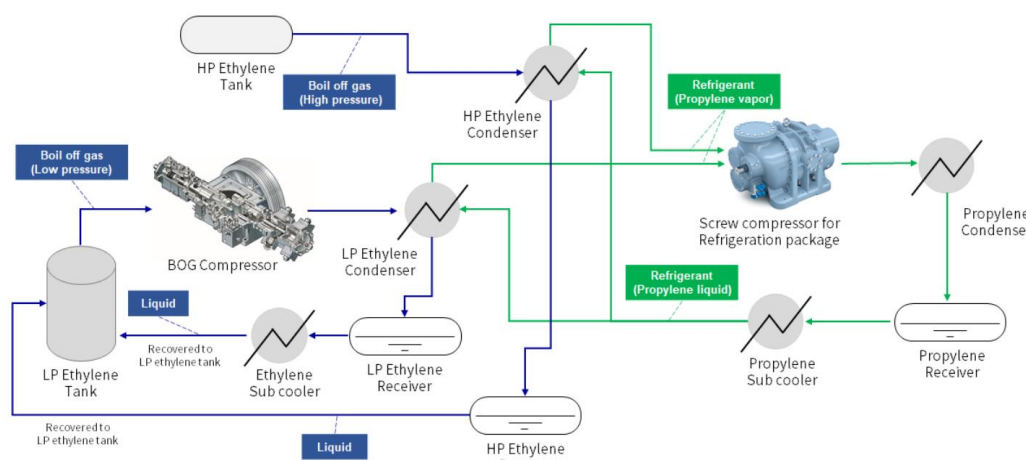


Рисунок 1 - Схема охолодження етилену: BOG (Boil of Gas compressor) – вантажний компресор випаруваного етилену; Screw compressor - гвинтовий компресор; Condenser – Конденсатор; Receiver – Резервуар рідини.

Найпоширенішим видом систем охолодження етилену на сьогоднішній день є системи зворотного зрідження (reliquefaction) пари вантажу, яка може бути прямої дії (стиснення і конденсація), непрямой дії (за допомогою холодоагентом без стиснення) та комбінованою системою [3, с. 129].

В комбінованій системі зворотного зрідження випаруваний газ з танків надходить до вантажного компресора, де стискається до тиску 16 бар та температури приблизно 60 °С (36 °С насичений, 96 °С перегрітий). Вихідний газ конденсується в агрегатах R507 в теплообміннику приблизно при температурі 42 °С R507. Для регулювання подачі холодоагенту використовуються компресори гвинтового типу, які потребують плавного регулювання обертів від 1800 до 3600 обертів на хвилину [4].

При нормальних умовах експлуатації етилен конденсується в теплообміннику при температурі етилену -36 °С. R507 випаровується на пластині при температурі -42 °С і тиску 0,28 бар. Випарений газ R507 піддається перегріву в теплообміннику і стискається двоступеневим гвинтовим компресором до вихідного тиску 18 бар (40 °С). Вихідний газ конденсується в конденсаторі, охолоджену морською водою, і піддається додатковому охолодженню в відкритому економайзері до приблизно -5 °С перед повторним введенням в евапоратор. Конденсація етилену викликає випаровування рідини R507. Для плавного регулювання обертів гвинтового компресора холодоагенту R507 широко використовують електроприводи з регулюванням частоти (Frequency Regulated Electric Drives). Це система, яка використовується для забезпечення контролю і регулювання швидкості обертання електродвигуна шляхом зміни частоти електричного струму. Основним елементом цієї системи є частотний перетворювач, який забезпечує зміну частоти і напруги, що подається на електродвигун [5].

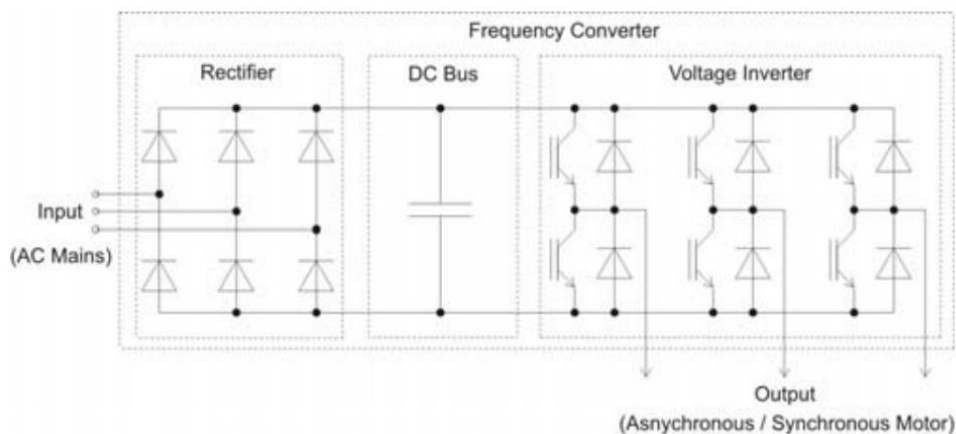


Рисунок 2 – Типова схема підключення перетворювача частоти: AC Mains – напруга живлення; Rectifier – випрямляч напруги; DC Bus – шина постійного струму; Voltage inverter – інвертор напруги (з постійного в змінний струм)

Компанією АВВ використовується технологія Direct Torque Control (DTC), що вдосконалює точність керування електродвигуном без необхідності використання пристроїв зворотного зв'язку (датчиків швидкості). Точне керування швидкістю та обертовим моментом виробничого процесу оптимізує якість регулювання обертів та моменту на валу електропривода [6].

У DTC використовуються потік статора і обертовий момент як основні керовані змінні. Обчислення стану двигуна оновлюються високошвидкісним цифровим сигнальним процесором 40 000 разів на секунду у високопродуктивній моделі програмного забезпечення для двигуна. Завдяки постійному оновленню стану двигуна і порівнянню фактичних значень з референтними значеннями. В методі прямого керування обертовим моментом (DTC) кожний окремих імпульс напруги в приводі визначається незалежно. Ця унікальна особливість гарантує генерацію оптимальної комбінації перемикання і дозволяє миттєво реагувати на динамічні зміни, такі як удари навантаження або перерви в живленні. У DTC немає потреби в окремому модуляторі ширини імпульсів, який керує напругою та частотою. Відсутність цього модулятора спрощує структуру керування і підвищує загальну ефективність системи, роблячи DTC універсальним та ефективним методом керування двигуном.

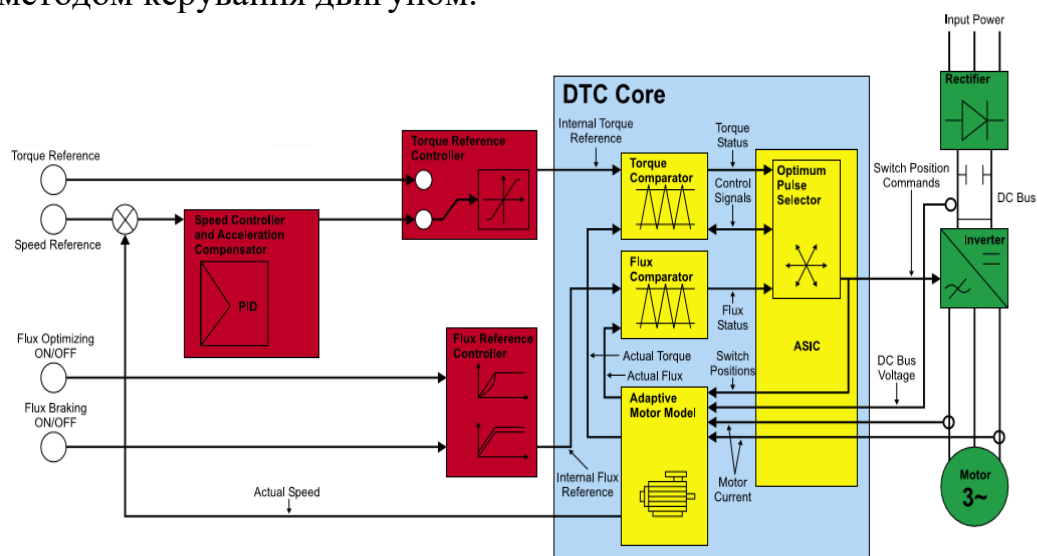


Рисунок 3 – Схема підключення перетворювача частоти компанії ABB з технологією DTC: Torque, speed reference – уставки моменту та швидкості; Torque, Flux comparator – компаратор моменту та магнітного потоку (на виході вказує яке значення більше чи менше)

Таким чином, за допомогою частотного перетворювача регулюється момент та швидкість електропривода компресора холодоагенту, за допомогою чого контролюється кількість випаруваного етилену і відповідно його тиск в вантажних танках газозову.

Висновки. На сьогоднішній день частотно-регульовані електроприводи все частіше використовуватися в системах зворотного зрідження етилену на танкерах – газозовзах для оптимального управління тиском і температурою в танках, що має важливе значення для безпечного транспортування газу. Однією з основних переваг таких систем є здатність адаптуватися до змінних умов експлуатації, забезпечуючи стабільність та ефективність процесів. Перетворювачі частоти дозволяють ефективно використовувати енергію, регулюючи швидкість обертання електродвигунів в залежності від потреб системи. Це дозволяє уникнути непотрібного споживання енергії у тих випадках, коли повна потужність не є необхідною. Також електроприводи з ПЧ мають плавний пуск та зупинку

електродвигунів, що допомагає уникнути раптових навантажень і зменшує знос механізмів, підвищуючи термін служби обладнання.

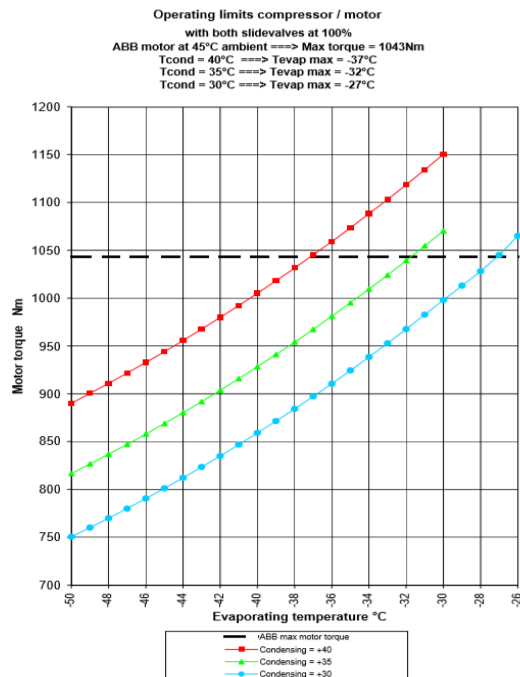


Рисунок 4 – Характеристика залежності температури випаровування етилену від моменту на валу електропривода гвинтового компресора

Такі електроприводи підтримують момент навантаження на широкому діапазоні швидкості, що дозволяє налаштувати та оптимізувати необхідний процес подачі холодоагенту в систему.

Незважаючи на численні переваги, перетворювачі частоти електроприводів також мають деякі недоліки та обмеження. Вони дорого вартісні в установці та обслуговуванні. Використання перетворювачів частоти може супроводжуватися деякими втратами енергії під час процесу конвертації електроенергії, а також можуть генерувати електромагнітні перешкоди, які впливають на інші електронні пристрої та системи. В інших випадках, перетво-

рювачі вимагають додаткових заходів фільтрації для зменшення високочастотних спотворень. У разі виникнення проблем чи несправностей, вимагається кваліфіковане технічне обслуговування.

Частотно-регульовані електроприводи компресорів систем зворотного зрідження етилену потребують подальших досліджень та оптимізації за рахунків зниження електроенергетичних або економічних витрат та підвищення коефіцієнту корисної дії чим можна усунути недоліки використання перетворювачів частоти та підвищити ефективність систем охолодження етилену.

ЛІТЕРАТУРА

1. Agnieszka Wieczorek, Mariusz Giernalczyk. Operational problems of ethylene transport by LPG Gas Carriers. - Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 26, 2019. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/336810351_Operational_Problems_of_Ethylene_Transport_by_LPG_Gas_Carriers
2. Wartsila encyclopedia of Marine and Energy Technology. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/lpg-reliquefaction-plant>
3. Правила класифікації та побудови суден для перевезення зріджених газів наливом. - Регістр судноплавства України, 2019 – 322с. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.shipregister.ua/wp-content/uploads/2022/09/RBCG.pdf>
4. Operation Manual for Gas Plant of LPG /Ethylene Carrier Severnav Hull No.245-3 – 2020.
5. Jaroslav Novak, Jiri Simanek, Radovan Dolecek. EMC of Frequency Controlled Electric Drives – 208. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.radioeng.cz/fulltexts/2008/08_04a_101_105.pdf
6. ABB industrial drives ACS800 catalogue – 2020, 60p.

**РОЛЬ ТА ЗНАЧЕННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ПОТОКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ІЄРАРХІЇ
ЗАГАЛЬНИХ ЕНЕРГОПОТОКІВ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТНОГО СУДНА****О.М. Веретенник**, д.т.н., професор**С.А. Михайлов**, д.т.н., професор**І.М. Кулешов**, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Експлуатація транспортного плавзасобу передбачає наявності на борту судна джерела потенційної енергії і можливості перетворення цієї енергії в необхідну для судна роботу. Будучи автономним об'єктом, транспортний плавзасіб має бути забезпечено енергією для переміщення останнього, енергією для теплообмінних процесів на борту і електроенергією для живлення електрообладнання, систем автоматики і навігації, побутових потреб на борту.

На підставі отриманих результатів дослідження визначено зв'язки між потоками енергії і намічені шляхи забезпечення стабілізації генерації енергії на борту транспортного плавзасобу.

Використання отриманих результатів дослідження дозволить знизити ймовірність виникнення аварійних ситуацій на борту транспортного плавзасобу через зупинку генерації одного з потоків енергії і тим самим забезпечити підвищення безпеки роботи людини на морі.

Ключові слова: Суднова енергетична установка, енергія, генерація енергії.

**THE ROLE AND SIGNIFICANCE OF ELECTRICAL ENERGY FLOW GENERATION IN
THE HIERARCHY OF GENERAL ENERGY FLOWS OF A MARINE TRANSPORT
VESSEL****O.M. Veretennyk**, Ph.D., professor**S.A. Mikhailov**, Ph.D., professor**I.M. Kuleshov**, PhD, Associate Professor

National University «Odesa Maritime Academy»

Abstract: The operation of a transport vessel requires the presence of a source of potential energy on board the vessel and the possibility of converting this energy into the necessary work for the vessel. Being an autonomous object, the transport vessel must be provided with energy for moving the latter, energy for heat exchange processes on board and electricity for powering electrical equipment, automation and navigation systems, household needs on board.

On the basis of the research results, the connections between the energy flows are determined and the ways of ensuring the stabilization of energy generation on board the transport vessel are planned.

The use of the obtained results of the study will reduce the probability of emergency situations on board the transport vessel due to the stoppage of the generation of one of the energy flows and thereby ensure the improvement of the safety of human work at sea.

Key words: Ship power plant, energy, energy generation.

На борту транспортного плавзасобу (ПЗ) суднова енергетична установка (СЕУ) поєднує комплекс устаткування, що генерує потоки енергії – механічної, теплової та електричної [1, 2]. Потенційним джерелом енергії цих генераторів на борту судна є природне вуглеводневе паливо – продукти переробки нафти.

На борту ПЗ генераторами механічної енергії є головні та допоміжні двигуни, в якості яких можуть бути використані двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) [3], парові (ПТУ) або газові турбінні установки (ГТУ) [4].

Як генератори теплової енергії на борту використовуються парові котли: головні (ГК), допоміжні (ДК) або утилізаційні (УК) [5].

Потік електричної енергії (ЕЕ) на борту ПЗ забезпечує обладнання, що входить до складу бортової електростанції. Електростанція відповідно до пот-

реб ПС може включати до свого складу кілька дизель-генераторів (ДГ), утилізаційні турбогенератори (УТГ) та валогенератор (ВГ). В основному як генератори електричної енергії у складі ДГ, УТГ, ВГ використовуються на сучасному рівні розвитку суднобудування як найбільш вивчені синхронні електричні машини.

Основним споживачем потоку механічної енергії на ПС є гідропропулсивний комплекс. Споживачами потоку теплової енергії є суднові механізми та системи, що забезпечують робочі параметри експлуатаційних режимів судна, таких як підігрів вантажу, палива, сепарація палива та олії, а також побутові потреби екіпажу.

Потік електроенергії генерує суднова електростанція. Цей потік забезпечує роботу механізмів та систем судна, що використовують електроприводи: насоси та механізми машинного приміщення, палубне обладнання, навігаційне обладнання тощо. Для забезпечення функціонування генераторів механічної та теплової енергії, необхідна наявність потоку ЕЕ, що живить приводні механізми та системи.

Структура суднової енергетичної установки (СЕУ) сучасного судна як джерело енергопотоків представлена на рис. 1.

У існуючій ієрархії генерації потоків енергії на борту судна потік ЕЕ є первинним. Це визначено необхідністю запуску механізмів та систем, що забезпечують роботу головного двигуна та генераторів теплової енергії. Наявність потоку ЕЕ на борту ПС дає можливість запуску та управління роботою цих генераторів, за допомогою забезпечення збалансованості потоків, що генеруються зовнішнім збуренням, що супроводжують експлуатаційні режими роботи ПС.

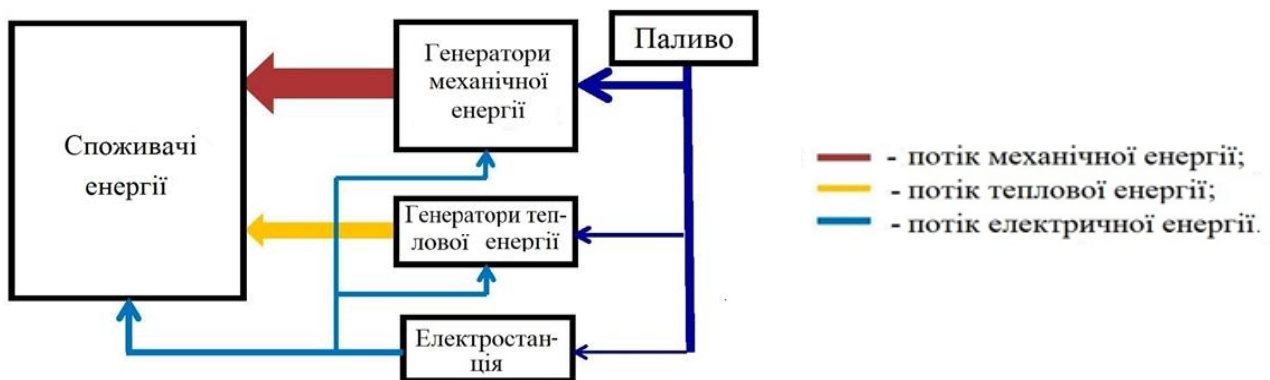


Рисунок 1 – Принципова енергетична схема суднової енергетичної установки

В умовах експлуатації положення про керуючу роль потоку ЕЕ в системі енергозабезпечення судна є домінуючим.

Організацію потоку ЕЕ на борту ПЗ схематично відображено на рис. 2. Як зазначено вище, основні джерела потоку ЕЕ на всіх режимах роботи судна це дизель-генератори або турбогенератори та на ходовому режимі роботи судна вало-і утилізаційні турбогенератори.

Основні регульовані параметри потоку ЕЕ забезпечуються регуляторами напруги автономних генераторів [6] і регуляторами частоти обертання приводних механізмів, але в валогенераторі за рахунок вдосконалення його кон-

струкції і регулюючого приводу, що забезпечує підтримку заданої частоти потоку ЕЕ і діагностики його параметрів [7] .

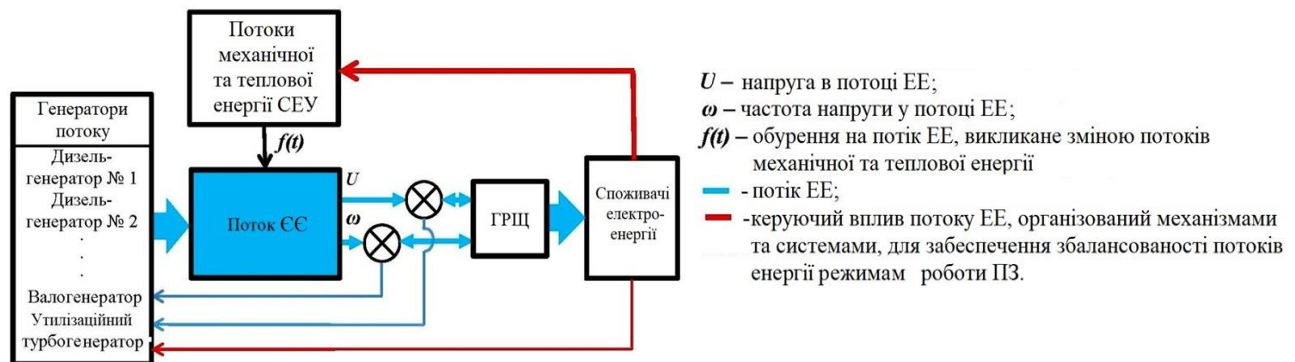


Рисунок 2 – Принципова схема формування потоку електричної енергії

На перехідних режимах роботи ЕУ потоки всіх видів енергій змінюються залежно від реальних завдань ПЗ та експлуатаційних умов. Вирішальним чинником забезпечення необхідного рівня енергії, що виробляється на борту, є стабілізація потоку ЕЕ на різних режимах роботи ПЗ.

Практичний інтерес представляють дослідження, наведені в роботі [6] щодо стабілізації потоку ЕЕ, що забезпечує роботу на борту ПЗ всіх систем і механізмів, що споживають електричну енергію.

Висновки: підвищення ефективності експлуатації СЕУ на різних режимах роботи судна, досягається збалансованістю потоків енергії шляхом стабілізації параметрів потоку електричної енергії [8]. Забезпечивши ПЗ стабільним до зовнішніх збурень потоком ЕЕ, досягається умова забезпечення надійного генерування всіх необхідних видів енергії на борту судна та відповідність їх технічних параметрів експлуатаційним режимам роботи ПЗ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Голиков В.А. Забезпечення енергетичної збалансованості в суднових енергосистемах / Голиков В.А., Вишневський Л.В., Веретенник О.М. // Матеріали науково-технічної конференції «Судові енергетичні установки: експлуатація та ремонт» Частина 1 – Одеса: ОНМА.-2013. с. 8-9.
2. Veretennik Oleksandr, Kulyeshov Igor, Mikhailov Sergey “Analysis of the Relationship of Energy Flows in a Vessel’s Power Plant” TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety at Sea Transportation, DOI: 10.12716/1001.15.03.18, Session P1 - Miscellaneous Problems of Marine Navigation, N 5, September 2021.
3. MARINE ENGINES Power & propulsion solutions/Anglo Belgian Corporation/https://www.abc-engines.com/uploads/files/016_Marine_brochure_digitaal_EN.pdf
4. S. C. McBirnie «Marine, Steam Engines, and Turbines/Elsevier Science/ -2013, 666 p.
5. D.A. Taylor “Introduction to Marine Engineering”/ Elsevier Science/ -2013, 290 p.
6. Вишневський Л.В. Підвищення технікоекономічних показників автономних електроустановок шляхом застосування асинхронних генераторів / Вишневський Л.В., Веретенник А.М., Муха Н.І. //Sciences of Europe (Praha, Czech Republic) vol 2, № 5(5) (2016). - С.67 - 72.
7. Veretennik A., Kulyeshov I., Mikhailov S.: Navigation’s Safety Improving by Efficiently Analysis of the Ship’s Power Plant Energy Flows Interconnection. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 16, No. 1, doi:10.12716/1001.16.01.03, pp. 39-42, 2022
8. Веретенник О.М. Методи підвищення ефективності експлуатації суднової електроенергетичної установки: Монографія/О.М. Веретенник // – Одеса: «ІздатІнформ», 2012. – 224 с.

УДК 656.62:629.5.064-049.34(045)

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІЧКОВИХ СУДЕН ПРИ ПРОХОДЖЕННІ МОСТІВ

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»

***Анотація.** У роботі розглянуті питання забезпечення безпеки судноплавства при проходженні вузькостей, шлюзів, мостів. А також фактори, які можуть привести до аварійних випадків з подальшим ушкодженням гідротехнічних споруд та суден. Розглянуті причини, які ускладнюють рух судна по річці, підхідних каналах. Наведені приклади модернізації та побудови сучасних гібридних установок. Запропонована функціональна схема суднової гібридної системи генерації електроенергії для живлення споживачів.*

***Ключові слова:** гідротехнічні споруди, мости, енергозабезпечення, гібридні системи, акумуляторні батареї, накопичувач електроенергії.*

INCREASING THE RELIABILITY OF ENERGY SUPPLY OF RIVER VESSELS WHEN PASSING BRIDGES

S. Samonov, PhD, Associate Professor
V. Dubovyk, Senior Lecturer
A. Kulbatsky, PhD, Senior Lecturer
National University Odessa Maritime Academy

***Abstract.** The work deals with issues of ensuring the safety of shipping when passing through narrows, locks, and bridges. As well as factors that can lead to accidents with subsequent damage to hydro-technical structures and ships. Considered reasons that complicate the movement of the vessel along the river, approach channels. Examples of modernization and construction of modern hybrid installations are given. The proposed functional scheme of the ship's hybrid power generation system for powering consumers.*

***Key-words:** hydro-technical structures, bridges, energy supply, hybrid systems, batteries, electricity storage.*

В даний час зростають вантажні перевезення морськими та річковими суднами на півдні України. На сьогодні за результатами січня-листопада 2023 року загальні об'єми обробки вантажів в українських портах на Дунаї склали 30 млн тон. Тому питання підвищення безпеки судноплавства морських та річкових суден при проходженні небезпечних ділянок під мостами є актуальним.

На безпеку судноплавства при проходженні вузькостей, шлюзів, мостів мають вплив наступні фактори:

- втрата управління судном при знеструмленні;
- виходу з ладу навігаційного обладнання;
- несправності механізмів, які перешкоджають управлінню судном;
- гідрометеорологічні умови району плавання;
- людський фактор та інші.

Знехтування впливом перерахованих факторів призводить до аварійних випадків з людськими жертвами та ушкодженнями гідротехнічних споруд, вар-

тість яких складає мільйони доларів. Тому задача надійності енергозабезпечення річкових суден електроенергією є важливою.

Системний аналіз аварійних випадків доводить [1], що незважаючи на виконання безпекових організаційних та технічних заходів з боку гідрографічних служб, інспекцій, судноплавних компаній, членів екіпажу трапляються зіткнення суден з мостами, гідротехнічними спорудами. Аварійність флоту на водних шляхах в районах цих споруд складає 19% від загальної кількості аварійних випадків. Причому основна частина цих транспортних пригод відбувається в підхідних каналах і в момент заходу в камери шлюзу (близько 59%) і припадає на частку великогабаритних суден [2,3].

До факторів, що ускладнюють управління рухом судна відносять:

- інтенсивність судноплавства – щільність руху суден;
- замала довжина безпечної ділянки на підходах до мостів, шлюзів з урахуванням гідрометеорологічних та морфологічних умов району плавання, що обумовлює підвищення напруженості в діях екіпажу судна та інші.

На підставі з вищевикладеного слід зазначити, що забезпечення безперервного живлення електроенергією відповідальних споживачів дає можливість якісного управління рухом судна та своєчасного виконання необхідних маневрів.

Виходячи з цього, на судах застосовують гібридні електроенергетичні системи [5] і сучасні типи пропульсивних установок, такі як азіподи та гвинто-рульові колонки (ГРК) [6,7].

Так, наприклад, на судні-паромі після модернізації класичної системи на гібридну систему генерації електроенергії вдалося скоротити час роботи допоміжних дизель-генераторів з 19 годин до 20 хвилин на добу, а також суттєво зменшити споживання палива та викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище [9].

Надійність енергозабезпечення відповідальних судових споживачів в разі гібридних систем забезпечують завдяки використанню кількох джерел електроенергії, а саме: допоміжних дизель-генераторів, валогенераторів, акумуляторних батарей та суперконденсаторів [5,7,9].

Сучасні суперконденсатори в порівнянні з акумуляторними батареями дають можливість зменшити витрати на технічне обслуговування та збільшити час їх експлуатації.

На рисунку 1 показана функціональна схема варіанта судової гібридної системи. До складу системи входять: головні та допоміжні дизель-генератори (G1-G4), аварійний дизель-генератор (АДГ), ГРК (M1,M2), підрулюючі пристрої (M3,M4), керовані одно- та двунаправлені перетворювачі електроенергії, пристрій берегового живлення (БЖ) [8], накопичувачі електроенергії (HE) на батареях акумуляторів або суперконденсаторах.

Взагалі використання акумуляторних батарей або суперконденсаторів, коли відбувається знеструмлення електрообладнання, дозволяє своєчасно забезпечити електроенергією споживачі, які відповідають за рух судна по річці.

Швидкість подачі живлення на відповідальні споживачі регламентується переліком обладнання, яке повинно забезпечити маневрені якості судна.

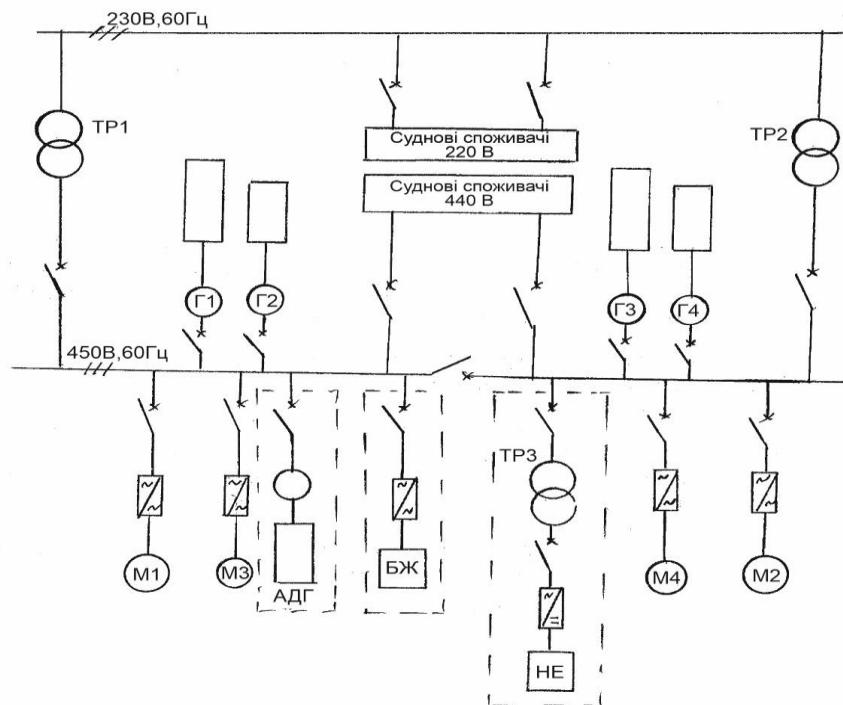


Рисунок 1 – Функціональна схема суднової гібридної системи

Висновки:

1. Суднобудівні компанії, які застосовують гібридні системи енергопостачання заощаджують на паливно-мастильних матеріалах, збільшують терміни міжремонтного періоду дизелів та покращують екологію навколишнього середовища.

2. За рахунок використання декількох джерел електроенергії в різні періоди експлуатації суднових технічних засобів виникає можливість чергувати роботу генераторів, акумуляторів або інших накопичувачів електроенергії.

3. Використовуючи різноманітні схеми гібридних систем можливо підвищити надійність електропостачання відповідальних споживачів під час руху судна при поганих гідрометеорологічних умовах, швидкості течії річки або інших аварійних випадках, які виникають при проходженні суден біля гідротехнічних споруд та мостів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кульбацький А.А., Просвірнін Ю.В., Дубовик В.О., Іванов І.І. Аналіз аварійності суден під мостами/ Науково-теоретична конференція «Судноводіння, морські перевезення та технології» ("Navigation, Shipping and Technology" NST-2023), 16.11.2023 - 17.11.2023. – Одеса: НУ «ОМА».
2. Frandsen A.G. Accidents involving bridges. IABSE Colloquium. Copenhagen, 1983. -In book: Ship Collision with Bridges and Offshore Structures: IABSE report. Vol. 41. - Zurich, 1983. - P. 11-26.
3. Ovchinnikov I.I., Maystrenko I.Yu., Ovchinnikov I.G., Uspanov A.M. (2018). Failures and collapses of bridge constructions, analysis of their causes. Part 4. Russian journal of transport engineering, [online] 1(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/05SATS118.pdf> (in Russian) DOI: 10.15862/05SATS118

4. Стан аварійності та безпеки судноплавства на водному транспорті в Україні <https://marad.gov.ua/storage/app/sites/1/public-information/analiz-avariynosti-za-2019.pdf>.
5. <https://www.danfoss.com/uk-ua/markets/marine-and-offshore/dds/drives-for-propulsion-and-thrusters/#tab-overview>.
6. С.Ф. Самонов, А.А. Кульбацький, В.А. Дубовик Перспективи використання твердотельних аккумуляторних 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>.
7. С.Ф. Самонов, В.О. Дубовик, В.Б. Власов, А.А. Кульбацький Обґрунтування модернізації пропульсивної установки пасажирського судна водотонажністю 2000 тонн/ Матеріали науково-методичної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 23.11.21 – 24.11.2021. – Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С.39-43. <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2021.23.11.21.pdf>.
8. В.А. Шевченко, С.Ф. Самонов, В.О. Дубовик, А.А. Кульбацький Система берегового висковольтного електропостачання суден/ Матеріали науково-методичної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.20 – 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.96-99. <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2020.24.11.20.pdf>.
9. <https://www.danfoss.com/uk-ua/service-and-support/case-studies/dds/battery-retrofit-saves-fuel-and-improves-air-quality/>.

УДК 629.5. – 64.5:621.314.5

AN IMPLEMENTATION EXPERIENCE OF THE SHIP POWER PLANT ENERGY PARAMETERS MONITORING SYSTEM

Mykola Mukha, Dr.Sc, Professor
Alla Drankova, PhD, ass. Professor
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The paper proposes an implementation experience of the powerful consumers energy parameters monitoring system equipped with HIMAP / SYMAP type automatic control and protection devices. It is about the use of the ship's Rina Cube System and Modbus RTU communication network to transmit monitoring results from the ship to the shore computer centre for their further processing and presentation for use by the ship and the company's shore department and services.

Keywords: electricity parameters monitoring, ship electric power system, powerful consumers, Modbus RTU communication network.

ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Микола Муха, д.т.н., професор
Алла Дранкова, к.т.н., доцент
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: у статті наведений досвід реалізації системи моніторингу параметрів електроенергії потужних суднових споживачів, оснащеної пристроями автоматичного керування та захисту типу HIMAP / SYMAP. Йдеться про використання суднової системи Rina Cube Optimum System та комунікаційної мережі Modbus RTU для передачі результатів моніторингу з судна в береговий комп'ютерний центр для їх подальшої обробки та представлення для використання як судном так і береговими службами компанії

Ключові слова: моніторинг параметрів електроенергії, суднова електроенергетична система, потужні споживачі, мережа зв'язку Modbus RTU

There are many ways to improve ship's energy efficiency, but how to focus on the right things? [1].

Energy Efficiency as defined by IMO is the Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) represents a possible approach to monitoring ship and fleet efficiency performance over time. It is also an option to consider when seeking to optimize a ship's performance. The main purpose of a SEEMP is to establish a mechanism through which a company and/or ship can improve the energy efficiency of a ship's operation. A ship specific SEEMP should be linked to a broader corporate energy management policy for the company that owns, operates, or controls the ship. The SEEMP goal is to increase energy efficiency, reduce total fuel costs and, as such, reduce emissions into the air [2-4].

The energy parameters monitoring process of ship's equipment is provided and transmitted to shore computer centre using Rina Cube Optimum System, which install on each company ship. The Rina Cube System basic layout (hardware KIT installation) is Optimum PC, the Signals Converter, Switch, Serial to Ethernet converter, Power Supply Elements, and the functional diagram of the Monitoring System (MS) for the ship's equipment main parameters given in our publications [5-7].

The main goals of creating an MS for monitoring the regime parameters of ship power plants are:

1. Optimization of ship's equipment energy consumption and the ship, i.e., reduction of energy consumption per unit of transported cargo by increasing the energy efficiency of ships, which, on the one hand, will reduce the shipping cost, and on the other, will help reduce air pollution from ships and help reduce of the greenhouse gases marine emissions.

2. Obtaining quantitative estimates of the energy consumption by the company's ships to develop a strategy and methods for energy efficient and energy save management.

What are the main indicators and criteria for that optimization and improvement of the ship equipment performance?

In our opinion, this can be, for example, the efficiency, the power factor of ship's power electrical installations and systems, the operational parameters (characteristics) of ship equipment (for example: main and auxiliary power plants, BWTS, bow thrusters, reefer containers) as well as a specific technological parameter of a certain type of ship that directly or indirectly affects energy consumption: fuel consumption (VAF fuel meters), exhaust gas utilization (scrubbers), optimization of ship operating modes (seagoing, maneuvering modes of the vessel, cargo operations) [8-11].

What ship installations and systems are connected to the MS or can be connected?

Based on the information received from the ships, the following ship systems and installations are connected to the RINA Cube System: the main engine with its systems and mechanisms; main diesel generators (shaft generators) with a distribution system (MSWB) and the main consumers of the generated electricity (deck and engine room mechanisms, cargo complex mechanisms do not yet have directly installed electricity consumption meters) - reefer containers (as a major consumers of

the power electrical plant, about 70-80% when reefer containers are fully loaded). Thus, about 20-30% of the power plant load is not provided by monitoring of energy consumption, and even more when the reefer containers are not fully loaded (those, approximately 20-30% of the consumed fuel is not considered, which in my opinion is not entirely rational).

In this regard, in our opinion, it is necessary to increase the number of consumers for which it is necessary to provide monitoring of energy consumption to have a more complete picture of the ship's energy balance. In this regard, we consider it expedient to use the capabilities of shipboard automatic control and protection devices such as HIMAP, SYMAP (especially high-voltage versions) to connect the maximum possible number of shipboard electricity consumers to the monitoring system, for example, all 440 V consumers in high-voltage power supply systems powered by service voltage transformers 6600/440 V.

The bow thrusters (BT) are one of the most powerful consumers, the operation of which has a significant impact on energy efficiency indicators. An example from practice. When passing the Panama Canal, the BT must be in operation all the time (about 10 hours), but it uses under load is episodic. The power factor of the power electrical plant, especially when the BT is idling 0.4; inefficient use of electricity 0.6. There are quite a lot of similar examples of inefficient use of BTs, for example, during each maneuvering mode of the vessel. Therefore, it seems to us that such a consumer should be included in MS.

To achieve the above goals, the process of implementing the RINA Cube System project at MSC can have several stages related to solving specific problems of connecting ship monitoring objects and transmitting data through the Rina Cube system to the onshore computer Centre for subsequent the monitoring results processing and their corresponding presentation for further use separately by the ships and by the company's onshore departments.

From the viewpoint of rational connection to the ship's monitoring objects, we would suggest two approaches that consider the automation level of the ship equipment and the ship as a whole:

- If for the generators automation and protection on ships, automatic devices (for example, HIMAP, SYMAP, SEPAM, Synpol-D, C6200 Flex GEN, and others) are used that allow obtaining electrical quantities through communication technologies (Modbus RTU, RS-485 connection) without installing additional CTs and PMs, I would suggest using this connection option to the Rina Cube System. As a rule, if ships have these automation devices, then similar devices are also used for automation and protection of reefer containers power supply circuits (and other consumers with a 440-voltage using the above means of automation and protection), which makes it possible to organize monitoring of power supply parameters in the same way. For each of the listed devices, a specific circuit solution is proposed. This approach simplifies the development (or use of the shelf software) of appropriate software or a PC-tools for processing monitoring results and presenting them for further use.

– If such automatic devices are not used to automate and protect generators on ships, then additional PM and CT must be installed to ensure monitoring of the parameters of AE, BT, and reefer containers. At the same time, to organize monitoring of power supply circuits of reefer containers, one should proceed from the fact that it is necessary to ensure monitoring of the total (not individual feeders) energy consumption by all reefer containers, i.e., use one PM and the required number of summing CTs and individual CTs. To this group, I would add those means of automation and protection of generating sets (this applies especially to high-voltage systems), in which there is no possibility of organizing monitoring of the parameters of generated and consumed electricity using network communication technologies. However, in such facilities it is possible to use regular CTs and VTs, installing additionally only PM5560. For example, REF542 devices, where we can use standard high-voltage current transformers (CT secondary current 1A) to connect them to the installed PM5560.

To date, extensive analysis of ship power supply systems (including high voltage), their configurations, automation systems and protection of generator sets, which will determine the optimal configuration of the installed monitoring systems. For example, for a large class of the company's vessels that are equipped with such automation and protection systems as SYMAP, HIMAP, SEPAM, Synpol-D, ACONIS-DS, Mega Guard PMS, MC330, Delomatic etc., the parameters monitoring of generators and refrigerated containers can be performed without installing additional CTs and PMs, using network communication technologies (MOBBAS RTU network and RS-485 connections).

Our consultations with the device manufacturer SYMAP confirmed the indicated approach to connecting such devices via the Modbus RTU network using the RS-485 connection and appropriate settings.

Several circuit solutions have already been developed to organize monitoring of the parameters of high-voltage generator sets, voltage transformers 6600/440 V, which use such automation and protection devices as HIMAP and SYMAP of various models, where installation of additional PMs and CTs are not required. The proposed solutions are based on the use of network communication capabilities of HIMAP/SYMAP devices (Modbus RTU, RS-485 2-wire or 4-wire connection). This approach will also unify the process of processing the received monitoring data, using either the software of these devices or the developed software.

Unfortunately, on several ships where HIMAP and SYMAP are installed, the organization of the Generators parameters monitoring is carried out using the analogue 4-20 mA outputs of these devices. This is, to put it mildly, not the best solution. Moreover, it is completely erroneous and dead-end for the tasks of monitoring parameters. The fact is that in such automation devices, the 4-20 mA analogue output signals have a completely different purpose. They are designed to be used as feedback signals in specific control systems of only ONE of the proposed parameters, such as active power, voltage, current and other. In addition, analogue channels have inherent disadvantages, such as "zero drift" and the constant need for span correction, which affect the measurement result and, accordingly, the adequacy of the readings.

A similar situation with the use of analogue signals 4-20 mA is observed in generator sets, where the Synpol-D automation device is used.

As in HIMAP / SYMAP devices, in Synpol-D devices it is advisable to use the RS422 / 485 port (CMA 136 module) in almost all aspects, through which we receive complete information about all electrical quantities via the Modbus RTU communication network and use the appropriate software to process monitoring results.

As the practical implementation of such systems shows, when choosing a rational structure (connection method, communication interface, communication network), one should also consider the processing and presenting method of received data (software, PC tools).

Monitoring of the electrical parameters of AE (SG) that do not contain the above-mentioned automation and protection devices is carried out using the PM5500 and PM2200 series and the corresponding current transformers (using voltage and current inputs), measurement type: True RMS on three-phase, Power delta method.

In situations where a balanced three-phase load is being monitored, we can choose to connect only one or two current transformers to the phases to be measured, and then set the PM to calculate the current on the unconnected current input (I).

Here, when choosing the number of measuring current transformers, we would suggest the following approach. On ships where semiconductor power converters are not widely used (for example, MSC Gabriella, MSC Capucine R, MSC Jemima, etc.) and, therefore, symmetrical power supply networks (symmetrical motor windings as the main consumers of electricity) can be installed for AE (SG) monitoring, it is possible to quite use 2 CTs.

In the power supply systems of ships that have semiconductor converters (including those ships that have scrubber installations containing 3 frequency converters with a power of about 200 kW each), I would suggest installing CTs in all three phases to obtain correct information on three phases, especially according to those parameters, the calculations for which are made in the PMs.

To monitor the parameters of refrigerated containers, in our opinion, it is possible to limit the use of one CT installed on busbars (cables) extending from the corresponding ABs busbars, or to use a multi-loop measurement technology.

Few more arguments to justify the number of CTs. The decrease in the number of CTs may be due to the assumptions about the symmetry of the ship's power supply systems. Indeed, about 95-97% of electricity consumers on a ship are electric motors of ship mechanisms, which have symmetrical windings. Phase distortions and asymmetries are insignificant here. Therefore, such a PM configuration is quite justified and applicable on ships (mostly of old construction) with a minimum number of power converters, where power quality control can be assessed (by current THD) using two CTs. On ships of a later build, where voltage and frequency converters are introduced and a frequency-controlled electric drive is used, in my opinion, 3 CTs should be used. Here it is important to watch the quality of electricity in three phases.

NOTE of Schneider Electric: For a balanced 3-phases, 3-wire Star ungrounded system, the meter's calculations assume. Balanced 3-phase 3-wire ungrounded system with 2 CTs: the current for the unconnected current input is calculated so that the

vector sum for all three phases equal zero. Balanced 3-phase Star or Delta system with 1CT: the currents for the unconnected current inputs are calculated so that their magnitude and phase angle are identical and equally distributed, and the vector sum for all three phase currents equal zero.

It is also important for RINA to use separate CTs, and not to try to use CTs that provide feedback (especially in analog channels), for example, in AE voltage regulators or in the automation systems of power plants themselves.

For ship automation systems, this is extremely important, since added inclusion of regulators in the return circuits will lead to a violation of the feedback signal level and, accordingly, the regulation properties of the regulators.

About checking the energy consumption of refrigerated containers. Depending on the number of reefer sockets groups, the design features of the bus and cable connection of circuit breakers on the main switchboard, it is advisable to use a multi-circuit CT configuration choice. At the same time, it should also be considered that the refrigerated container load is also basically symmetrical using scrolls compressor scrolls and symmetrical hitters.

The reefer container as a consumer of electricity is quite energy efficient. For example, when calculating the power of a ship power plant 15 years ago, the power consumption of each container was assumed to be 7 kW, now it is about 4 kW, especially when using scroll compressors.

The ship does not directly affect the energy consumption of the containers, their placement on the ship and, accordingly, the connection to the ship's power supply - i.e. This is the commercial side of the issue (not the technical one).

If the ship uses a high-voltage power supply system, then the reefer containers are powered through power voltage transformers, the load of which controlled by automatic devices like generators (HIMAP, SYMAP, SEPAM). Then the monitoring of energy consumption of reef containers is carried out according to the same principle as generators. If there are no such devices on ships, then it is necessary to organize total monitoring of all container reefers by installing CTs on common power buses.

As for watching the energy consumption of thrusters (BT). This is one of the most powerful consumers, the operation of which has a significant impact on energy efficiency indicators. An example from my own practice. When passing the Panama Canal, the BT must be in operation all the time (about 10 hours), use under load is episodic. The power factor of the power plant, especially when the BT is idling 0.4; inefficient use of electricity 0.6. There is quite a similar example of inefficient use of BTs, for example, during each maneuvering mode of the vessel. Therefore, it seems to me that such a consumer should be included in Rina Cube System.

If we follow the goal that was named in item 1, it is necessary to decide the parity of those parameters that the office (Shore) should receive to perform its function of management and control, as well as the vessel for the energy-efficient operation of equipment and resources provided.

The PM5560 devices, by their characteristics (see technical specifications in attached manual), allow obtaining other electrical quantities (including using the proper

service software offered by Schneider Electric.), which can be used to judge the energy-efficient operation of a ship power plant.

There are other considerations to make the most of the PM and associated software. About them and about other things, we can organize a separate discussion.

For example, we are talking about a more rapid response to the operation of a power plant when two AEs are running with approximately the same active power and a very different load current. This is an example of abnormal mode, and this is a typical situation. Such a mode can even led to a blackout, for example, when starting a powerful consumer. With the help of PM, using the proper outputs for alarm, blackout can be prevented by performing a direct correction of the excitation AE.

In our opinion, ships which using Aconis-DS (see Fig. 1), and the capabilities of this smart system on these ships, in our opinion, Rina Cube can be integrated into Aconis-DS via Ethernet Network and receive the required information from any integrated component: generators via Himap-bcg; Himap-FI of the 6 transformers, feeding groups of ref. rosettes; Himap-M (Bow Thruster) and Himap-T of 2 transformers for consumers 440 V.

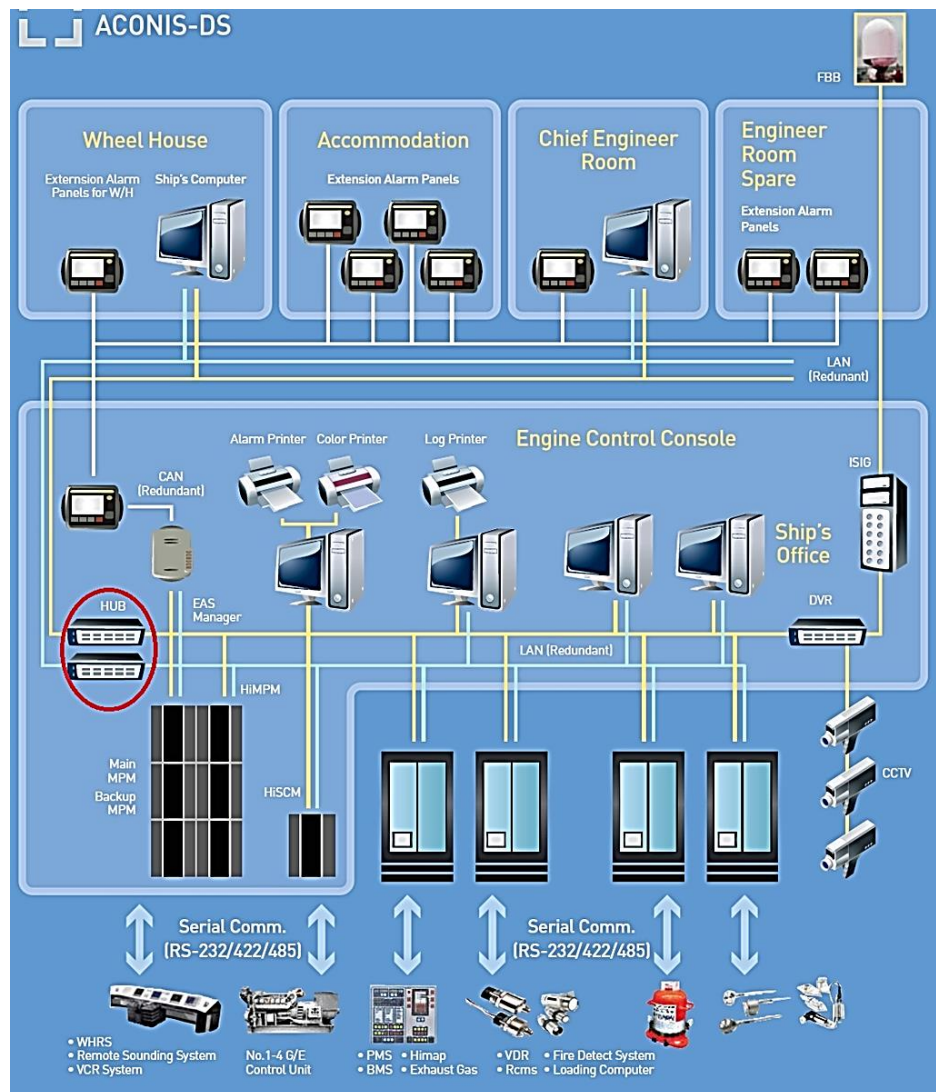


Fig.1 – Aconis DS

Conclusions. As conclusions, I would like to outline our understanding of the use of energy consumption monitoring results both for the company's office and for each vessel.

The functions that can be provided by the office and the vessel based on the data received from the company's vessels through the RINA Cube are as follows (command and control).

The functions that can be implemented by the company office may be the following (Ship electrical network management):

- Monitoring of values such as voltage levels, harmonic distortion, voltage unbalance, residual current (measures the leakage current flowing in the network), dips and swells (measures and captures the waveform in case of voltage dips and surges in the network).

- Ensure the correct operation and maintenance of the ship's electrical networks and equipment.

- Basic power quality monitoring: to prevent adverse events such as heating of transformers, capacitors, motors, generators and malfunction of electronic equipment and protective devices.

- Alarm: notification of any abnormal behaviour in the electrical network now it occurs.

Cost Management: Estimating the cost of electricity for various shipboard electricity consumers.

The implementation of these functions is possible using the service software offered by Schneider Electric.

An example of the implementation of the PM possibility for a ship:

- 1) it is possible to use the PM to control the load currents of AEs in parallel operating mode, and if the difference in the load current readings exceeds the allowable (critical) value, an alarm should be activated on the ship, which will contribute to the timely actions of the crew;

- 2) using the appropriate software, it is possible, for example, to diagnose the state of an electric motor by the instantaneous values of the power consumption (using HIMAP-M of BT on MSC Alina) electric motor received from the HIMAP-M and using neural networks to predict emergency modes.

This is only a small part of the examples of both the direct use of PM (analogue and discrete outputs, as well as network communication capabilities) in ship applications and the use of auxiliary (service) software for processing and subsequent application of PM measurement results.

For each ship (or series of ships) these should be separate and thoughtful decisions.

A very important aspect of the implementation and use of RINA and its capabilities should be the training of personnel: onboard and onshore..

REFERENCES

1. Energy efficiency handbook. Toward zero emission ship operations. Helsinki: ABB Marine & Ports, 2020. – 196 p. 9AKK107680A8255 1.9.2020. <https://new.abb.com/marine/energy-efficiency-handbook>.
2. IMO (2012). Guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP), RESOLUTION MEPC.213(63), Adopted on 2 March 2012.

3. Ship Energy Efficiency Measures. Status and Guidance. ABS Ship Energy Efficiency Measures advisory. – 2013. – 76 p.
4. Implementing a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)- Guidance for shipowners and operators. - Lloyd's Register, June 2012 (version 2.0). – 12 p.
5. Mukha M. On approach and principle of technical implementation of the ship electric power system monitoring parameters [Текст] / М. Mukha, А. Drankova// Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023 – С.124-131
6. M.Mukha, A.Drankova. An implementation example the monitoring energy parameters of the vessel electric power system. IVt International Scientific and Technological Conference "Modern problem of power engineering and ways of solving them", Tbilisi, Georgia, November 20-22, 2023. ENERGY: SERIES: "MODERN PROBLEMS OF POWER ENGINEERING AND WAYS OF SLOVING THEM". - 3(107)/2023, part I. – p.p 21-25.
7. M. Mukha Dynamic compensation of react ive power in ship-based autonomous electric power systems: Dr. tech. sci. diss: 05.09.03/ Lviv Polytechnic National University. Lviv. 2018. 404 p. (Ukr)
8. Burbelo M.Y. Dynamic compensation of reactive power in starting modes of electric drives / M.Y. Burbelo, A.V. Gadai. Monograph. - Vinnytsia: VNTU, 2010. - 104 p. (Ukr)
9. Vyshnevsky L.V. Start of asynchronous electric motors with reactive power compensation / Vyshnevsky L.V., Mukha N.Y., Pavlenko S.S. - Monograph - Odesa: NU "OMA", - 2016. - 161 p. (Rus)
10. Energy efficiency and renewable energy sources / Under general ed. A.K. Shidlovsky - K.: "Ukrainian encyclopedic knowledge", 2007. - 559 p. (Ukr)
11. SYMAP_UsersManual_v4.2_GB.docx User's Manual/STUCKE ELEKTRONIK GMBH. - 02.09.2015 (JH). – 110 p.

Секція 3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

УДК 621.311

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЕЛИЧИНИ ВХІДНОЇ НАПРУГИ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ МОДУЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

О.В. Кочетков, к.т.н., доцент.

О.І. Зарицька, к.т.н., доцент.

Т.О. Гаур, старший викладач

Одеський національний морський університет

Анотація: Проведено аналіз одержаних результатів дослідження впливу величини зміни вхідної напруги на показники якості електричної енергії імпульсних перетворювачів постійної напруги з автотрансформаторним включенням дроселя при граничному режимі функціонування з однофазним та багатофазним принципами перетворення.

Ключові слова: імпульсних перетворювачів постійної напруги, граничний режим функціонування, однофазний та багатофазний принципи перетворення, силові канали з автотрансформаторним включенням дроселів.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE INPUT VOLTAGE ON THE POWER QUALITY INDICATORS OF MODULAR CONSTRUCTION DC VOLTAGE CONVERTERS

O.V. Kochetkov, Ph.D., associate professor.

O.I. Zarytska, Ph.D., associate professor.

T.O. Gaur, senior lecturer

Odessa National Maritime University

Abstract: The analysis of the obtained results of the study of the influence of the change in the input voltage on the indicators of the quality of electrical energy of pulse converters of constant voltage with autotransformer inclusion of the choke at the limit mode of operation was carried out, with the implementation of single-phase and multi-phase principles of conversion.

Key words: pulse converters of constant voltage, limit mode of operation, single-phase and multi-phase principles of conversion, power channels with autotransformer inclusion of chokes.

Однією з найважливіших умов ефективної роботи суднових радіотехнічних та телекомунікаційних систем є оптимальний вибір пристроїв електроживлення, що задовольняють вимогам необхідних якості та надійності.

Імпульсні перетворювачі постійної напруги (ППН) мають високі показники якості та надійності знаходять широке застосування на практиці в сучасних пристроях та системах електроживлення радіотехнічних та телекомунікаційних систем. Тому дослідження імпульсних перетворювачів з метою поліпшення їх якісних показників та питомих характеристик є актуальним завданням [1].

В роботі розглянуто основні показники якості електричних процесів імпульсних перетворювачів постійної напруги понижуючого типу при однофазному та багатофазному принципах перетворення з автотрансформаторним включенням дроселів в силових каналах в граничному режимі функціонування.

Використання автотрансформаторного включення дроселя в силових модулях - силових каналах (СК) дозволяє підвищити ефективність роботи перетворювачів постійної напруги модульної структури [2]. Додатково покращити енергетичні характеристики (зменшити втрати потужності при перемиканні силових ключів) без внесення змін до схем СК дозволяє формування схемою управління (СУ) граничного режиму роботи ППН. У граничному режимі перемикання силових керованих ключів відбувається при струмах дроселів СК $i_{Lk}(t)$ рівних нулю, це дозволяє підвищити ККД, поліпшити динамічні характеристики [1].

Досі в літературі [1, 2] при дослідженнях ППН розглядалися залежності показників якості від величини коефіцієнта накопичення, при різних режимах роботи; числі силових каналів; коефіцієнтах трансформації силових дроселів. Це дозволило вибрати оптимальні умови для функціонування ППН, які забезпечать необхідні показники якості. Однак реалізація такого підходу не дозволяє повною мірою враховувати вплив величини зміни вхідної напруги на показники якості ППН, що особливо важливо при проектуванні перетворювачів, що функціонують в режимі стабілізації.

Реалізація такого підходу дозволить оцінити (відстежити) вплив величини зміни вхідної напруги показники якості. Для аналізу зазначених залежностей у всьому діапазоні зміни напруги живлення необхідно будувати залежність від величини зміни вхідної напруги.

На практиці для оцінки якості електричних процесів використовуються величини пульсацій струмів, як в абсолютному вигляді ΔI - розмах пульсації, так і у відносному вигляді з допомогою коефіцієнтів пульсацій струму K_p [2].

Для оцінки величини пульсацій струмів – змінних складових на вході та виході ППН, скористаємося коефіцієнтами пульсацій струмів:

$$\begin{aligned} K_{\text{пос}} &= \Delta I_{\text{ос}} / 2I_{\text{с}}, \quad K_{\text{пон}} = \Delta I_{\text{он}} / 2I_{\text{н}} \\ K_{\text{пбс}} &= \Delta I_{\text{бс}} / 2I_{\text{с}}, \quad K_{\text{пбн}} = \Delta I_{\text{бн}} / 2I_{\text{н}} \end{aligned} \quad (1)$$

Де, $\Delta I_{\text{ос}}$, $\Delta I_{\text{бс}}$ і $\Delta I_{\text{он}}$, $\Delta I_{\text{бн}}$ розмахи пульсацій струмів, та їх середні значення $I_{\text{ос}}$, $I_{\text{бс}}$ та $I_{\text{он}}$, $I_{\text{бн}}$ відповідно на вході та виході ППН в однофазному (ОП) та багатofазному (БП) імпульсних перетворювачах.

Коефіцієнти пульсацій струмів на вході $K_{\text{пос}}$ і $K_{\text{пбс}}$ і виході $K_{\text{пон}}$ і $K_{\text{пмн}}$ – відповідно для ОП і БП типів, що розглядаються.

При граничному режимі роботи середні значення струмів споживання $I_{\text{с}}$ та навантаження $I_{\text{н}}$ перетворювачів модульної структури з однофазним та багатofазним принципами перетворення визначаються:

$$\begin{aligned} I_{\text{с}} &= NI_{\text{с}k} = NI_{\text{m}1k} K_{\text{н}} / 2; \\ I_{\text{н}} &= NI_{\text{н}k} = NI_{\text{m}1k} (K_{\text{в}} + K_{\text{н}} n_{21} / 2) / 2 n_{21}. \end{aligned} \quad (2)$$

Де, I_{ck} , I_{nk} струми споживання та навантаження k -х СК, N – число СК та n_{21} – коефіцієнт трансформації дроселя, I_{m1k} – розмах пульсацій струму $i_{Lk}(t)$ дроселя k -го СК в індуктивності L_{1k} первинної напівобмотки силового дроселя на інтервалі накопичення. Через коефіцієнт автотрансформації n_{21k} пов'язані індуктивністю дроселя L_{2k} , індуктивність L_{1k} та число витків первинної W_{1k} та вторинної W_{2k} напівобмоток дроселя k -го СК:

$$n_{21k} = W_{2k}/W_{1k}; I_{m1k} = n_{21k} I_{m2k}. \quad (3)$$

Для аналізу характеру зміни величини у вибраному діапазоні, а також більш чіткого уявлення про поведінку (характер зміни) вхідної напруги (U_c) зручніше розглядати залежності у відносному вигляді: $f(\bar{U}_c) = U_c/U_n$

При цьому в режимі стабілізації схема управління перетворювача компенсує будь-яку зміну вхідної напруги, пропорційно змінюючи значення коефіцієнта накопичення (k_n). Але так, як зміна значення коефіцієнта накопичення істотно впливає на показники якості ППН [1, 2], то у зв'язку з цим дуже доцільним тут є оцінка ступеня впливу безпосередньо величини зміни вхідної напруги на показники якості ППН. Очевидно, що ступінь цього впливу також суттєво залежить від числа СК, режиму роботи ППН, величини коефіцієнта трансформації. Для аналізу зазначених залежностей розглянемо (рис. 1, 2) та оцінимо вплив зміни значення величини вхідної напруги на коефіцієнт пульсацій струмів споживання та навантаження ОІП та БІП при різних коефіцієнтах трансформації n_{21} та числі N силових каналів.

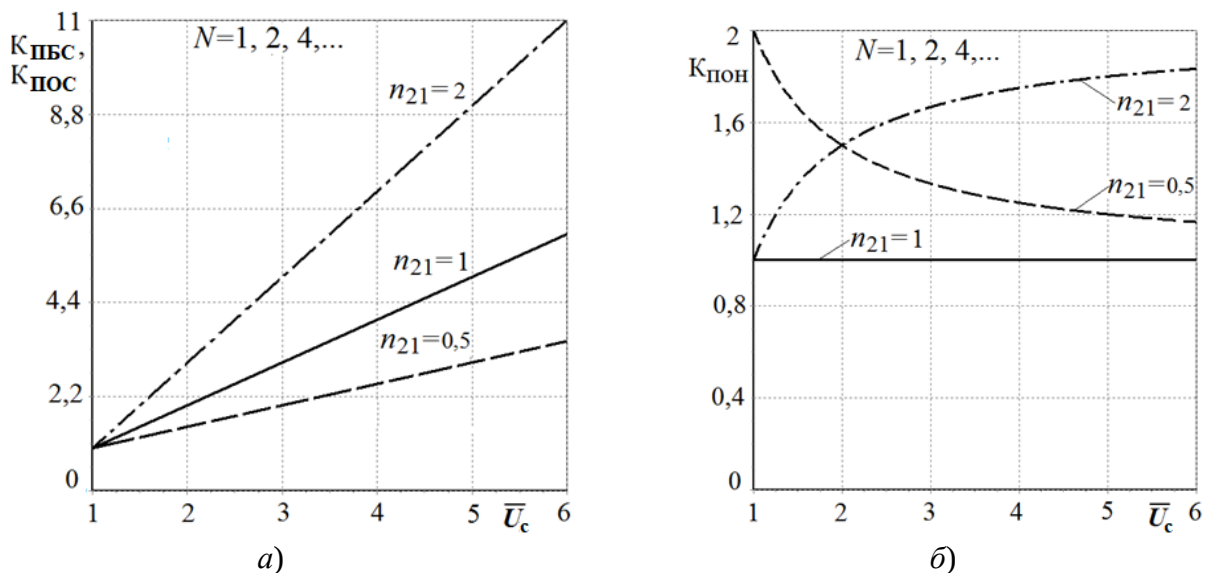


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнтів пульсації на вході $K_{\text{пос}}$ при ОІП, $K_{\text{пбс}}$, при БІП (а), та виході $K_{\text{пон}}$, при ОІП (б) від величини відносної напруги живлення $\bar{U}_c$ при різних коефіцієнтах трансформації n_{21} та числі N силових каналів

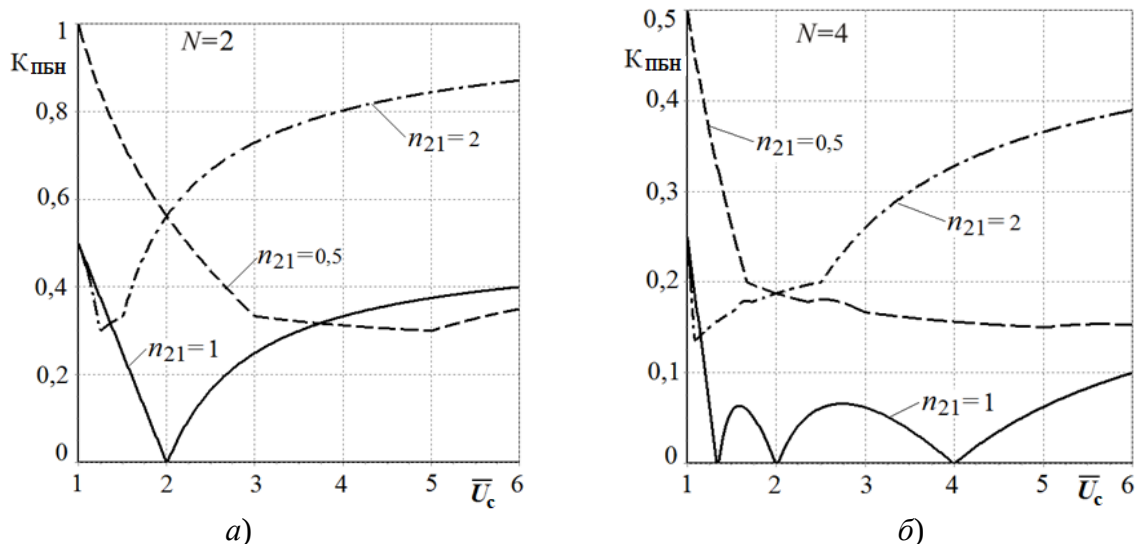


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнтів пульсації на виході БПП $K_{\text{пбн}}$ від величини відносної напруги живлення $\bar{U}_c$ при різних коефіцієнтах трансформації n_{21} та кількості силових каналів $N=2$ (а) та $N=4$ (б)

Аналізуючи наведені на рис.1 залежності можна зробити такі висновки:

1. При будь-якому числі СК та величині коефіцієнта трансформації n_{21} , характер зміни значень коефіцієнтів пульсацій на вході БПП – $K_{\text{пбс}}$ та ОІП – $K_{\text{пос}}$, (рис. 1, а) буде однаковий. Значення коефіцієнтів пульсацій струмів споживання зростає, зі збільшенням відносного напруги $\bar{U}_c$.
2. Для ОІП коефіцієнт пульсацій струмів навантаження буде мінімальним (рівним одиниці) при коефіцієнті трансформації $n_{21}=1$ (рис. 1, б)
3. Для БПП незалежно від значень коефіцієнта трансформації дроселів, при нарощуванні числа N силових каналів, коефіцієнти пульсацій струмів навантаження $K_{\text{пбн}}$ (рис. 2, а, б) у N разів зменшуватимуться. До того ж, коефіцієнти пульсацій $K_{\text{пбн}}$ досягає нуля в точках, де, $\bar{U}_c = N/k - 1$, $k = 1, 2, 3, \dots, N$, причому таких точок у всьому діапазоні зміни значення величини вхідної напруги $\bar{U}_c$ на одиницю менше числа N силових каналів.

Висновки: Таким чином, ефективність фільтрації змінної складової струмів навантаження БПП буде більшою, ніж в аналогічному випадку при ОІП незалежно від величини відносної напруги живлення ($\bar{U}_c \geq 1$).

ЛІТЕРАТУРА

1. Кочетков О.В. Результати дослідження показників якості електричної енергії перетворювачів постійної напруги при граничному режимі функціонування/ О.В.Кочетков, В.М. Машін, Т.О. Гаур, М.В. Вітюк, Р.Ю. Харченко // ВІСНИК одеського національного морського університету № 2 (69), 2023.– С. 64–74. <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2023-2-64-74>
2. 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. 2022 – P. 7-21. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2022-3-1>

УДК 004.93

ЕЛЕКТРИЧНІ ПРОЦЕСИ ПІДВИЩУЮЧИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ МОДУЛЬНОЇ СТРУКТУРИ В ГРАНИЧНОМУ РЕЖИМІ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Р.Ю. Харченко¹ к.т.н., доцент.

О.В. Кочетков², к.т.н., доцент.

Т.О. Гаур², старший викладач

¹Національний університет «Одеська морська академія»

²Одеський національний морський університет

Анотація: Виконано дослідження електричних процесів у вхідному та вихідному ланцюгах перетворювачів модульної структури з однофазним та багатофазним принципами перетворення електричної енергії.

Ключові слова: перетворювачі постійної напруги, однофазний та багатофазний принципи перетворення, силові канали, пульсації

ELECTRICAL PROCESSES OF AMPLIFIERS DC VOLTAGE CONVERTERS MODULAR STRUCTURE IN THE BOUNDARY REGIME FUNCTIONING

R.Yu. Kharchenko¹, Ph.D., associate professor.

O.V. Kochetkov², Ph.D., associate professor.

T.O. Gaur², Senior teacher

¹Odesa Maritime Academy National University

²Odessa National Maritime University

Abstract: Researches electric processes in entrance and target chains of converters of modular structure with single-phase and multiphase principles of transformation of electric energy are executed.

Key words: dc voltage converters, single-phase and multiphase conversion principles, power supply channels, ripples.

Останніми роками сучасне суднове електронне устаткування виконує дедалі складніші завдання й потребує у процесі свого функціонування надійнішого та якісного електроживлення. Для цього на практиці широко використовуються перетворювачі постійної напруги (ППН) модульної структури побудови з імпульсним методом перетворення та регулювання електричної енергії. [1].

Для вдосконалення та підвищення ефективності ППН проведено дослідження, частину яких представлено у роботах [1, 2, 3]. Однак відсутність результатів досліджень коефіцієнтів пульсацій ППН модульної структури в граничному режимі функціонування з однофазним та багатофазним принципами перетворення стримує широке використання таких перетворювачів на практиці.

При аналізі пульсацій струмів в ППН модульної структури використовують величини розмахів змінної складової в ланцюгах споживання ΔI_{oc} , ΔI_{bc} і навантаження ΔI_{on} , ΔI_{bn} відповідно в однофазному (ОП) і багатофазному (БП) імпульсних перетворювачах. При цьому щоб виключити вплив зміни величини потужності та виявити характер зміни пульсацій у всьому діапазоні регулювання доцільно перейти до їх аналізу у відносному вигляді за допомогою коефіцієнтів пульсацій [1].

Коефіцієнти пульсацій на вході (споживання) $K_{\text{пос}}$ та $K_{\text{пбс}}$ та виході (навантаження) $K_{\text{пон}}$ і $K_{\text{пбн}}$ – відповідно для однофазного та багатозафазного принципів перетворення визначаються співвідношенням:

$$K_{\text{пос}} = \Delta I_{\text{ос}} / 2I_{\text{с}}, \quad K_{\text{пон}} = \Delta I_{\text{он}} / 2I_{\text{н}} \quad (1)$$

$$K_{\text{пбс}} = \Delta I_{\text{бс}} / 2I_{\text{с}}, \quad K_{\text{пбн}} = \Delta I_{\text{бн}} / 2I_{\text{н}}$$

За допомогою розробленого програмного забезпечення [2, 3] побудовано залежності коефіцієнтів пульсації струмів на вході та виході ОІП і БІП представлені на рис. 1.

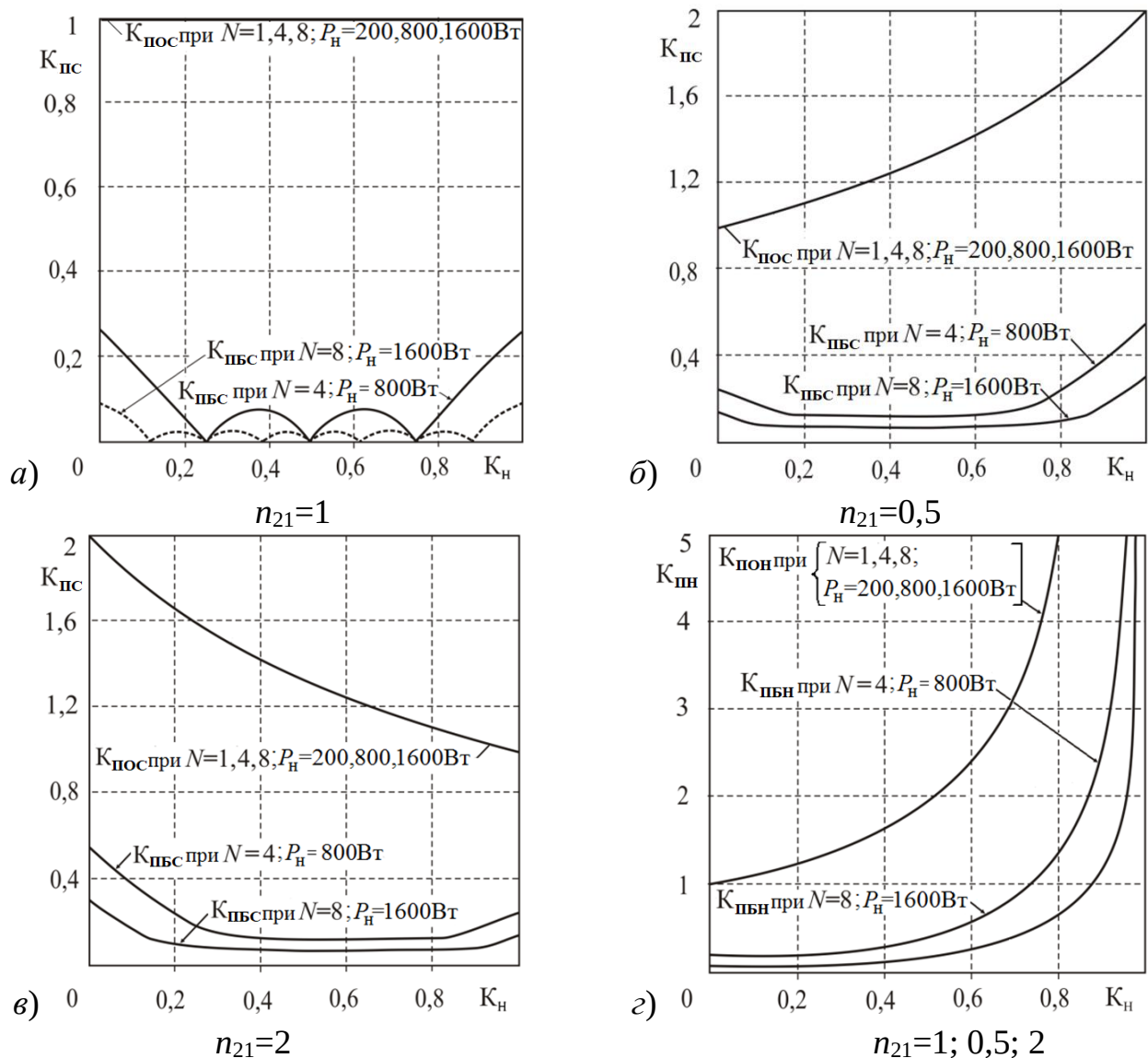


Рисунок 1 – Залежності коефіцієнтів пульсації струмів на вході $K_{\text{пос}}$ та $K_{\text{пбс}}$ та виході $K_{\text{пон}}$ та $K_{\text{пбн}}$ відповідно ОІП і БІП

З залежностей (рис. 1) випливає, що коефіцієнти пульсації і для ОІП, і для

БІП, не залежать від потужності P_n в ланцюзі навантаження, так як зі збільшенням потужності P_n перетворювача пропорційно збільшуються і розмахи пульсацій струмів ΔI_{oc} , ΔI_{bc} і ΔI_{on} , ΔI_{bn} , та середні значення струмів I_c (споживання), та I_n (навантаження), відповідно на вході та виході ППН.

В ОП модульної структури коефіцієнти пульсацій на вході K_{pos} і виході K_{pon} залишаються рівними коефіцієнтам пульсації окремо взятого k -го силового каналу (СК) відповідно на вході K_{sk} і виході K_{nk} .

Висновки. В результаті проведеного аналізу зазначимо, що:

- при коефіцієнтах трансформації дроселів $n_{21} \neq 1$ коефіцієнти пульсацій на вході та при однофазному K_{ps} , і при багатofазному K_{pbs} принципах перетворення, порівняно з $n_{21} = 1$, збільшуються;
- Збільшення числа N силових каналів - СК при однофазному режимі не впливає на коефіцієнти K_{pos} , K_{pon} , а при багатofазному - призводить до зменшення K_{pbs} , K_{pbn} .

ЛІТЕРАТУРА

1. Кочетков О.В. Підвищення ефективності енергосистем суднового електричного обладнання при використанні перетворювачів напруги з імпульсним регулюванням / О.В.Кочетков // Матеріали ІХ міжнародної науково-технічної конференції "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика" (СЕЕА-2019) 5 – 6 листопада 2019р. – Одеса: НУ «ОМА», 2019. – С. 47–50.
2. 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. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2022-3-1>
3. Кочетков О.В., Гаур Т.О., Харченко Р.Ю. Покращення показників якості електричної енергії перетворювачів постійної напруги / Electrical and Power Engineering and Electromechanics (EPEE 2023). Odesa, Ukraine, June 15, 2023: proceedings. Odesa Military Academy, 2023. – P. 39-40.

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

УДК 629.XXX

**ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУР У ВТУЛЦІ ЦИЛІНДРА СУДНОВОГО
ДИЗЕЛЯ МЕТОДОМ ІНТЕГРАЛЬНИХ РІВНЯНЬ****В.Г. Попов**, д.ф.-м.н, професор
Національний університет «Одеська морська академія»

Здійснено математичне моделювання розподілу температури у втулці циліндру суднового дизеля. Запропонована математична модель враховує зміну граничних умов на бічній поверхні втулки і ґрунтується на приведенні вихідної крайової задачі до системи інтегральних рівнянь. Розв'язання цієї системи здійснено методом ортогональних многочленів.

Ключові слова: втулка циліндра, температура, інтегральне рівняння, метод ортогональних многочленів

**DETERMINATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE CYLINDER BUSH
OF A MARINE DIESEL ENGINE BY THE METHOD OF INTEGRAL EQUATIONS****V. Popov**, Dr. of Science, Professor
National University «Odessa Maritime Academy»

Mathematical modeling of the temperature distribution in the cylinder bush of a marine diesel engine is fulfilled. The proposed mathematical model takes into account the change of the boundary conditions on the side surface of the bush and is based on reducing the original boundary value problem to a system of integral equations. The solution of this system is fulfilled by the method of orthogonal polynomials.

Key-words: cylinder bush, temperature, integral equation, method of orthogonal polynomials.

Визначення і дослідження теплового стану деталей ДВЗ в останній час все частіше ґрунтується на математичному моделюванні процесу теплообміну. Таке моделювання вимагає розв'язання двовимірних та тривимірних крайових задач для тіл, геометрія яких визначається конструкцією деталі. Для цього поширеним є використання прямих числових методів, зокрема, методу скінченних елементів (МСЕ). [1-4]. Основна перевага цього методу полягає у можливості його застосування у випадку деталей будь-якої форми, без спрощуваних припущень. Але розгляд реальної форми вимагає здійснення розбиття деталей ДВЗ на велику кількість (до декількох мільйонів [3]) елементів. Це, в свою чергу, приводить до необхідності розв'язання гігантських систем, пропорційних кількості алгебраїчних рівнянь. Але розбиття деталей на подібну кількість елементів і розв'язання систем лінійних рівнянь відповідного розміру потребує наявності надпотужної обчислювальної техніки і спеціального програмного забезпечення, які не завжди доступні. Тому актуальним є створення більш простих числово-аналітичних методів математичного моделювання теплового стану деталей ДВС, зокрема, втулки циліндру. В роботі [5] показано, що проблема математичного моделювання розподілу температури у втулці циліндра може бути приведена до розв'язування системи інтегральних рівнянь. При цьому, згідно

[4], [6] здійснювалось наступне розбиття поверхні втулки на підобласті та за-
 вдання граничних умов (Рис. 1).

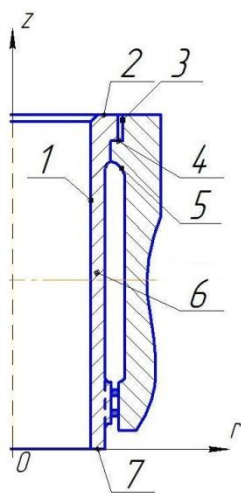


Рис. 1. Умови теплообміну на поверхні втулки циліндру

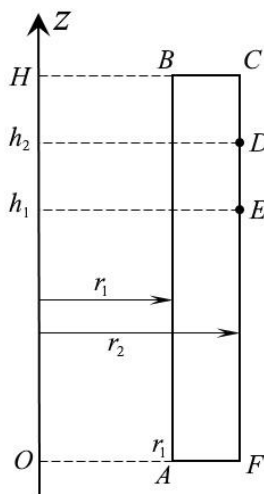


Рис. 2. Моделювання втулки циліндром сталої товщини

Область 1. Це внутрішня пове-
 рхня втулки і тут, як рекомендується
 в літературі [1-4], задаються гранич-
 ні умови третього роду.

Область 2. Верхній торець вту-
 лки, який ізолюється від головки
 блоку циліндру прокладкою, що за-
 побігає теплообміну. Це означає рі-
 вність нулю теплового потоку.

Область 3. Це зона теплового
 зазору між втулкою та блоком цилін-
 дрів. Тут теж припускається відсу-
 тність теплообміну і рівність нулю
 теплового потоку.

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

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

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

Розподіл температури у втулці визначається рівнянням:

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

При формулюванні граничних умов [5] здійснено спрощення форми втул-
 ки, показане на Рис. 2. При такому спрощенні теплообміном в області 4 (рис. 1)
 нехтуємо з огляду її незначної площі. В інших областях поверхні втулки грани-
 чні умови формулюються згідно сказаному вище:

$$\begin{aligned} AB: & \alpha_g (T(r_1, z) - T_g) + \lambda \frac{\partial T}{\partial r}(r_1, z) = 0, \quad 0 < z < h; \quad BC: \quad \frac{\partial T}{\partial z}(r, H) = 0; \quad r_1 < r < r_2; \\ CD: & \frac{\partial T}{\partial r}(r_2, z) = 0; \quad h_2 < z < H; \quad DE: \quad T(r_2, z) = T_B; \quad h_1 < z < h_2; \\ EF: & \alpha_c (T(r_2, z) - T_c) + \lambda \frac{\partial T}{\partial r}(r_2, z) = 0, \quad 0 < z < h_1; \quad FA: \quad \frac{\partial T}{\partial z}(r, 0) = 0, \quad r_1 < r < r_2. \end{aligned} \quad (2)$$

У (1), (2) позначено: T_g – температура середовища в середині циліндра;
 T_c – температура охолоджуючої рідини; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріа-

лу втулки; α_g – коефіцієнт теплопередачі від середовища в циліндрі до втулки; α_c – коефіцієнт теплопередачі від втулки до охолоджуючої рідини.

В роботі [5] показано, що шляхом розв’язання допоміжної крайової задачі з наступними умовами на зовнішній поверхні втулки

$$\frac{\partial T}{\partial r}(r_2, z) = \begin{cases} g_1(z), z \in (0, h_1); \\ g_2(z), z \in (h_1, h_2); \\ 0, z \in (h_2, H), \end{cases} \quad (3)$$

крайова задача (1), (2) приводиться до системи інтегральних рівнянь відносно невідомих функцій $g_1(z), g_2(z)$. Ця система після приведення до проміжку $[0, 1]$ має вигляд:

$$\begin{aligned} \varphi_1(\tau) - \varepsilon_c \theta_1 \int_0^1 \varphi_1(\tau) U(\theta_1 \tau, \theta_1, \theta_1 \zeta) d\tau - \varepsilon_c \Delta \theta \int_0^1 \varphi_2(\tau) U(\tau \Delta \theta + \theta_1, \theta_1 \zeta) d\tau &= -\varepsilon_c (1 - q_c); \\ \int_0^1 \varphi_1(\tau) U(\theta_1 \tau, \zeta \Delta \theta + \theta_1) d\tau + \int_0^1 \varphi_2(\tau) U(\tau \Delta \theta + \theta_1, \zeta \Delta \theta + \theta_1) d\tau &= 1 - q_b, 0 \leq \zeta < 1. \end{aligned} \quad (4)$$

В (4) прийнято наступні позначення:

$$\begin{aligned} U(X, Y) &= B_{20} + \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{B_{2k}}{k D_k} \cos(\pi k X) \cos(\pi k Y); \quad B_{20}(r) = \frac{\rho_2}{\varepsilon_g \rho_1} \left(1 - \varepsilon_g \rho_1 \ln \frac{r_2}{r_1} \right); \\ B_{2k}(r) &= a_k K_0(\pi k \rho_2) - b_k I_0(\pi k \rho_2); \quad D_k = a_k K_1(\pi k \rho_2) + b_k I_1(\pi k \rho_2); \quad a_k = \varepsilon_g I_0(\pi k \rho_1) + \pi k I_1(\pi k \rho_1); \\ b_k &= \varepsilon_g K_0(\pi k \rho_1) - \pi k K_1(\pi k \rho_1); \quad \rho_j = r_j H^{-1}; \theta_j = h_j H^{-1}, j = 1, 2; \Delta \theta = \theta_2 - \theta_1, \bar{\theta} = \theta_2 + \theta_1; \\ \varepsilon_c &= \alpha_c H \lambda^{-1}, \varepsilon_g = \alpha_g H \lambda^{-1}, q_b = T_b T_g^{-1}, q_c = T_c T_g^{-1}. \end{aligned}$$

Невідомі функції $\varphi_1(\tau), \varphi_2(\tau)$ пов’язані з функціями з умов (3) такими співвідношеннями:

$$g_1(h\tau) = T_g H^{-1} \varphi_1(\tau); g_2((h_2 - h_1)\tau + h_1) = T_g H^{-1} \varphi_2(\tau). \quad (5)$$

Розв’язок системи (4) будемо методом ортогональних многочленів з врахуванням того, що розподіл температур по зовнішній поверхні $r = r_2$ має бути неперервним, а теплові потоки обмеженими. Тому використовується розклад по зміщеним многочленам Лежандра, ортогональним на проміжку $[0, 1]$:

$$\varphi_j(\tau) = \sum_{m=0}^{\infty} \varphi_{jm} P_m(1 - 2\tau). \quad (6)$$

Після підстановки (6) у (4) і здійснення процедури ортогоналізації переходимо до нескінченної системи лінійних алгебраїчних рівнянь, до якої застосовано метод редукції. Нехай $N+1$ – кількість рівнянь у редуційованій системі. Після її розв’язання температурне поле у втулці наближено може бути знайдено за формулами [5]:

$$T(r, z) = T_g \left[1 - \theta_1 B_0(r) \varphi_{01} - \frac{2\theta_1}{\pi} \sum_{m=0}^N \varphi_{1m} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{B_k(r) C_{mk}^1}{k D_k} \cos \frac{\pi k z}{H} - \Delta \theta B_0(r) \varphi_{02} - \right. \\ \left. - \frac{2\Delta \theta}{\pi} \sum_{m=0}^N \varphi_{2m} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{B_k(r) C_{mk}^2}{k D_k} \cos \frac{\pi k z}{H} \right], \\ B_0(r) = \frac{\rho_2}{\varepsilon_g \rho_1} \left(1 - \varepsilon_g \rho_1 \ln \frac{r}{r_1} \right); B_k(r) = a_k K_0(\pi k r / H) - b_k I_0(\pi k r / H); k = 1, 2, \dots \quad (7)$$

За формулою (7) здійснено розрахунок $T(r_1, H\xi)/T_g$ і $T(r_2, H\xi)/T_g$ на внутрішній та зовнішній поверхні втулки при наступних даних [7]:

$$H = 0.98 \text{ м}; r_1 = 0.13 \text{ м}; r_2 = 0.145 \text{ м}; h_1 = 0.83 \text{ м}; h_2 = 0.93 \text{ м};$$

$$T_y = 700^\circ \text{C}; \lambda = 70 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}; \alpha_y = 1200 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}}; \alpha_0 = 2300 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}}.$$

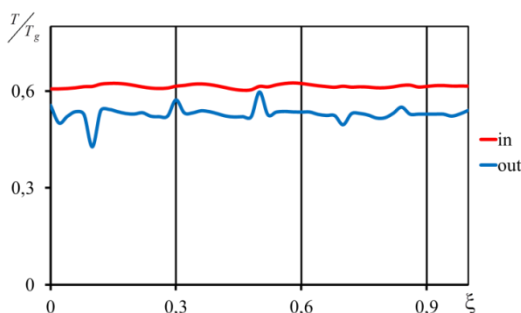


Рис. 3

Результати розрахунків показано у вигляді графіків на Рис.3. При наближеному розв'язку системи інтегральних рівнянь (4) у розкладанні (6) утримувалось 15-20 доданків, що забезпечує отримання значень температури з відносною похибкою, меншою 0.1 %.

Висновки. При врахуванні зміни граничних умов по поверхні втулки циліндра ДВЗ відповідна крайова задача відповідна крайова

задача для рівняння теплопровідності може бути зведена до системи інтегральних рівнянь. Числове розв'язання цієї системи дає можливість отримати аналітичний вираз для розрахунку температур і, на відміну від МСЕ, не потребує спеціального програмного забезпечення та надпотужної обчислювальної техніки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гонторовський П.П. Числове моделювання теплового та напружено-деформівного стану гільзи циліндра форсованого транспортного дизеля / П.П. Гонторовський, Н.М. Гармаш, А.М. Левтеров, А.Ю. Фокін // Зб.наукових праць ХДПУ. –1999. – № 7. –С. 255-259.
2. Строков А.П. Розрахункова оцінка теплонапруженого стану гільзи циліндра форсованого транспортного дизеля / А.П. Строков, А.М. Левтеров, А.М. Авраменко // Двигуни внутрішнього згоряння.–2009. – № 2. –С. 53-57.
3. Бабіч А.А. Розрахункова оцінка теплового стану поршня форсованого транспортного дизеля / А.А. Бабіч, С.А. Громов, А.М. Левтеров // Двигуни внутрішнього згоряння.–2016. – № 1. –С. 40-44.
4. Сатжанов Б.С. Моделювання теплопередачі в циліндрі поршневого двигуна / Б.С. Сажанов // Вісник АДТУ.–2008. – № 5 (46). –С. 149-152.
5. Попов В.Г. Застосування інтегральних рівнянь при математичному моделюванні теплового стану втулки циліндру судового дизеля / В.Г. Попов // Матеріали міжнародної наукової конференції « Суднова електроінженерія, електромеханіка і автоматика», НУ «ОМА». –2022. – №. –С. 28-31.
6. Пахомова Н.В. Модернізація системи охолодження форсованого судового ДВС на основі моделювання процесу теплопередачі / Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук. –2015. –174 с.
7. Попов В. Г. Математичне моделювання розподілу температури у втулці циліндра судового двигуна / В.Г. Попов // Матеріали міжнародної наукової конференції « Суднова електроінженерія, електромеханіка і автоматика», НУ «ОМА». –2021. – № 6. –С. 60-63.

ДВА МІЖФАЗНИХ ВКЛЮЧЕННЯ В НЕОДНОРІДНІЙ АНІЗОТРОПНІЙ ПЛОЩИНІ

К. М. Архипенко, к. ф.-м. н., доцент

О.Ф. Кривий, д. ф.-м. н., професор

Національний університет «Одеська Морська Академія»

Анотація: Розглянуто задачу про два міжфазних включення у неоднорідній анізотропній площині. На берегах включень реалізовані умови гладкого контакту та повного зчеплення. Задачу зведено до системи сингулярних інтегральних рівнянь, розв'язок якої отримано методом ортогональних многочленів. Отримані формули для обчислення коефіцієнтів інтенсивності напружень у вершинах включень.

Ключові слова: міжфазне включення, анізотропна площина, коефіцієнт інтенсивності напружень.

TWO INTERFACIAL INCLUSIONS IN NONHOMOGENEOUS ANISOTROPIC PLANE

K. M Arkhypenko, Ph.D., Assistant Professor

O. F. Kryvyi, Dr. Sci., professor;

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The problem of two interfacial inclusions in an inhomogeneous anisotropic plane is considered. On the shores of the inclusions, the conditions of smooth contact and full adhesion are realized. The problem is reduced to a system of singular integral equations, the solution of which is obtained by the method of orthogonal polynomials. Formulas for calculating stress intensity factors at the tops of inclusions are derived.

Key-words: interfacial inclusion, anisotropic plane, stress intensity factor.

Задачі про міжфазні дефекти в кусково-однорідному анізотропному середовищі лежать в основі математичного моделювання процесів руйнування, є важливою науково-практичною проблемою. Ці проблеми в різній постановці присвячено багато досліджень [1 – 24]. У даній роботі розглянуто задачу про неоднорідну площину, що складається з двох різних анізотропних півплощин. На лінії з'єднання півплощин (вісь Oy) розміщено два міжфазні тонкі включення. На берегах включень реалізовані різні види їх взаємодії з півплощинами: на одному з включень $L_1 = \{x = 0, y \in [-a; 0]\}$ – умови гладкого контакту, на іншому $L_2 = \{x = 0, y \in [b; c]\}$ – повного зчеплення. На нескінченості прикладено сили, які призводять 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.

Використовуючи інтегральні співвідношення [1, 3, 7, 8], поставлену задачу зведено до систем сингулярних інтегральних рівнянь (СІР) відносно невідомих стрибків нормального $H_1^-(y)$, $y \in L = L_1 \cup L_2$ та дотичного $H_2^-(y)$, $y \in L_2$ напружень і стрибка дотичного переміщення $H_3^-(y)$, $y \in L_1$:

$$\begin{cases} b_{21}H_1^-(y) + c_{21} \cdot \Gamma[H_1^-](y) + \sum_{j=2}^3 c_{2j} \cdot \Gamma_{4-j}[H_j^-](y) = 0 \\ -b_{21}H_3^-(y) + c_{41} \cdot \Gamma[H_1^-](y) + \sum_{j=2}^3 c_{5-j,j} \cdot \Gamma_{4-j}[H_j^-](y) = 2l\delta_1 \end{cases} \quad y \in L_1 \quad (1a)$$

$$\begin{cases} b_{31}H_1^-(y) + c_{21} \cdot \Gamma[H_1^-](y) + \sum_{j=2}^3 c_{5-j,2} \cdot \Gamma_{4-j}[H_j^-](y) = 0 \\ -b_{31}H_2^-(y) + c_{41} \cdot \Gamma[H_1^-](y) + \sum_{j=2}^3 c_{5-j,1} \cdot \Gamma_{4-j}[H_j^-](y) = 2l\delta_2 \end{cases} \quad y \in L_2 \quad (16)$$

$$\Gamma[f](y) = \frac{1}{\pi} \int_L \frac{f(t)}{t-y} dt, \quad \Gamma_j[f](y) = \frac{1}{\pi} \int_{L_j} \frac{f(t)}{t-y} dt, \quad j=1,2,$$

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:

$$\int_{L_1} H_1^-(y) y dy = P_0^{(1)} \quad \int_{L_1} H_1^-(y) dy = P_1^{(1)} \quad \int_{L_1} H_3^-(y) dy = 0 \quad (2a)$$

$$\int_{L_2} H_1^-(y) y dy = P_0^{(2)} \quad \int_{L_2} H_1^-(y) dy = P_1^{(2)} \quad \int_{L_2} H_2^-(y) dy = P_2^{(2)} \quad (26)$$

Застосовуючи метод, використаний у роботах [1 – 4, 23], системи СІР (1) зведено до систем СІР, які наведемо у матричній формі:

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

де $\mathbf{J}^{(k)}, k=1,2$ – жорданові матриці, а $\mathbf{G}^{(k)}(y), k=1,2$ – 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 включення L_1 степеневу особливість, а $\mathbf{G}^{(2)}(y)$ мають у вершинах включення L_2 кореневу особливість підсилену осциляцією. Останнє дозволяє шукати невідомі функції у вигляді рядів за многочленами Якобі:

$$g_j^{(k)}(t) = (1-t)^{-\gamma_j^{(k)}} (1+t)^{-1+\gamma_j^{(k)}} \sum_{n=0}^{\infty} q_{jn}^{(k)} P_n^{-\gamma_j^{(k)}, -1+\gamma_j^{(k)}}(t), \quad k, j=1,2 \quad (4)$$

$$\gamma_j^{(1)} = \frac{1}{2} + (-1)^j \alpha_{01}, \quad \gamma_j^{(2)} = \frac{1}{2} + i(-1)^j \alpha_{02}.$$

Для визначення невідомих коефіцієнтів $q_{jn}^{(k)}$ до систем СІР(3) застосуємо метод ортогональних многочленів, який дозволяє отримати нескінчену систему лінійних рівнянь:

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

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

Розвинення (4) дає можливість отримати формули для узагальнених коефіцієнтів інтенсивності напружень (УКІН) у вершинах включень:

$$K1_1^{\pm} = \frac{\sqrt{a}}{2l} \left| \left(r_{14}^{+} \cdot S_{11}^{(1)} + r_{24}^{+} \cdot S_{21}^{(1)} \right) \left(\sqrt{1 - \alpha_{02}^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{q_{1n}^{(1)} (0.5 \mp i \alpha_{01})_n}{(\pm 1)^n n!} \pm \frac{2P_1^{(1)}}{\pi a} \right) \right|, \quad (6)$$

$$K2_1^{\pm} = \frac{\sqrt{a}}{2l} \left| \left(r_{34}^{+} \cdot S_{11}^{(1)} + r_{14}^{+} \cdot S_{21}^{(1)} \right) \left(\sqrt{1 - \alpha_{01}^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{q_{2n}^{(1)} (0.5 \mp i \alpha_{01})_n}{(\pm 1)^n n!} \pm \frac{2P_2^{(1)}}{\pi a} \right) \right|$$

$$K1_2^{\pm} = \frac{\sqrt{c-b}}{2l} \left| \left(r_{14}^{+} \cdot S_{11}^{(2)} + r_{24}^{+} \cdot S_{21}^{(2)} \right) \left(\sqrt{1 - \alpha_{02}^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{q_{1n}^{(2)} (0.5 \mp \alpha_{02})_n}{(\pm 1)^n n!} \pm \frac{2P_1^{(2)}}{\pi(c-b)} \right) \right|$$

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.

Висновки. Отримані формули (6) для узагальнених коефіцієнтів інтенсивності напружень, дозволяють дослідити вплив на напружений стан неоднорідного анізотропного середовища прикладених до нього зовнішніх сил, анізотропних властивостей півплощин 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. Arkhypenko 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
5. Kryvyi O. The discontinuous solution for the piece-homogeneous transversal isotropic medium // Modern Analysis and Applications. – Ser. Operator Theory: Advances and Applications. – Vol. 191. – Basel: Birkhäuser, 2009. – P. 395–406. – https://doi.org/10.1007/978-3-7643-9921-4_25.
6. В.В Ефимов, А.Ф Кривой, Г.Я Попов. [Задачи о концентрации напряжений возле кругового дефекта в составной упругой среде](#) // Изв. РАН. МТТ– 1998. – 33, No. 2. – С. 35–49.
7. A.F Krivoi, M.V Radiollo. [Specific features of the stress field near inclusions in a composite anisotropic plane](#) // Izv. Akad. Nauk SSSR, Mekh. Tverd. Tela. 1984, 3, 84 – 92 pp.
8. А.Ф Кривой, Г.Я Попов. [Межфазные туннельные трещины в составном анизотропном про-](#)

[странстве](#)// Прикладная математика и механика, 2008, 72, №4, С. 689 – 700.

9. Kryvyi O. F. Mutual influence of an interface tunnel crack and an interface tunnel inclusion in a piecewise homogeneous anisotropic space // J.Math. Sci. – 2015. – 208, №4. – P. 409-416. - [https:// doi.org/10.1007/s10958-015-2455-9](https://doi.org/10.1007/s10958-015-2455-9).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

23. Kryvyi O. F. [Tunnel inclusions in a piecewise homogeneous anisotropic space](#). Mat. Metody Fiz.-Mekh. Polya. 2007.- 50, 55-65

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

УДК 621.436

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ МАСТИЛЬНОГО ШАРУ В ПАРАХ КОВЗАННЯ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

М. О. Кривий, аспірант

Національний Університет «Одеська Морська Академія»

Анотація: Задача визначення гідродинамічного тиску в робочій зоні пари ковзання за відсутності витікання мастил із торців (плоска задача) зведена до диференціального рівняння Рейнольдса, для якого отриманий точний розв'язок. На основі останнього і методів регресійного аналізу отримані нові математичні моделі для визначення кутів початку і кінця робочої зони пари ковзання. Проведений числовий аналіз отриманих результатів.

Ключові слова: пара ковзання, рівняння Рейнольдса, робоча зона, математичні моделі.

MATHEMATICAL MODELS OF LUBRICANT LAYER IN FRICTION PAIRS OF SHIP POWER PLANTS

M. O. Kryvyi, graduate student
National University "Odesa Maritime Academy"

Abstract: The problem of determining the hydrodynamic pressure in the working zone of the friction pair in the absence of leakage of lubricants from the ends (a flat problem) is reduced to the Reynolds differential equation, for which an exact solution is obtained. Based on the latter and methods of regression analysis, new mathematical models were obtained for determining the angles of the beginning and end of the working zone of the friction pair. Numerical analysis of the obtained results was carried out.

Key words: friction pair, Reynolds equation, working zone, mathematical models.

Розглянемо пару ковзання, в якій вал (цапфа) обертається із сталою швидкістю ω_0 по часовій стрілці в середні підшипника (втулки) (рис. 1).

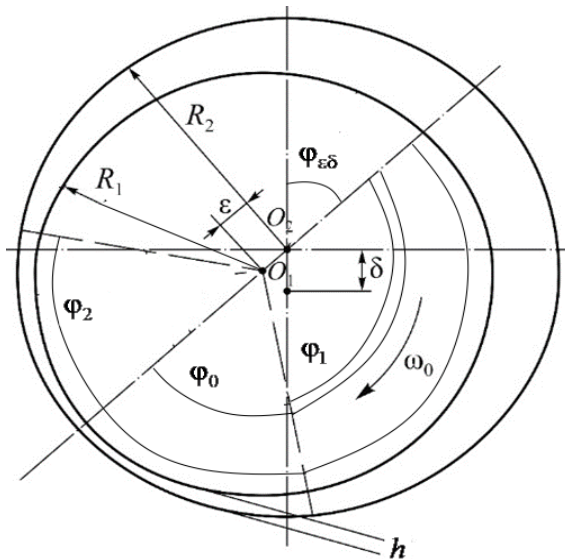


Рисунок 1 – Модель пари ковзання

Будемо вважати витік мастил із торців пари ковзання відсутнім. Основною величиною, яка впливає на роботу пари ковзання і через яку виражаються всі інтегральні характеристики пари ковзання, що входять в критерії довговічності її роботи є гідродинамічний тиск в парі ковзання: $p = p(\varphi)$. Кута φ змінюється на проміжку $[\varphi_1; \varphi_2]$, де кути φ_1 φ_2 - відповідно початок і кінець робочої зони мастильного шару, тобто зони де тиск в мастильному шарі є додатнім. Задача визначення безрозмірного тиску:

$$\tilde{p}(\varphi) = \frac{p(\varphi)}{k_1},$$

де $k_1 = \frac{\mu_0 \omega_0}{\delta_0}$, μ_0 – динамічна в'язкість мастила, $\delta_0 = \frac{\delta}{R_1}$ – відносний радіальний зазор, зведена до наступної крайової задачі для рівняння Рейнольдса [1-8]:

$$\begin{cases} \frac{d}{d\varphi} \left(\tilde{h}^3 \frac{d\tilde{p}}{d\varphi} \right) = 6 \frac{d\tilde{h}}{d\varphi}; & \varphi_1 < \varphi < \varphi_2, \\ \tilde{h}(\varphi) = 1 + \varepsilon_0 \cos \varphi \end{cases} \quad (1)$$

$$\tilde{p}(\varphi_1) = \tilde{p}(\varphi_2) = 0; \quad \frac{d\tilde{p}(\varphi_2)}{d\varphi} = 0, \quad (2)$$

де $\tilde{h}(\varphi)$ – відносна товщина мастильного шару, $\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon}{\delta}$ відносний ексцентриситет центрів тіл пар ковзання.

Однією із проблем при розв'язанні краєвої задачі (1), (2) є те, що заздалегідь не відомі границі робочої мастильного шару, тобто кути φ_1 φ_2 . Тому до розв'язання задачі (1), (2) застосований метод послідовного наближення, або метод варіації границь, що дало можливість отримати таблицю значення кутів φ_1 φ_2 для різних значень відносного ексцентриситету центрів тіл пар ковзання. Власне, це єдиний параметр від якого вказані кути залежать.

На основі отриманих табличних даних, методами регресійного аналізу [9-11] отримані наступні моделі для визначення початку і кінця робочої зони пари ковзання

$$\varphi_1 = \frac{180^\circ}{\pi} \left(q_1 \arccos(\varepsilon_0) + q_2 \sqrt{\varepsilon_0} \arcsin(\varepsilon_0) + q_3 \varepsilon_0 + q_4 \sqrt{\varepsilon_0} \right). \quad (3)$$

$$\varphi_2 = \frac{180^\circ}{\pi} \left(q_1 \arccos(\varepsilon_0) + q_2 \sqrt{\varepsilon_0} \cdot \arcsin(\varepsilon_0) + 0.25 \cdot q_2 \varepsilon_0 \right). \quad (4)$$

Побудовані моделі можна вважати адекватними, якщо виконуються критерії 1) – 6), які наведені в роботах [9-11]. В таблиці 1 для моделей (3), (4) наведені значення коефіцієнтів q_k , та їх рівні значимості відповідно γ_1 , γ_2 (P –значення), які визначені за допомогою t - критерію Стюдента, а також нормоване значення коефіцієнту кореляції R^2 (R –квадрат) кожної моделі в цілому. Зауважимо, що для адекватності отриманих моделей, вирішальним є виконання двох умов:

1. значення коефіцієнта кореляції повинно приймати найбільш можливе значення: $\tilde{R}^2 \rightarrow 1$;
2. рівні значимості кожного регресора приймати найменші можливі значення: $\gamma_k \rightarrow 0$.

Таблиця 1 Значення параметрів моделей (3) і (4) та їх кореляційні характеристики									
	q_1	γ_1	q_2	γ_2	q_3	γ_3	q_4	γ_4	R^2
φ_1	0.163	$2 \cdot 10^{-6}$	1.179	$2 \cdot 10^{-8}$	-1.765	$7 \cdot 10^{-5}$	1.46157	$4 \cdot 10^{-6}$	0.998
φ_2	2.801	0	1.655	0	-	-	0	-	0.999

Отже, згідно із наведеними в таблиці 1 даними, отримані математичні моделі (3), (4) мають відмінні кореляційні властивості.

Висновки. Отримані нові математичні моделі для визначення початку і кінці робочої зони мастильного шару пар ковзання суднових енергетичних

установок, які мають відмінні кореляційні властивості. Отримані результати можуть бути використанні для отримання інтегральних характеристик і побудови критеріїв довговічності роботи пар ковзанням судових енергетичних установок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сагін С. В., Кривий М. О. Визначення розподілу тиску в шарі неньютонівських мастил у судових енергетичних установках // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. Наук. праць. – 2020. – № 2(62). – С. 160-170. DOI 10.47049/2226-1893-2020-1-160-170.
2. Сагін С. В., Кривий М. О. Розрахунок контактного тиску та зони контакту в парах ковзання судових дизелів // Автоматизація судових технічних засобів: наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 84 – 92. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-84-92
3. Кривий М. О., Сагін С. В. Визначення впливу властивостей моторних мастил на розподіл тиску в парах ковзання судових дизелів/Суднові енергетичні установки. 2021, № 43. – С. 18-23. DOI: 10.31653/smf343.2021.18-24
4. Кривий М. О., Сагін С. В. Математична модель мастильного шару в парах ковзання в судових енергетичних установках // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика» 05.11.2019 –06.11.2019 р. Одеса, НУ «ОМА». – С. 144 - 148. [dx.doi.org/10.31653/2706-7874](https://doi.org/10.31653/2706-7874).
5. Коровчинский М.В. Теоретические основы подшипников скольжения/М:ГНТИМЛ, 1959
6. Кривой М. А. Обеспечение режимов смазывания подшипниковых узлов малооборотных дизелей при режимах пуска и реверса // Суднова енергетика: стан та проблеми : Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв : Національний університет кораблебудування, 2017. – С. 74 - 78.
7. Кривий М. О. Особливості реології моторних мастил при забезпеченні режимів змащення пар тертя судових мало-оборотних дизелів // Матер. наук.-техн. конференції «Річковий та морський флот : експлуатація і ремонт», 23.03.2017 – 24.03.2017. Частина 1. – Одеса : НУ «ОМА», 2017. – С. 31 - 34.
8. А. Ф. Кривой, М. В. Миюсов Математические модели гидродинамических характеристик пропульсивного комплекса судна для произвольных углов дрейфа/ Судовождение, вып. 28, С. 88-103, 2018. DOI: 10.31653/2306-5761.27.2018.88-102
9. Kryvyi O. F, Miyusov M. V.: "Mathematical model of hydrodynamic characteristics on the ship's hull for any drift angles", Advances in Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. Taylor & Francis Group, London, UK., pp. 111-117, 2019
10. Kryvyi O. F, Miyusov M. V.: The Creation of Polynomial Models of Hydrodynamic Forces on the Hull of the Ship with the help of Multi-factor Regression Analysis /8 International Maritime Science Conference. IMSC 2019. Budva, Montenegro, pp.545-555 <http://www.imsc2019.ucg.ac.me/IMSC2019BofP.pdf>
11. Kryvyi O., Miyusov M.V.: Construction and Analysis of Mathematical Models of Hydrodynamic Forces and Moment on the Ship's Hull Using Multivariate Regression Analysis/ TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2021, Vol. 15, No. 4, pp. 853-864, 2021 doi:10.12716/1001.15.04.18,

УДК 539.3

КРИТЕРІЙ РУЙНУВАННЯ КОМПОЗИТНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

О. Ф. Кривий¹, доктор фіз.-мат. наук, професор

Ю. О. Морозов², кандидат фіз.-мат. наук, доцент

¹Національний університет «Одеська морська академія»

²Національний Університет «Одеська Політехніка»

Анотація: Побудовано точний розв'язок задачі термопружності про міжфазне кругове вми-
кання, яке знаходиться в умовах повного зчеплення з різними трансверсально-ізоотропними півпрос-
торами при температурному навантаженні. Визначено порядок особливості напружень біля вклю-
чення. Проведено чисельний аналіз поведінки узагальненого коефіцієнтів інтенсивності поблизу круг-
лих абсолютно жорстких міжфазних включень для деяких комбінацій трансверсально-ізоотропних
матеріалів та міцності теплового навантаження.

Ключові слова: неоднорідний трансверсально-ізоотропний простір, кругове включення, коефіці-
єнт інтенсивності напружень.

FAILURE CRITERIA FOR COMPOSITE STRUCTURES UNDER TEMPERATURE LOAD

O. Kryvyi¹, Dr. of Science, Professor

Yu. Morozov², Associate professor

¹National University «Odessa Maritime Academy»

²Odessa Polytechnic National University

Abstract: An exact solution to the thermoelasticity problem of an interphase circular inclusion is con-
structed, which is in conditions of complete adhesion with various transversally isotropic half-spaces under
a temperature load. The order of stress singularity near the inclusion is determined. A numerical analysis of
the behavior of the generalized intensity coefficient near round absolutely rigid interphase inclusions is car-
ried out for some combinations of transversally isotropic materials and thermal load strength.

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

Наявність включень суттєво знижує термін служби композитних констру-
кцій [1 – 15], а за певних умов призводить до їхнього руйнування. Особливо це
стосується температурних навантажень [16 – 26], тому оцінку здатності компо-
зитних конструкцій витріпати прикладені навантаження з урахуванням наявно-
сті дефектів, можна реалізувати за допомогою критерію локального руйнуван-
ня: поведінкою узагальненого коефіцієнта напружень [15 – 26] K_z^* в околі де-
фекту. Нехай у площині $z = 0$ з'єднання двох різних трансверсально-ізоотропних
півпросторів розташовано абсолютно жорстке включення, що займає область
 Ω . На включені задано тепловий потік q_0 , Розташування граней включення пі-
сля деформації описують функції [1 – 2, 5 – 9]

$$\begin{aligned}\zeta_6^\pm &= \zeta_6^0 + g_0^\pm(x_1, x_2), \quad \zeta_k^\pm = \zeta_k^0, \quad k = 4, 5, \quad (x_1, x_2) \in \Omega \\ \zeta_4^0 &= \delta_1 - \varphi_3 x_3, \quad \zeta_5^0 = \delta_2 + \varphi_3 x_1, \quad \zeta_6^0 = \delta_3 + \varphi_2 x_2 + \varphi_1 x_2,\end{aligned}\tag{1}$$

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

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

Грані включення можуть знаходитися як в умовах повного зчеплення з півпросторами. Відомими будуть стрибки та суми переміщень [1, 2, 6 – 13]

$$\begin{aligned}\chi_4^\pm(x_1, x_2) &= (1 \pm 1)\zeta_4^0, \quad \chi_5^\pm(x_1, x_2) = (1 \pm 1)\zeta_5^0 \\ \chi_6^\pm(x_1, x_2) &= \mathcal{G}^\pm(x_1, x_2) + (1 \pm 1)\zeta_6^0, \quad \mathcal{G}^\pm = \mathcal{G}_0^+ \pm \mathcal{G}_0^-, (x_1, x_2) \in \Omega \\ \chi_k^\pm &= \langle \chi_k(x_1, x_2) \rangle^\pm = \zeta_k(x_1, x_2, +0) \pm \zeta_k(x_1, x_2, -0), (x_1, x_2) \in \Omega\end{aligned}\quad (2)$$

Враховуючи умови $\chi_k^-(x_1, x_2) = 0, k = \overline{1, 6}, (x_1, x_2) \notin \Omega, \zeta_7(x_1, x_2, +0) = \zeta_7(x_1, x_2, -0), \lambda_3^+ \partial_2 \zeta_7(x_1, x_2, +0) = \lambda_3^- \partial_2 \zeta_7(x_1, x_2, -0)$, які відображають факт з'єднання півпросторів поза включеннями та результати праць [1, 2, 5 - 18], поставлені задачі можна звести до систем двовимірних СІР. Використовуючи методику робіт [6 - 9], одержані розв'язки цих систем у явному вигляді.

Враховуючи тільки вплив температурного навантаження, подання для напружень в площині з'єднання матеріалів, використавши сингулярні інтегральні співвідношення [1, 6 - 10], та підхід запропонований в роботах [12 - 15], отримаємо:

$$\begin{aligned}\sigma_z^+|_{z=0} &= q_{15} v_5^-(\rho, \varphi) - \frac{q_{12}}{2\rho} \left\{ \cos \varphi \operatorname{Re} \left[\int_0^a 2\eta_{21}^*(t) dt + \int_0^a \frac{\eta_{21}^*(t)}{(\rho^2 - t^2)^{3/2}} dt \right] - \right. \\ &\quad \left. - 2\rho \int_0^a \frac{t\eta_{20}^*(t)}{(\rho^2 - t^2)^{3/2}} dt + \sin \varphi \operatorname{Im} \left[\int_0^a 2\eta_{21}^*(t) dt + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \int_0^a \frac{\eta_{21}^*(t)}{(\rho^2 - t^2)^{3/2}} dt \right] - 2\rho \int_0^a \frac{t\eta_{20}^*(t)}{(\rho^2 - t^2)^{3/2}} dt \right] - q_{14} \frac{2ha}{\rho} {}^2SC_1^0\end{aligned}\quad (4)$$

У випадку заданого теплового потоку на включенні, асимптотика для нормальних напружень має вигляд [25, 26]

$$\sigma_z^+|_{z=0} \cong \frac{\pi}{2} \frac{q_0}{(2a)^{1/2} \sqrt{\rho-a}} \{\gamma_{11} \omega_c^a + \gamma_{12} \omega_s^a\}, \quad (5)$$

тоді, пов'язаний з інтенсивністю теплового потоку, узагальнений коефіцієнт ін-

тенсивності напружень (УКІН), подамо так $K_z^* = q_0 \sum_{k=1}^2 \sqrt{\gamma_{1k}^2}.$

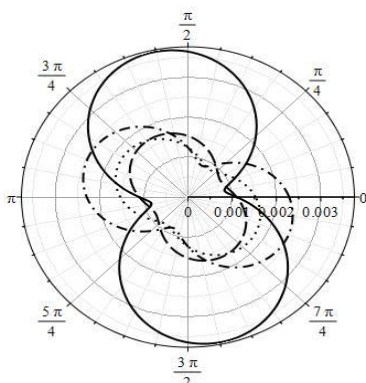


Рис. 1. K_z^*/q_0 для комбінації матеріалів 1

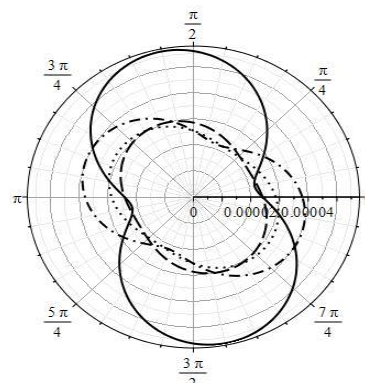


Рис. 2. K_z^*/q_0 для комбінації матеріалів 2

На рис. 1-4 наведені розрахунки для комбінації трансверсально ізотропних матеріалів: 1. Magn. – Cadm.; на рис.2 для комбінації Magn. – Zn; на рис.3 для комбінації Al₂O₃ – Cadm.; на рис.4 для комбінації Zn – Al₂O₃.

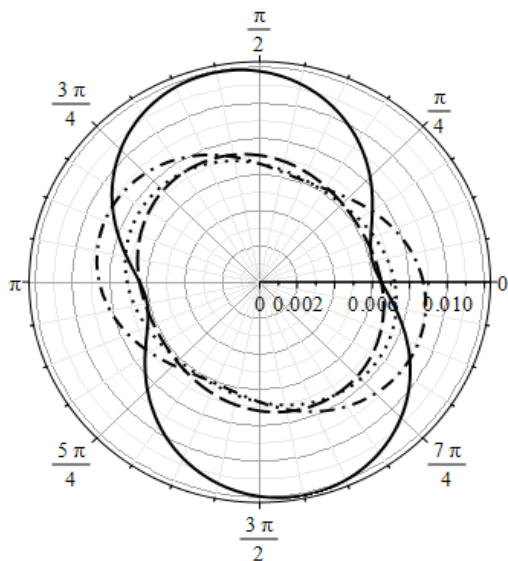


Рис. 3. K_z^*/q_0 для комбінації матеріалів 3

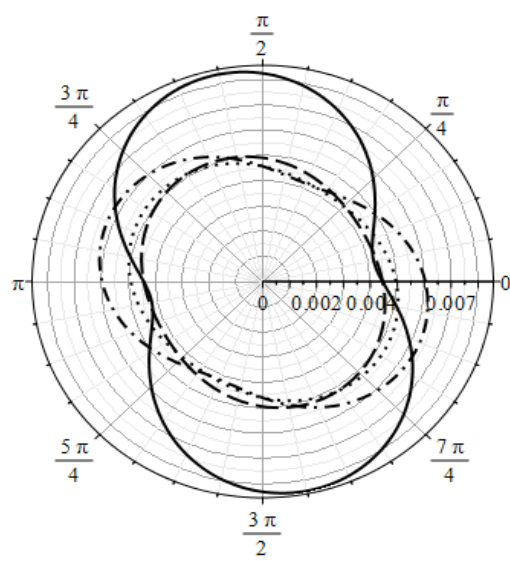


Рис. 4. K_z^*/q_0 для комбінації 4

Висновки. Визначено порядок сингулярності для нормальних напружень у випадку заданого теплового потоку. Отримано вирази для коефіцієнта інтенсивності напружень на межі включення при температурному навантаженні, а також чисельні залежності цих коефіцієнтів від полярного кута та міцності теплового навантаження. Виявлено низку цікавих закономірностей розподілу концентрації напруги в околиці включення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kryvyy O. The discontinuous solution for the piece-homogeneous transversal isotropic medium // Modern Analysis and Applications. – Ser. Operator Theory: Advances and Applications. – Vol. 191. – Basel: Birkhäuser, 2009. – P. 395–406. – https://doi.org/10.1007/978-3-7643-9921-4_25.
2. В.В Ефимов, А.Ф Кривой, Г.Я Попов. Задачи о концентрации напряжений возле кругового дефекта в составной упругой среде// Изв. РАН. МТТ– 1998. – 33, No. 2. – С. 35–49.
3. A.F Krivoi, M.V Radiollo. Specific features of the stress field near inclusions in a composite anisotropic plane// Izv. Akad. Nauk SSSR, Mekh. Tverd. Tela. 1984, 3, 84 – 92 pp.
4. А.Ф Кривой, Г.Я Попов. Межфазные туннельные трещины в составном анизотропном пространстве// Прикладная математика и механика, 2008, 72, №4, С. 689 – 700.
5. Kryvyy O. F. Mutual influence of an interface tunnel crack and an interface tunnel inclusion in a piecewise homogeneous anisotropic space // J.Math. Sci. – 2015. – 208, №4. – P. 409-416. - <https://doi.org/10.1007/s10958-015-2455-9>.
6. Kryvyy O. F. Interface crack in the inhomogeneous transversely isotropic space // Mater. Sci. – 2012. – 47, No. 6. – P. 726–736. – <https://doi.org/10.1007/s11003-012-9450-9>.
7. Kryvyy O. F. Delaminated interface inclusion in a piecewise homogeneous transversely isotropic space // Mater. Sci. – 2014. – 50, No. 2. – P. 245–253. – <https://doi.org/10.1007/s11003-014-9714-7>.
8. Kryvyy O. F. Interface circular inclusion under mixed conditions of interaction with a piecewise homogeneous transversally isotropic space // J. Math. Sci. – 2012. – 184, No. 1. – P. 101–119. –

<https://doi.org/10.1007/s10958-012-0856-6>.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

УДК 656.61.052

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ СУДНОВИХ ГВИНТІВ

О.Ф. Кривий, д.ф.-м.н., професор

М. В. Міусов, д.т.н., професор

М. О. Кривий, аспірант

Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація.** На основі отриманих математичних моделей для коефіцієнта упору гребного гвинта судна і коефіцієнту моменту на валу гребного гвинта отримані математичні моделі для коефіцієнта корисної дії гребного гвинта. Визначені умови, яким повинен задовольняти коефіцієнт відносної ходи гребного гвинта, для штатної роботи пропульсивного комплексу судна. Для низки основних типів комерційних суден проведено числове моделювання коефіцієнта корисної дії та отримані залежності ККД від відносної ходи гребного гвинта.*

***Ключові слова:** математичні моделі, коефіцієнт корисної дії, судові гвинти.*

MATHEMATICAL MODELS OF THE EFFICIENCY OF SHIP PROPELLERS

O.F. Kryvyi, Dr. Sci., professor;

M.V. Miyusov, Dr. Sci., professor,

M.O. Kryvyi, graduate student

National University "Odessa Maritime Academy"

***Анотація.** На основі отриманих математичних моделей для коефіцієнта упору гребного гвинта судна і коефіцієнту моменту на валу гребного гвинта отримані математичні моделі для коефіцієнта корисної дії гребного гвинта, та визначена область роботи коефіцієнта відносної ходи гребного гвинта. Для низки основних комерційних суден проведено чисельне моделювання коефіцієнта корисної дії та отримані залежності коефіцієнту корисної дії від відносної ходи гребного гвинта.*

Key words: mathematical models, efficiency factor, ship propellers.

Коефіцієнт корисної дії гребного гвинта є важливим показником при експлуатації пропульсивного комплексу судна, який визначає ефективність судової енергетичної установки при різних режимах експлуатації судна, і обчислюється так [1, 2]:

$$\eta_P = \frac{K_P}{K_Q} \frac{J_P}{2\pi}, \quad (1)$$

де K_P і K_Q відповідно коефіцієнт упору гребного гвинта і коефіцієнт моменту на валу гребного гвинта. Відносна хода гребного гвинта J_P визначається через швидкість судна v і частоту обертання гребного гвинта n_P за формулою [5, 6, 10 - 12]:

$$J_P = \frac{(1 - \psi_P) k_P v}{n_P D_P}, \quad (2)$$

де D_P – діаметр гребного гвинта, k_P, ψ_P – відповідно безрозмірні коефіцієнти впливу криволінійного руху судна і корпусу на величину швидкості натікання потоку на гвинт [3, 7 - 9].

Для обчислення коефіцієнтів K_P і K_Q скористаємось наступними поданнями [6 -12].

$$K_P(J_P) = \mu_0 + \mu_1 J_P + \mu_2 J_P^2 + \mu_3 J_P^3, \quad (3)$$

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

Коефіцієнти $\mu_j = \mu_j(a, h, \kappa)$, $\mu_j^* = \mu_j^*(a, h, \kappa)$ математичних моделей (3) і (4) залежать від геометричних параметрів гребного гвинта: дискового відношення гвинта a , значення якого знаходиться в межах $0.4 \div 1.1$; шагового відношення гребного гвинта h , значення якого знаходяться, за звичай, в межах $0.5 \div 1.6$ і числа лопатей гребного гвинта κ . Для деяких типів комерційних суден значення коефіцієнтів μ_j і μ_j^* наведено в таблиці 1, там же наведені значення технічних параметрів суден і гвинтів.

Таблиця 1. Технічні і динамічні параметри судових гвинтів.

Судно	DTC, контейнеровоз	KCS, контейнеровоз	KVLCC2 танкер	VLCC, танкер	VLGC, танкер	LPG, танкер
№	1	2	3	4	5	6
L [м]	355	230	320	325	226	147
B [м]	51	32.2	58	53	36.6	25.5
T [м]	14.5	10.8	20,8	21.79	11.8	8.8
C_B	0.661	0.651	0,8089	0.831	0.72	0.7403
D_P [м]	8.911	7.9	9.86	9.1	7.4	5.7
κ	5	5	4	5	4	4
a	0.8	0.8	0.431	0.682	0.42	0.6017
h	0.959	0.997	0.721	0.715	0.905	0.7839
J_1	1.0168	1.0540	0.8238	0.7811	1.0169	0.8611
μ_0	0.4555	0.4749	0.2923	0.319	0.3616	0.3367
μ_1	-0.2658	-0.2642	-0.21082	-0.2506	-0.1860	-0.2477
μ_2	-0.2654	-0.266	-0.2183	-0.2612	-0.2177	-0.2287
μ_3	0.0849	0.08454	0.053	0.0757	0.050	0.0723
μ_0^*	0.051	0.05304	0.0276	0.0308	0.0369	0.0346
μ_1^*	-0.0359	-0.0371	-0.0224	-0.0272	-0.0244	-0.0287
μ_2^*	-0.0330	-0.034	-0.0086	-0.0206	-0.0098	-0.0204
μ_3^*	-0.0479	-0.05524	-0.0307	-0.0224	-0.0505	-0.024

Межі робочої зони відносної ходи гребного гвинта J_P визначаються за допомогою відносної ходи нульового упору гребного гвинта J_1 , при якій коефіцієнт упору гвинта буде нульовим: $K_P(J_1) = 0$, при цьому

$$0 < J_P < J_1. \quad (5)$$

Значення J_1 , обчисленні за допомогою математичної моделі (3), наведенні в таблиці 1. Умова (5) і подання (2), дозволяють визначити умови, яким повинні

задовольняти швидкість судна v і частоту обертання гребного гвинта n_p , для штатної роботи пропульсивного комплексу судна.

На рисунках 1, 2 наведені результати чисельного моделювання, виконаного за допомогою формул (1), (3), (4) відповідно для суден 1 і 6. На обох рисунках наведенні залежності від J_p значень коефіцієнту упору гвинта: K_p - лінії чорного кольору; значень коефіцієнту моменту на валу гребного гвинта: $10 \cdot K_Q$ - лінії червоного кольору і значень коефіцієнта корисної дії: η_p - лінії синього кольору.

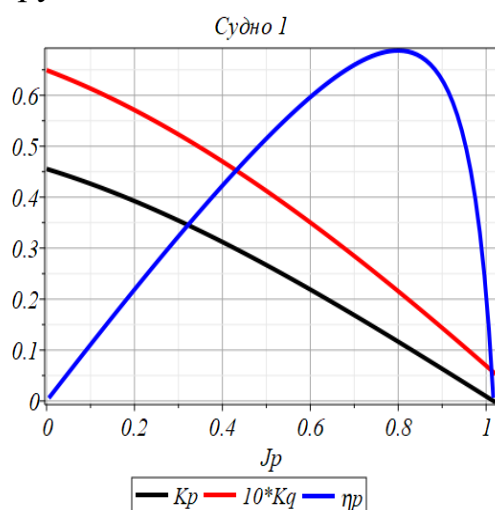


Рис.1 Залежності для K_p , $10 \cdot K_Q$, η_p

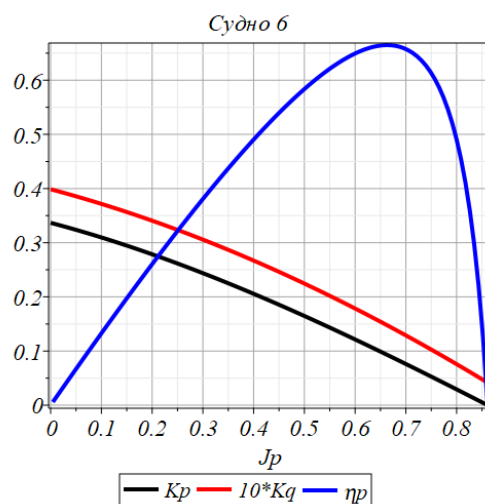


Рис. 2 Залежності для K_p , $10 \cdot K_Q$, η_p

Висновки. Результати числового моделювання показали, адекватність побудованої математичної моделі для обчислення коефіцієнту корисної дії суднового гвинта. Для низки основних типів комерційних суден визначені параметри моделі, які залежать від геометричних характеристик судна і гребного гвинта та від відносної ходи гребного гвинта. Отримані результати, можуть бути використанні при побудові загальних математичних моделей пропульсивного комплексу судна.

ЛІТЕРАТУРА

1. О. Ф. Кривий, Методи математичного моделювання в задачах судноводіння, ОНМА, Одеса. 2015.
2. А. Ф. Кривой, М. В. Миусов, “Математическая модель плоского движения судна при наличии ветродвижителей”, Судовождение, вып. 26, С.110-119, 2016.
3. А. Ф. Кривой, М. В. Миусов, “Математические модели гидродинамических характеристик пропульсивного комплекса судна для произвольных углов дрейфа”, Судовождение, вып. 28, С. 88-103, 2018. DOI: 10.31653/2306-5761.27.2018.88-102
4. Кривий А. Ф., Миусов М. В., “Нові математичні моделі повздовжніх гідродинамічних сил на корпусі судна”. Судноводіння, 2020, 30. С. 88-98 DOI: 10.31653/2306-5761.30.2020.88-98
5. Кривий, М. В. Миусов, М. О. Кривий., “Математичне моделювання роботи суднових гвинтів при різних режимах маневрування.” Судноводіння, 2021, 32. С. 71-87 DOI: 10.31653/2306-5761.32.2021.71-87.
6. Кривий О.Ф., Миусов М.В., Кривий М.О. “Математичне моделювання роботи суднових стерн при різних режимах маневрування.” Судноводіння, 2023, 34, 93-114, DOI: 10.31653/2306-5761.34.2023.93-114

7. Kryvyi O. F., Miyusov M. V., "Mathematical model of hydrodynamic characteristics on the ship's hull for any drift angles", *Advances in Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. Taylor & Francis Group, London, UK., pp. 111-117, 2019.
8. Kryvyi O. F., Miyusov M. V., "The Creation of Polynomial Models of Hydrodynamic Forces on the Hull of the Ship with the help of Multi-factor Regression Analysis", *8 International Maritime Science Conference. IMSC 2019*. Budva, Montenegro, pp.545-555 http://www.imsc2019.ucg.ac.me/IMSC2019_BofP.pdf
9. Kryvyi O. F., Miyusov M. V., "Construction and Analysis of Mathematical Models of Hydrodynamic Forces and Moment on the Ship's Hull Using Multivariate Regression Analysis," *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 15, No. 4, doi:10.12716/1001.15.04.18, pp. 853-864, 2021.
10. Kryvyi O., Miyusov M., Kryvyi M. "Construction and Analysis of New Mathematical Models of the Operation of Ship Propellers in Different Maneuvering Modes." *Trans Nav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol.17, №1, pp. 95-102, 2023, DOI [10.12716/1001.17.01.09](https://doi.org/10.12716/1001.17.01.09)
11. Kryvyi O., Miyusov M., Kryvyi M. "Analysis of Known and Construction of New Mathematical Models of Forces on a Ship's Rudder in an Unbounded Flow." *Trans Nav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol.17, №4, pp. 831-839, 2023, DOI [10.12716/1001.17.04.09](https://doi.org/10.12716/1001.17.04.09)

УДК 539.3

ПРИВЕДЕННЯ ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖНОГО СТАНУ В ОКОЛІ ТРИЩИНИ НА ПРОДОВЖЕНІ ЖОРСТКОГО ВКЛЮЧЕННЯ ДО СИСТЕМИ ІНТЕГРАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

А. С. Мішарін, асистент

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

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: здійснено приведення задачі моделювання напруженого стану, що виникає у пружному півпросторі з тонким жорстким смуговим включенням, нахиленим до межі, від якого під довільним кутом відходить тріщина, до системи інтегральних рівнянь Включення знаходиться під дією гармонійного зсувного навантаження.

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

REDUCING OF THE PROBLEM OF MODELING THE STRESS STATE AROUND A CRACK ON CONTINUED RIGID INCLUSION TO THE SYSTEM OF INTEGRAL EQUATIONS

A. S. Misharin, assistant

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

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: the problem of modeling the stress state arising in an elastic half-space with a thin rigid strip inclusion, which is inclined to the boundary from which the crack departs at an arbitrary angle, is brought to the system of integral equations. The inclusion is under the action of harmonic shear loading.

Key-words: stress intensity factors, singular-differential equations, harmonic vibrations, fixed singularity, inclusion, crack.

Сучасні технології суднобудування досить часто містять з'єднання елементів, виготовлених з різних композитних матеріалів. Поверхня таких конструкцій не завжди є ідеальною, оскільки вони часто містять дефекти у вигляді тріщин або тонких жорстких включень, що перетинає межу матеріалів. Під дією динамічного навантаження, зокрема, вібрації, ці дефекти є джерелами концентрації напружень, що суттєво впливає на міцність конструкції. Внаслідок цього визначення напруженого стану в тілах з дефектами, що перетинають поверхню, є актуальною науковою проблемою, якій присвячена значна кількість наукових робіт. Наприклад роботи [2], [3], де розглянути тонке жорстке смугове, нахиле до межі, крайове включення та тріщина які виходять на поверхню півпростору в умовах антиплоскої деформації. Ефективним методом розв'язання подібних задач, як показано у роботах [2], [3], є приведення їх до інтегральних рівнянь.

У даній роботі здійснено зведення до системи інтегральних рівнянь задачі математичного моделювання напруженого стану в деталях суднового обладнання в умовах вібрації при наявності жорсткого крайового включення від краю якого відходить тріщина. При цьому деталь моделюється ізотропним пружним півпростором і розглядаються тільки коливання повздовжнього зсуву.

Нехай ізотропний пружний півпростір $y \geq 0$ в якому міститься наскрізний дефект у вигляді похилого жорсткого смугового включення від краю якого, під деяким кутом, відходить тріщина, знаходиться в умовах антиплоскої деформації. У площині Oxy включення і тріщина розташовані як показано на Рис.1.

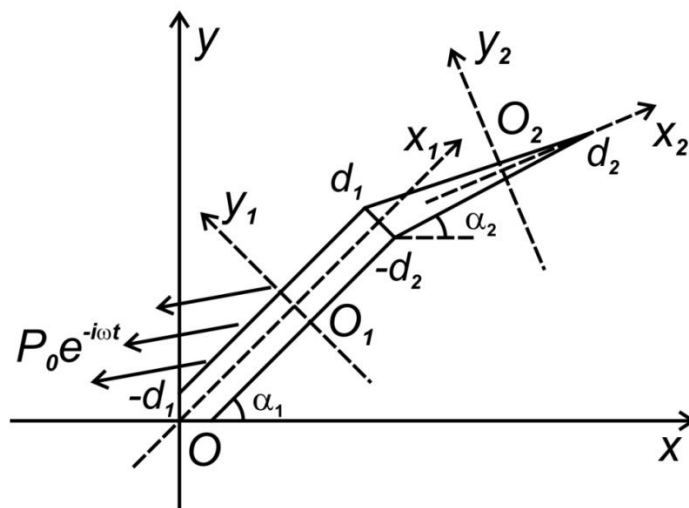


Рисунок 1 – Включення, від краю якого відходить тріщина.

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

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

де Δ - оператор Лапласа в системі координат Oxy .

Оскільки поверхню півпростору вважаємо вільною від напружень, то на ній виконується рівність:

$$\tau_{zy}(x, 0) = G \frac{\partial W(x, 0)}{\partial y} = 0, \quad -\infty < x < \infty. \quad (2)$$

Для формулювання граничних умов на дефекті з включенням і тріщиною пов'язуються локальні системи координат (рис. 1).

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

$$\tau_{y_2z}(x_2, 0) = 0, \quad x_2 \in [-d_2, d_2] \quad (3)$$

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

$$w_2(x_2, +0) - w_2(x_2, -0) = \chi_2(x_2), \quad \chi_2(d_2) = 0, \quad x_2 \in [-d_2, d_2] \quad (4)$$

На включенні за умови ідеального зчеплення повинна виконуватися рівність:

$$w_1(x_1, 0) = a, \quad x_1 \in [-d_1, d_1] \quad (5)$$

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

На поверхні включення напруження $\tau_{y_1z}(x_1, y_1)$ мають розрив з невідомим стрибком, для якого вводиться позначення:

$$\tau_{y_1z}(x_1, +0) - \tau_{y_1z}(x_1, -0) = \chi_1(x_1), \quad x_1 \in [-d_1, d_1] \quad (6)$$

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

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

Для розв'язання сформульованої задачі, використовуються розривні розв'язки рівняння (2), зі стрибками (4), (6) побудованих у системах координат пов'язаних з дефектами:

$$w_1^d(x_1, y_1) = \int_{-d_1}^{d_1} \frac{\chi_1(\eta)}{G} r_2(\eta - x_1, y_1) d\eta, \quad w_2^d(x_2, y_2) = \int_{-d_2}^{d_2} \chi_2(\eta) \frac{\partial}{\partial y_2} r_2(\eta - x_2, y_2) d\eta \quad (7)$$

де $r_2(\eta - x_l, y_l) = -\frac{i}{4} H_0^{(1)} \left(\kappa_2 \sqrt{(\eta - x_l)^2 + y_l^2} \right), l = 1, 2$.

Після цього в системі Oxy розв'язок шукаємо у вигляді:

$$w(x, y) = w_1^g(x, y) + w_2^g(x, y) + w^h(x, y) \quad (8)$$

де $w_l^g(x, y), l = 1, 2$ знаходяться за формулами (7) після переходу в них до координат Oxy , а $w^h(x, y)$ - невідомий розв'язок рівняння (1), який обирається так,

щоб виконувалась умова (2). Він будується методом інтегральних перетворень і дорівнює:

$$w^h(x, y) = -\frac{i}{4} \int_{-d_1}^{d_1} \frac{\chi_1(\eta)}{G} H_0^1(\kappa_2 Q_1(\eta, x, y)) d\eta - \frac{i\kappa_2}{4} \int_{-d_2}^{d_2} \chi_2(\eta) R_0(\eta, x, y) d\eta$$

де

$$R_0(\eta, x, y) = \frac{H_1^1(\kappa_2 Q_2(\eta, x, y))}{Q_2(\eta, x, y)} \left[(y + |(\eta + d_2) \sin \alpha_2 + 2d_1 \sin \alpha_1|) \cos \alpha_2 - \sin \alpha_2 \cdot \right. \\ \left. \cdot \operatorname{sign}((\eta + d_2) \sin \alpha_2 + 2d_1 \sin \alpha_1) \cdot ((\eta + d_2) \cos \alpha_2 + 2d_1 \cos \alpha_1 - x) \right],$$

де

$$Q_1(\eta, x, y) = \sqrt{(x - (\eta + d_1) \cos \alpha_1)^2 + (y + (\eta + d_1) \sin \alpha_1)^2},$$

$$Q_2(\eta, x, y) = \sqrt{(y + |(\eta + d_2) \sin \alpha_2 + 2d_1 \sin \alpha_1|)^2 + ((\eta + d_2) \cos \alpha_2 + 2d_1 \cos \alpha_1 - x)^2}.$$

Після підстановки (8) в граничні умови (3), (5) отримаємо систему сингулярних інтегро-диференціальних рівнянь відносно стрибків напружень і переміщень на дефектах:

$$\left\{ \begin{aligned} & -\frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \phi_1(\tau) \left[\frac{1}{\tau - \zeta} - \frac{(1 + \zeta) - (1 + \tau) \cos 2\alpha_1}{Q_4^2(1 + \tau, 1 + \zeta)} + R_1(\tau - \zeta) + \kappa_0 \gamma_1 R_2(Q_4(1 + \tau, 1 + \zeta)) \right] d\tau + \\ & + \frac{\sin \alpha_{12} \gamma_2^2}{2\pi \gamma_1^2} \int_{-1}^1 \phi_2'(\tau) \frac{1 + \tau}{Q_3^2(1 - \zeta, 1 + \tau)} d\tau + \frac{\kappa_0 \gamma_2^2}{2\pi} \int_{-1}^1 \phi_2(\tau) \left[\kappa_0 \sin \alpha_{12} R_3(Q_3(1 - \zeta, 1 + \tau)) + \right. \\ & \left. + \frac{i\pi \kappa_0 \sin \alpha_{12}}{2} R_4(Q_3(1 - \zeta, 1 + \tau)) - \frac{i\pi}{2} R_5(Q_5(1 + \zeta, 1 + \tau)) \right] d\tau = 0, \\ & \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \phi_2'(\tau) \left[\frac{1 + \tau}{(\tau - \zeta)(1 + \zeta)} + R_6(\tau - \zeta) \right] d\tau + \frac{\kappa_0 \gamma_2^2}{2\pi} \int_{-1}^1 \phi_2(\tau) [\ln |\tau - \zeta| + \\ & + R_7(\tau - \zeta)] d\tau + \frac{\sin \alpha_{12}}{2\pi} \int_{-1}^1 \phi_1(\tau) \left[\frac{1 + \tau}{Q_{12}^2(1 - \tau, 1 + \zeta)} + R_8(Q_{12}(1 - \tau, 1 + \zeta)) \right] d\tau + \\ & + \frac{i\kappa_0 \gamma_1}{4} \int_{-1}^1 \phi_1(\tau) R_9(Q_1(1 + \tau, 1 + \zeta)) d\tau - \frac{i\kappa_0 \gamma_2}{4} \int_{-1}^1 \phi_2(\tau) R_{10}(Q_2(1 + \tau, 1 + \zeta)) d\tau = 0, \\ & \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \phi_1(\tau) [\ln |1 + \tau| + R_{11}(\tau)] d\tau - i\kappa_0 \gamma_1 \gamma_2 \sin \alpha_{12} \int_{-1}^1 \phi_2(\tau) R_{12}(\tau) d\tau = -\frac{P_0}{2\varepsilon \rho \kappa_0^2 \gamma_1}. \end{aligned} \right. \quad (9)$$

де

$$Q_4^2(1 + \tau, 1 + \zeta) = (1 + \zeta)^2 + (1 + \tau)^2 - 2(1 + \zeta)(1 + \tau) \cos 2\alpha_1, \quad \alpha_{12} = \alpha_1 - \alpha_2,$$

$$Q_3^2(1 - \zeta, 1 + \tau) = (1 - \zeta)^2 + (\gamma_2/\gamma_1)^2 (1 + \tau)^2 + 2\gamma_2/\gamma_1 (1 - \zeta)(1 + \tau) \cos \alpha_{12},$$

$$Q_{12}^2(1 - \tau, 1 + \zeta) = (1 - \tau)^2 + (\gamma_2/\gamma_1)^2 (1 + \zeta)^2 + 2\gamma_2/\gamma_1 (1 + \zeta)(1 - \tau) \cos \alpha_{12}.$$

Функції $\phi_1(\tau)$ і $\phi_2(\tau)$ пов'язані з стрибками напружень і переміщень. Функції $R_l(\tau, \zeta)$ визначаємо при вилученні сингулярних складових ядер інтегральних операторів за допомогою розвинень функцій Ганкеля у ряди.

За припущенням у розв'язанні системи (9) інтегрованої степеневі особливості вони розшукуються у вигляді:

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

де пошук особливості здійснюється згідно [4], [5].

Система (9) може бути розв'язана числовим методом аналогічним до робіт [2], [3], з використанням спеціальних квадратурних формул для сингулярних інтегралів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основи математичної теорії термопружної рівноваги деформівних твердих тіл з тонкими включеннями. Сулим Г. Т.- Львів: Дослід.-видав. центр НТШ. - 2007. - 716 с.
2. Гармонічні коливання в умовах антиплоскої деформації півпростору з тонким жорстким смуговим включенням, що перетинає межу. В.Г. Попов / Мат. методи та фіз.-мех. поля. 2013.-56, №2.-с.1-12.
3. Гармонические колебания полупространства с трещиной, выходящей на поверхность в условиях антиплоской деформации. В.Г. Попов / Механика твердого тела, 2013, №2, с.96-105.
4. Дослідження напруженого стану біля тріщини і включення, що виходять з однієї точки, при дії силою поздовжнього зсуву. А.С. Мішарін, В.Г. Попов / Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка - Серія: фізико-математичні науки, 2017, 3, с. 147-150.
5. Напружений стан біля довільно орієнтованих тріщин на продовженні жорсткого включення при дії зсувної гармонійної сили. А.С. Мішарін, В.Г. Попов / Збірник наукових праць «Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій» - Дніпро, Ліра, 2018, Випуск 28, с. 120-132.

УДК 519.87:629.5.064.5

СПРОЩЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОРУШІЯ МОРСЬКИХ БЕЗПІЛОТНИХ СУДЕН

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

Анотація. Показані основні принципи створення різного типу математичних моделей електрорушіїв, побудованих на основі асинхронних електричних двигунів за допомогою спрощення математичного опису і використання при моделюванні структурних схем. Наведені переваги і можливості використання та обрання асинхронних двигунів, призначених для застосування у механізмах і системах електроприводу морських суден і, зокрема, у електрорушійних невеликих безпілотних плавальних апаратів. Наведена структурна схема електрорушії, яка дозволяє ефективно проводити подальший синтез контролерів швидкості, попередньо визначати енергетичні втрати, тощо.

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

SIMPLIFIED MATHEMATICAL MODEL OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC PROPULSION OF MARINE UNMANNED VESSELS

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

O. A. Onishchenko, Dr. Tech. Sc., Professor
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. The main principles of building different types of mathematical models of electric motors, built on the basis of asynchronous electric motors, with the help of simplifying the mathematical description and using them in the modeling of structural diagrams, are shown. The advantages and possibilities of using and choosing asynchronous motors, intended for use in the mechanisms and systems of the electric drive of marine vessels and, in particular, in the electric motors of small unmanned floating devices, are given. The structural diagram of an electric motor is presented, which allows for efficient further synthesis of speed controllers, preliminary determination of energy losses, etc.

Keywords: electric drive, asynchronous motor, electric motor, unmanned floating device, mathematical modeling, structural diagrams.

Відомо, що системи електроруку безпілотних плавальних апаратів (БПА) є найбільш перспективними [1-3] для використання у виробництві таких апаратів. Особливої уваги дослідників і проєктувальників потребують БПА невеликого дедвейту та потужності двигуна електрорушії до 10...20 кВт. Якщо взяти до уваги концепцію модульності [4] побудови БПА, мінімізації кінцевої ціни виробу, можливості використання за багатоцільовим призначенням, то виникає актуальне науково-технічне завдання – необхідність у використанні найпростіших технічних рішень, заснованих на розумно спрощених методах математичного моделювання, які дозволяють оперативно оцінювати основні тактико-технічні характеристики проєктованого БПА.

Метою статті є аналіз таких принципів побудови математичних моделей (ММ) електрорушіїв БПА на основі структурних схем асинхронних двигунів (АД), які у подальшому застосуванні та модернізації ММ можуть ефективно використовуватися при синтезі контролерів БПА із заданими критеріями якості процесів регулювання.

При деякому спрощенні автоматизовані електричні машини змінного струму уявляють собою електромеханічні динамічні системи-перетворювачі із зосередженими параметрами, процеси в яких у загальному випадку описуються звичайними нелінійними диференціальними рівняннями. Вигляд цих рівнянь залежить від вибору виду змінних, напряму векторів потокозчеплень, напруг та інших чинників, а також, від прийнятих при їх виведенні допущень.

Явища, що супроводжують електромагнітні перехідні процеси в електричних машинах взагалі та АД зокрема, надзвичайно складні. При реалізації конкретних технічних завдань проєктування і подальшої побудови електрорушіїв БПА не має особливої необхідності у використанні найбільш точних методів, що одночасно описують електромагнітні та електромеханічні процеси. Цю задачу проєктування можна розв'язати шляхом більшого або меншого наближення, тобто, нехтуючи деякою кількістю прийнятих другорядних факторів, у результаті чого дослідження перехідних процесів у

реальних умовах зводиться до дослідження їх у більш простих, ідеалізованих, умовах.

Ідеалізована електрична машина має у порівнянні з реальною наступні чотири основні відмінності: 1) відсутність насичення магнітних ланцюгів; 2) відсутність втрат у сталі та витиснення струму в обмотках; 3) синусоїдальний розподіл у просторі кривих сил, що намагнічують, та магнітних індукцій; 4) незалежність індуктивних опорів розсіювання від положення ротору та від струму в обмотках.

Указані допущення значно спрощують математичний опис будь-яких електричних машин, у тому числі асинхронних. Так, нехтування насиченням та втратами у сталі дозволяє користуватись лінійною залежністю між силами, що намагнічують, та магнітними потоками. За відсутності втрат у сталі струми та сили, що намагнічують, співпадають за фазою зі створюваними ними струмами.

Ідеалізація АД вказаним шляхом, дозволяючи значно спростити ММ, забезпечує, проте, збереження у допустимих межах дійсної картини динамічних і енергетичних процесів, що відбуваються у реальній електричній машині, та цілком прийнятну точність при розв'язанні практичних задач проектування електрорушіїв БПА.

Як відомо, опір руху будь якого морського судна збільшується (приблизно, пропорційно квадрату швидкості) при зростанні швидкості судна ("вентиляторна" механічна характеристика, рис. 1). Також відомо, що найбільш технічно проста схема регулювання швидкості АД заснована на принципі змінювання напруги живлення двигуна при незмінній частоті мережі. У такому режимі регулювання суттєво змінюється критичне ковзання і за рахунок цього змінюється нахил механічної характеристики АД (рис. 1, характеристики при різних кутах керування α тиристорами силового перетворювача). За рахунок накладання цих двох характеристик досягається ефект регулювання швидкості, що дозволяє будувати досить прості розімкнені і замкнені за швидкістю системи керування електрорушійними.



Рисунок 1 – Типові механічні характеристики електрорушіїв БПА
(s – ковзання, в.о., M – момент двигуна, Нм, α – кути керування, град.)

При цьому можна використовувати найбільш простий математичний опис електромеханічних процесів АД (формули Клоса, зв'язок між моментом, струмом і напругою живлення тощо). Наприклад, якщо у систему регулювання напруги асинхронного двигуна при незмінній частоті живлення ввести датчик швидкості і врахувати закон змінювання навантаження від швидкості, то у спрощеному вигляді структурна модель електрорушії з асинхронним двигуном може бути представлена у вигляді, як наведено на рис. 2.

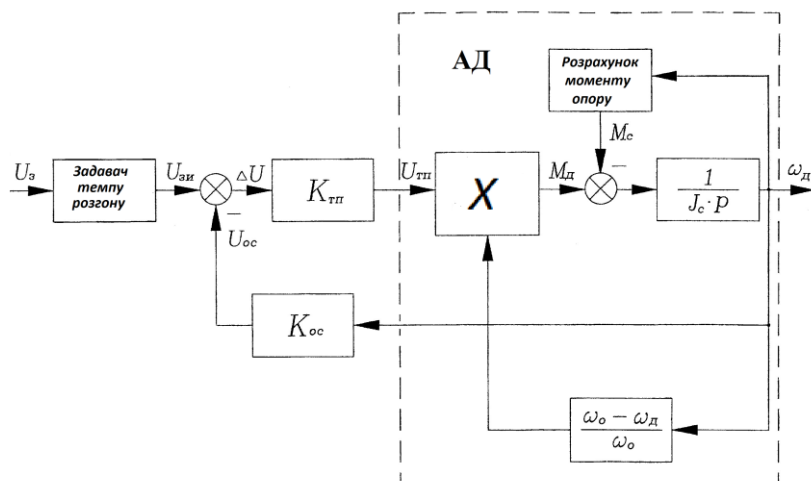


Рисунок 2 – Спрощена структурна схема лінеаризованої системи управління електрорушійним агрегатом (ЕРА), що побудована на основі регулювання напруги АД за системою "тиристорний перетворювач напруги – асинхронний двигун (ТПН-АД)"

На рис. 2 позначено:

ω_0 – швидкість ідеального холостого ходу АД, рад/с;

ω_d – швидкість ротора АД, рад/с;

J_c – сумарний момент інерції, кг·м²;

"X" – блок множення;

p – оператор Лапласа;

M_d, M_c – момент двигуна і момент опору, відповідно, Нм;

$K_{тп}$ – коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача напруги;

$K_{ос}$ – коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю, В·с/рад;

$U_{тп}$ – напруга на виході тиристорного перетворювача, В;

$U_{ос}$ – напруга на виході датчика швидкості, В;

ΔU – сигнал помилки регулювання, В;

$U_z, U_{зи}$ – сигнали завдання швидкості, В.

Вже такого представлення (рис. 2) достатньо для синтезу за необхідними критеріями контролера керування тиристорним перетворювачем.

Для більш точного урахування зв'язку "напруга-момент-швидкість" використаємо наступну послідовність розрахунку.

1. Розраховуємо на першому кроці швидкість ідеального холостого ходу

ω_{01} :

$$\omega_{01} = \omega_0 \text{sign}(U_{\text{ТП}}), \quad (1)$$

де функція $\text{sign}(U_{\text{ТП}})$ визначає знак сигналу напруги $U_{\text{ТП}}$ тиристорного перетворювача;

2. Розраховуємо поточне значення ковзання s на основі вимірювання швидкості двигуна:

$$s = 1 - \omega_{\text{Д}} / \omega_{01}. \quad (2)$$

3. Розраховуємо критичний момент $M_{\text{К1}}$ АД на цьому кроці:

$$M_{\text{К1}} = M_{\text{К}} (U_{\text{ТП}} / U_{\text{ТПmax}})^2 \cdot \text{sign}(U_{\text{ТП}}), \quad (3)$$

де $U_{\text{ТПmax}}$ – максимально можлива напруга на виході тиристорного перетворювача, В;

$M_{\text{К}}$ – максимальний критичний момент АД, Нм.

4. Розраховуємо поточний момент $M_{\text{Д}}$ двигуна за формулою Клоса:

$$M_{\text{Д}} = \frac{M_{\text{К1}}(2as_{\text{К}} + 1)}{s_{\text{К}} / s + s / s_{\text{К}} + 2as_{\text{К}}}, \quad (4)$$

де $s_{\text{К}}$ – критичне ковзання при номінальній напрузі, в.о.;

a – конструктивний коефіцієнт АД, в.о.

5. Розраховуємо реактивний момент опору $M_{\text{С}}$ на основі визначення знаку швидкості ротора двигуна:

$$M_{\text{С}} = M_{\text{ИД}} \text{sign}(\omega_{\text{Д}}), \quad (5)$$

де $M_{\text{ИД}}$ є розрахунковим значенням моменту опору, у якому нескладно додатково урахувати квадратичну (або іншого вигляду) залежність моменту опору від швидкості АД електрорушії.

6. На основі рівняння руху електроприводу

$$M_{\text{Д}} - M_{\text{С}} = J_{\text{С}} \frac{d\omega}{dt} \quad (6)$$

визначаємо швидкість АД, здійснюючи операцію інтегрування (наприклад, методом Ейлера першого порядку точності) для наступних приростів часу Δt_i :

$$\omega_{\text{Д},i} = \omega_{\text{Д},i-1} + (M_{\text{Д}} - M_{\text{С}}) \frac{\Delta t_i}{J_{\text{С}}}. \quad (7)$$

При необхідності обліку електромагнітних процесів до розрахунку необхідно включити інші, досить прості залежності, отримані на основі, наприклад, схем заміщення АД.

Висновки. Структурне уявлення електрорушійного пристрою на основі асинхронного двигуна з тиристорним перетворювачем, який працює при незмінній частоті живлення, з урахуванням прийнятих припущень та спрощень дозволяє легко реалізувати, наприклад, засобами *MatLab/Simulink*, його математичну модель і подальший синтез контролерів швидкості руху БПА.

Швидкість побудови і дослідження математичних моделей електрорушіїв БПА на основі структурних перетворень та урахування лише найголовніших факторів і параметрів АД двигуна та силового перетворювача є основною перевагою при практичній реалізації БПА при багатоваріантному пошуку найкращого технічного рішення з його побудови.

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 ХХ науково-технічної конференції, 03-04 вересня 2020 р. – С. 52-54. ДНДІ ВС ОВТ. – Чернігів: Видавець Брагинець О. В., 2020. – 295 с.
2. Волянська Я. Б., Волянський С. М., Онищенко О. А. Особливості прийняття конструктивних рішень при створенні пропульсивного комплексу автономного плавального апарату подвійного призначення ІІ Міжн. наук.-практ. морська конф. кафедри СЕУ і ТЕ Одеського національного морського університету (MPP&O-2020 (Marine Power Plants and Operation)). – С. 119-123.
3. Волянська Я. Б., Волянський С. М., Мазур О. М., Сапіга В. В., Онищенко О.А. Сучасний стан розвитку багатоцільових автономних плавальних апаратів подвійного призначення та їх автоматизованих систем керування. ІV Всеукраїнська науково-практична конференція "Воєнно-історична робота у Військово-Морських Силах Збройних Сил України. Проблемні питання та шляхи їх вирішення". 2021/11/25. – НУ "ОМА", 2021. – С. 54-56.
4. Сапіга В. В., Онищенко О. А., Шуміло О. М. Розвиток сучасних військово-морських сил Збройних Сил України: модульні концепції. Водний транспорт, № 2(36), 2022, с. 104-120.

УДК 629

ЗАСТОСУВАННЯ ІТЕРАЦІЙНОГО МЕТОДА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ОКОЛІ СИСТЕМИ ТРІЩИН В УМОВАХ ВІБРАЦІЇ

О. І. Кирилова, к.ф.-м.н, доцент

В.Г. Попов, д.ф.-м.н, професор

Національний університет «Одеська морська академія»

Розв'язано задачу математичного моделювання двовимірного напруженого стану в деталях суднового обладнання з системою довільно розміщених тріщин в умовах вібрації. Математична модель ґрунтується на приведенні вихідної задачі до системи сингулярних інтегро-диференціальних рівнянь відносно стрибків переміщень на поверхнях тріщин. Для розв'язання цієї системи запропоновано ітераційний метод. Цей метод дозволяє уникнути труднощів, пов'язаних з необхідністю розв'язання систем інтегро-диференціальних рівнянь великої розмірності.

Ключові слова: вібрація, тріщини, сингулярні інтегральні рівняння, метод ітерацій

APPLICATION OF THE ITERATIVE METHOD FOR DETERMINING THE STRESS STATE NEAR THE SYSTEM OF CRACKS IN CONDITIONS OF VIBRATION

O. Kyrylova, Ph.D

V. Popov, Dr. of Science, Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

The problem of mathematical modeling of the two-dimensional stress state in ship equipment details with a system of arbitrarily placed cracks under vibration conditions has been solved. The mathematical model is based on reducing the original problem to a system of singular integro-differential equations for displacement jumps on the crack surfaces. An iterative method is proposed to solve this system. This method avoids the difficulties associated with the need to solve systems of integro-differential equations of large dimensions..

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

Деталі суднового обладнання в процесі функціонування майже завжди знаходяться під впливом вібрації. В таких умовах на працездатність цих деталей суттєво впливають хвильові процеси, які спричинені вібрацією. Особливо небезпечні ці хвильові процеси при наявності в деталях суднового обладнання дефектів у вигляді тріщин. Тому проблема математичного моделювання напруженого стану в деталях машин і портових споруд з системами тріщин в умовах вібрації є актуальним і важливим для практики. Двовимірні задачі взаємодії хвиль з довільними системами прямолінійних тріщин розглянуті у [1-4], де вихідні задачі приведені до систем інтегральних або інтегро-диференціальних рівнянь. Але числові результати в цих роботах наводяться для випадку декількох, частіше двох тріщин. Це пояснюється технічними труднощами, пов'язаними з необхідністю числового розв'язку системи сингулярних інтегральних або інтегро-диференціальних рівнянь великої розмірності.

В даній роботі пропонується уникнути цих труднощів шляхом розв'язання відповідної системи інтегро-диференціальних рівнянь ітераційним методом.

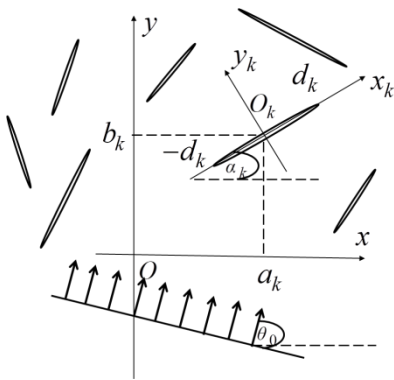


Рис. 1.

Елемент обладнання розглядається як пружний ізотропний простір, який знаходиться у стані плоскої деформації та містить N наскрізних тріщин. Ці тріщини в координатній площині Oxy розміщуються на відрізках довжиною $2d_k$ з центрами у точках $O_k(a_k, b_k), k=1, 2, \dots, N$ (Рис. 1).

Вібрація моделюється дією на тріщину поздовжніх, або зсувних хвиль, які визначаються потенціалами

$$\psi_{0j}(x, y) = A_j \exp(i \mathbf{a}_j \cdot (x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0)), j=1, 2. \quad (8)$$

Нехай $u(x, y)$ і $v(x, y)$ – переміщення у розсіяному на тріщинах хвильовому полі. Тоді вони мають задовольняти наступним рівнянням руху:

$$(\lambda + 2\mu) \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \mu \Delta u = -\rho \omega^2 u; \quad (\lambda + 2\mu) \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \mu \Delta v = -\rho \omega^2 v, \quad (9)$$

Для формулювання умов на тріщинах з кожною з них 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 розсіяних хвиль у системі $O_k x_k y_k$, а $u^{0k}(x_k, y_k), v^{0k}(x_k, y_k), \sigma_x^{0k}(x_k, y_k), \sigma_y^{0k}(x_k, y_k), \tau_{yx}^{0k}(x_k, y_k)$ – переміщення та напруження, викликані хвилями (8), що поширюються. За умови незавантаженості поверхонь тріщин мають виконуватись рівності

$$\sigma_y^k(x_k, 0) = -\sigma_y^{0k}(x_k, 0); \quad \tau_{yx}^k(x_k, 0) = -\tau_{yx}^{0k}(x_k, 0); \quad -d_k < x < d_k; k=1, 2, \dots, N, \quad (10)$$

а переміщення u^k, v^k є розривними з деякими стрибками $\chi_{3k}(x_k)$

У роботі [3] вихідна задача (8)-(10) приводиться до системи $2N$ сингулярних інтегро-диференціальних рівнянь відносно стрибків переміщень $\chi_{sk}(x_k)$.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi'_{3k}(\tau) \left[-\frac{2(1-\xi^2)}{\tau-\varsigma} + R_{13}^k(\tau-\varsigma) \right] d\tau + \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_{3k}(\tau) \left[\mathfrak{a}_0^2 \gamma_k^2 \ln|\tau-\varsigma| + V_{13}^k(\tau-\varsigma) \right] d\tau + \\ & + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^N \left[\frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi'_{3k}(\tau) F_{kl}^{13}(\tau-\varsigma) d\tau + \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi'_{4k}(\tau) F_{kl}^{14}(\tau-\varsigma) d\tau \right] + \\ & + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^N \left[\frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_{3k}(\tau) U_{kl}^{13}(\tau-\varsigma) d\tau + \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_{4k}(\tau) U_{kl}^{14}(\tau-\varsigma) d\tau \right] = f_{1k}(\varsigma); \\ & \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi'_{4k}(\tau) \left[\frac{2(1-\xi^2)}{\tau-\varsigma} + R_{24}^k(\tau-\varsigma) \right] d\tau + \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_{4k}(\tau) \left[\mathfrak{a}_0^2 \gamma_k^2 \ln|\tau-\varsigma| + V_{24}^k(\tau-\varsigma) \right] d\tau + \\ & + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^N \left[\frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi'_{3k}(\tau) F_{kl}^{23}(\tau-\varsigma) d\tau + \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi'_{4k}(\tau) F_{kl}^{24}(\tau-\varsigma) d\tau \right] + \\ & + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^N \left[\frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_{3l}(\tau) U_{kl}^{23}(\tau-\varsigma) d\tau + \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_{4k}(\tau) U_{kl}^{24}(\tau-\varsigma) d\tau \right] = f_{2k}(\varsigma); k=1,2,\dots,N. \end{aligned} \quad (11)$$

В системі (11) прийнято позначення

$$\varphi_{sk}(\tau) = d_k^{-1} \chi_{sk}(d_k \tau), s=3,4; k=1,2,\dots,N; \gamma_k = d^{-1} d_k, d = \max(d_1, d_2, \dots, d_N); \xi^2 = \mathfrak{a}_2^2 / \mathfrak{a}_1^2 = \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)},$$

ν – коефіцієнт Пуассона пружного матеріалу; $f_{1k}(\varsigma) = -\mu^{-1} \sigma_y^{0k}(d_k \varsigma, 0)$; $f_{2k}(\varsigma) = -\mu^{-1} \tau_{yx}^{0k}(d_k \varsigma, 0)$. Функції $R_{js}^k, V_{js}^k, F_{kl}^{js}, U_{kl}^{js}$, $j=1,2$; $s=3,4$; $l,k=1,2,\dots,N$ неперервні у області $-1 \leq \varsigma, \tau \leq 1$. Систему (11) необхідно розглядати сумісно з рівностями

$$\int_{-1}^1 \varphi'_{sk}(\tau) d\tau = 0; s=3,4; l,k=1,2,\dots,N,$$

які є наслідком умови замкнутості тріщин.

Щоб запобігти розв'язання систем великої розмірності у випадку значної кількості тріщин до (11) пропонується застосувати ітераційний метод, який полягає у розв'язанні на кожному кроці наступної сукупності $2N$ рівнянь:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 (\varphi_{3k}^i(\tau))' \left[-\frac{2(1-\xi^2)}{\tau-\varsigma} + R_{13}^k(\tau-\varsigma) \right] d\tau + \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_{3k}^i(\tau) \left[\mathfrak{a}_0^2 \gamma_k^2 \ln|\tau-\varsigma| + V_{13}^k(\tau-\varsigma) \right] d\tau = \\ & = f_k(\varsigma) - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^N \sum_{s=3}^4 \left[\frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 (\varphi_{sk}^{i-1}(\tau))' F_{kl}^{13}(\tau,\varsigma) d\tau + \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_{sk}^{i-1}(\tau) U_{kl}^{13}(\tau,\varsigma) d\tau \right], \\ & \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 (\varphi_{4k}^i(\tau))' \left[\frac{2(1-\xi^2)}{\tau-\varsigma} + R_{24}^k(\tau-\varsigma) \right] d\tau + \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_{4k}^i(\tau) \left[\mathfrak{a}_0^2 \gamma_k^2 \ln|\tau-\varsigma| + V_{24}^k(\tau-\varsigma) \right] d\tau = \\ & = f_{2k}(\varsigma) - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^N \sum_{s=3}^4 \left[\frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 (\varphi_{sk}^{i-1}(\tau))' F_{kl}^{23}(\tau,\varsigma) d\tau + \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 \varphi_{sk}^{i-1}(\tau) U_{kl}^{23}(\tau,\varsigma) d\tau \right], k=1,2,\dots,N; i=1,2,\dots \end{aligned} \quad (12)$$

При $i=0$ суми у правих частинах (12) відсутні і для нульового наближення $\varphi_{3k}^0(\tau)$, $\varphi_{4k}^0(\tau)$, $k=1,2,\dots,N$ отримаємо N пар незалежних рівнянь для окремих N тріщин. Числове розв'язання рівняння (12) здійснюється як у [3] методом механічних квадратур.

Важливою характеристикою напруженого стану є коефіцієнти інтенсивності напружень (КІН). Після розв'язання рівнянь (12) отримано наближені формули КІН для нормальних і дотичних напружень $K_{pl}^{(i)\pm}$, $l=1,2,\dots,N$, $p=1,2$ навколо кінців l -ї тріщини за результатами i -ї ітерації аналогічні наведеним у [3].

Як приклад, здійснена реалізація запропонованого методу для систем тріщин наступної конфігурації (Рис.2). Розглядалися окрема тріщина 1, система трьох тріщин 1-3, п'яти 1-5 та семи тріщин при куті $\beta=30^\circ$. Розраховувався КІН нормальних напружень $k_{11}^+ = K_{11}^+ / \mu \sqrt{d}$ при зміні безрозмірного хвильового числа $\alpha_0 = \alpha_2 a$. Вважалося, що на тріщини діє повздовжня хвиля з фронтом, паралельним до осі Ox ($\theta_0 = \pi/2$). При розрахунках використовувалось від 4 до 16 ітерацій, причому після 16 ітерацій уточнення значень КІН вже практично не спостерігається. У випадку трьох тріщин 1-3 встановлено співпадіння з результатами, отриманими при безпосередньому розв'язанні системи (11) [3]. З результатів, наведених на рис. 3, можна бачити, що частоти, при яких спостерігаються максимальні за амплітудою значення КІН, практично не залежать від кількості тріщин у системі та її конфігурації. Але спостерігають суттєве (до трьох разів) збільшення цих максимальних значень внаслідок взаємодії близько розташованих тріщин.

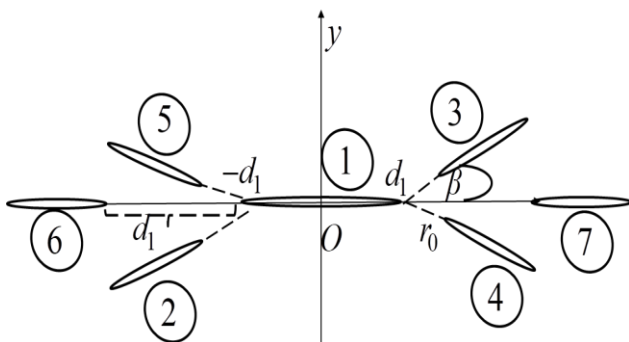


Рис. 2.

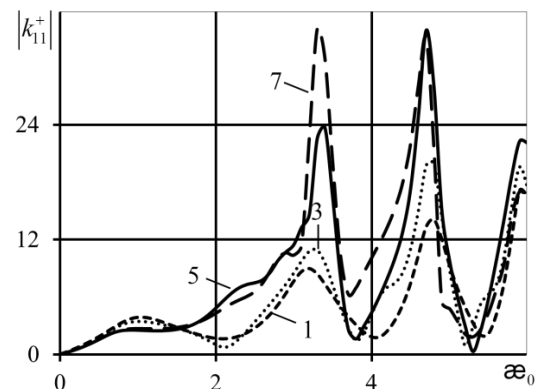


Рис. 3.

Висновки. Встановлено можливість визначення напруженого стану в тілах з довільними системами тріщин в умовах вібрації ітераційним методом. Цей метод не вимагає розв'язання систем інтегро-диференціальних рівнянь великої розмірності, а ґрунтується на розв'язанні сукупності окремих рівнянь на кожному кроці ітерації, які на різних кроках ітерацій відрізняються тільки правими частинами. Числові приклади демонструють, що пропонувані метод є збіжним і стійким у випадку систем досить щільно розташованих тріщин складної конфігурації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ang W.T., Clements D.L., Dehghan M. Scattering and diffraction of sh waves by multiple planar cracks in an anisotropic half-space: A hypersingular integral formulation // Int. J. Solid and Struct. – 1993. – 30, No. 10. – P. 1301–1312. – [https://doi.org/10.1016/0020-7683\(93\)90213-Q](https://doi.org/10.1016/0020-7683(93)90213-Q)
2. Chirino F., Dominguez J. Dynamic analysis of cracks using boundary element method // Eng. Fract. Mech. – 1989. – 34, No. 5-6. – P. 1051–1061. – [https://doi.org/10.1016/0013-7944\(89\)90266-X](https://doi.org/10.1016/0013-7944(89)90266-X).
3. Popov V.G. System of cracks under the impact of plane elastic waves // J. Phys.: Conf. Ser. – 2022. – 2231 012004. – <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2231/1/012004>
4. Zhang C., Gross D. The Solution of Plane Problem of Wave Loaded Cracks by an Integral Equation Method // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 1988. – 68, No. 4. – C. 299–305. – <https://doi.org/10.1002/zamm.19880680705>

UDC 539.3

MODELING TRANSIENT PROCESSES IN A FINITE CYLINDER UNDER IMPULSIVE LOADING

O. Demydov, assistant

V. Popov, Dr. of Science, Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

The problem of mathematical modeling of dynamic wave fields in a finite-length isotropic elastic cylinder is considered under the action of a time-dependent impulse load. The influence of the impulse shape on the wave fields of displacements and stresses in the cylinder has been investigated.

Key-words: finite cylinder, impulsive load, transient processes

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У СКІНЧЕНОМУ ЦИЛІНДРІ ЗА ІМПУЛЬСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

О. В. Демидов, асистент

В.Г. Попов, д. ф.-м. н, професор

Національний університет «Одеська морська академія»

Розглянуто задачу математичного моделювання динамічних хвильових полів в ізотропному пружному циліндрі скінченної довжини під дією імпульсного навантаження, що залежить від часу. Досліджено вплив форми імпульсу на хвильові поля переміщень і напружень у циліндрі.

Ключові слова: скінченний циліндр, імпульсне навантаження, перехідні процеси.

1. Formulation and solution of the problem. Consideration is given to an elastic cylinder of isotropic material with a height a and a radius r_0 (Fig. 1). A cylindrical coordinate system is associated with the cylinder, the center of which coincides with the center of the lower base, and the axis Oz aligns with the cylinder axis. The lower base of the cylinder ($z=0$) is rigidly fixed, and a variable in time, distributed force $P(r,t)$ normal to the upper base ($z=a$) is applied. The conditions of sliding contact are satisfied on the lateral surface.

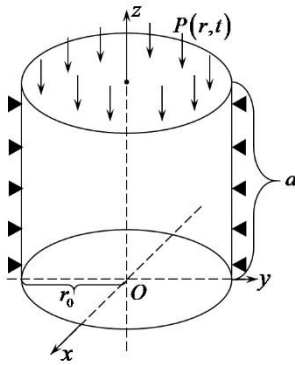


Fig. 1. Finite elastic cylinder

Under these conditions, the cylinder is in a state of axisymmetric deformation. The angular displacement is zero, $u_\theta(\eta, \zeta, \tau) = 0$, while the radial $u_\eta(\eta, \zeta, \tau)$ and axial $u_\zeta(\eta, \zeta, \tau)$ displacements satisfy the Lamé's equations of motion:

$$\begin{aligned} \mu \left(\Delta u_\eta - \frac{u_\eta}{\eta^2} \right) + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{1}{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} (\eta u_\eta) + \frac{\partial u_\zeta}{\partial \zeta} \right) &= \rho \frac{\partial^2 u_\eta}{\partial \tau^2}; \\ \mu \Delta u_\zeta + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\frac{1}{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} (\eta u_\eta) + \frac{\partial u_\zeta}{\partial \zeta} \right) &= \rho \frac{\partial^2 u_\zeta}{\partial \tau^2}, \\ 0 \leq \eta \leq 1, \quad 0 \leq \zeta \leq 1, \quad \tau \in [0; +\infty) \end{aligned}$$

where Δ – 2D Laplace operator in cylindrical coordinates, ρ – cylinder material density, μ, λ – the Lamé coefficients.

Equation (13) is considered with zero initial conditions.

The boundary conditions on the lower base are formulated as follows:

$$u_\eta(\eta, 0, \tau) = 0; \quad u_\zeta(\eta, 0, \tau) = 0; \quad 0 \leq \eta < 1, \quad \tau \in [0; +\infty) \quad (14)$$

The boundary conditions on the upper base are as follows:

$$\sigma_{\zeta\zeta}(\eta, 1, \tau) = P(\eta, \tau), \quad \tau_{\eta\zeta}(\eta, 1, \tau) = 0, \quad 0 \leq \eta < 1, \quad \tau \in [0; +\infty) \quad (15)$$

Sliding contact conditions are satisfied on the lateral surface:

$$u_\eta(1, \zeta, \tau) = 0; \quad \frac{\partial u_\zeta}{\partial \eta}(1, \zeta, \tau) = 0, \quad 0 \leq \zeta < 1, \quad \tau \in [0; +\infty) \quad (16)$$

The initial-boundary value problem (13)-(16) was solved using a method based on a finite difference approximation of derivatives with respect to time [1]. This method reduced the problem (13)-(16) to a set of sequentially solvable boundary value problems:

$$\begin{cases} \frac{1}{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\eta \frac{\partial u_{\eta v}}{\partial \eta} \right) - \frac{u_{\eta v}}{\eta^2} + \frac{\xi^2}{\gamma^2} \frac{\partial^2 u_{\eta v}}{\partial \zeta^2} + \frac{1 - \xi^2}{\gamma} \frac{\partial^2 u_{\zeta v}}{\partial \eta \partial \zeta} = \xi^2 \kappa_v^2 u_{\eta v} \\ \frac{1}{\gamma} \left(\frac{1}{\xi^2} - 1 \right) \frac{1}{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\eta \frac{\partial u_{\eta v}}{\partial \zeta} \right) + \frac{1}{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\eta \frac{\partial u_{\zeta v}}{\partial \eta} \right) + \frac{1}{\xi^2 \gamma^2} \frac{\partial^2 u_{\zeta v}}{\partial \zeta^2} = \kappa_v^2 u_{\zeta v} \end{cases} \quad (17)$$

$$u_{\eta v}(\eta, 0) = 0; \quad u_{\zeta v}(\eta, 0) = 0; \quad 0 \leq \eta < 1. \quad (18)$$

$$\sigma_{\zeta\zeta v}(\eta, 1) = P_v(\eta), \quad \tau_{\eta\zeta v}(\eta, 1) = 0, \quad 0 \leq \eta < 1 \quad (19)$$

$$u_{\eta v}(1, \zeta) = 0; \quad \frac{\partial u_{\zeta v}}{\partial \eta}(1, \zeta) = 0, \quad 0 \leq \zeta < 1 \quad (20)$$

Using finite integral transforms of Hankel type [2], problems (17)-(20) were reduced to a system of ordinary differential equations for the transform:

$$\begin{aligned} U_{\eta m}''(\zeta) - (1 - \xi^2) \lambda_m \xi^{-2} \gamma U_{\zeta m}'(\zeta) - \xi^{-2} \gamma^2 \sigma_{1m}^2 U_{\eta m}(\zeta) &= 0, \\ U_{\zeta m}''(\zeta) + (1 - \xi^2) \lambda_m \gamma U_{\eta m}'(\zeta) - \xi^2 \gamma^2 \sigma_{2m}^2 U_{\zeta m}(\zeta) &= 0, \end{aligned} \quad (21)$$

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

If $m=0$ $U_{\eta 0}(\zeta) \equiv 0$, then $U_{\zeta 0}(\zeta)$ satisfies the equation:

$$U_{\zeta 0}''(\zeta) + \gamma^2 \xi^2 \kappa_v^2 U_{\zeta 0}(\zeta) = 0. \quad (22)$$

Using new variables

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

the system of equations (21) was reduced to a normal linear homogeneous system of differential equations:

$$X_m'(\zeta) = A_m X_m(\zeta), \quad A_m = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \gamma^2 \sigma_{1m}^2 \xi^{-2} & 0 & 0 & (1-\xi^2) \xi^{-2} \gamma \lambda_m \\ 0 & \xi^2 \gamma^2 \sigma_{2m}^2 & -(1-\xi^2) \gamma \lambda_m & 0 \end{pmatrix}, \quad m=1,2,\dots \quad (23)$$

To the systems (21) and (23), equations arising from boundary conditions (14) and (15) should be added. For $m=0$ we have

$$U_{\zeta 0}(0) = 0, U_{\zeta 0}'(1) = \xi^2 \gamma P_0 \quad (24)$$

In case of $m \geq 1$

$$\begin{aligned} X_{1m}(0) = 0, \quad X_{2m}(0) = 0, \quad X_{3m}(1) - \lambda_m \gamma X_{2m}(1) = 0, \\ X_{4m}(1) + (1 - 2\xi^2) \lambda_m \gamma X_{1m}(1) = \xi^2 \gamma P_m, \quad m=1,2,3,\dots \end{aligned} \quad (25)$$

In equations (24), (25) is denoted as

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

The solution to the Cauchy problem (22), (24) is given by

$$U_{\zeta 0}(\zeta) = \kappa_v^{-1} \xi^2 P_0 \operatorname{sh}(\xi \kappa_0 \gamma \zeta) \operatorname{sch}(\xi \kappa_0 \gamma). \quad (26)$$

The general solution of the system (23) is a vector

$$X_m(\zeta) = \Phi_m(\zeta) \cdot C_m, \quad (27)$$

where $\Phi_m(\zeta)$ – fundamental matrix of the system solution, and $C_m = (C_{1m}, C_{2m}, C_{3m}, C_{4m})^T$ – arbitrary constants vector. The values of these constants can be obtained from the linear algebraic equations system (25):

$$\Phi_m C_m = R_m, R_m = (0, 0, 0, \sigma_{1m} P_m)^T, \quad (28)$$

The solution of the system (28), and then the system (27) with boundary conditions (25) can be found using the inverse matrix

$$\Phi_m^{-1} = M_m \Delta_m^{-1}; \quad \Delta_m = e_{1m} e_{2m} \det(\Phi_m)$$

$$X_m(\zeta) = \Delta_m^{-1} \Phi_m(\zeta) M_m R_m. \quad (29)$$

Formula (29) allows explicitly determining $U_{\eta m}(\zeta), U_{\zeta m}(\zeta)$, and then using the inverse integral transformations formulas to determine the displacements in the cylinder:

$$u_{\eta v}(\eta, \zeta) = 2 \sum_{m=1}^{\infty} P_m \frac{J_1(\lambda_m \eta)}{J_0^2(\lambda_m) \Delta_m} B_{1m}(\zeta); \quad u_{\zeta v}(\eta, \zeta) = 2 \left(\frac{\xi P_0 \operatorname{sh}(\xi \tau_{\zeta v} \gamma \zeta)}{\tau_{\zeta v} \operatorname{ch}(\xi \tau_{\zeta v} \gamma)} + \sum_{m=1}^{\infty} P_m \frac{J_0(\lambda_m \eta)}{J_0^2(\lambda_m) \Delta_m} B_{2m}(\zeta) \right),$$

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

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

2. Numerical modelling results analysis.

Using the obtained formulas, calculations were performed for axial displacements at the upper base $u_{\eta}(0,1)$ and normal stresses at the lower base $\sigma_{\zeta\zeta}(0,0)$ of the cylinder under the impulsive loading distributed according to the law $\sigma_{\zeta\zeta}(\eta,1) = (1-\eta^2)$, with the Poisson's ratio assumed to be $\nu = 0,25$. The results of the calculations are presented in figures 2 and 3, where the curves show the dependence of displacements and stresses on the dimensionless time $\tau = c_2 t_0^{-1} t$ under various impulse shapes. The duration of the impulse $\tau_0 = 3$. Curve 1 corresponds to a single applied pulse, curves numbered 2, 3 and 4 correspond to three identical pulses with a pause between them is equal to $\tau_p = 1, 2 \text{ i } 3$, respectively. Curve 5 corresponds to a constant load [3] and is provided for comparison.

The graphs in figures 2-3 demonstrate the fact that the maximum values of axial displacement at the upper base and normal stress at the lower base of the cylinder are observed during the transient process, and this maximum exceeds their values in the steady state. However, it decreases with each subsequent application of the load, and by the third application, it almost does not differ from the value in the steady state.

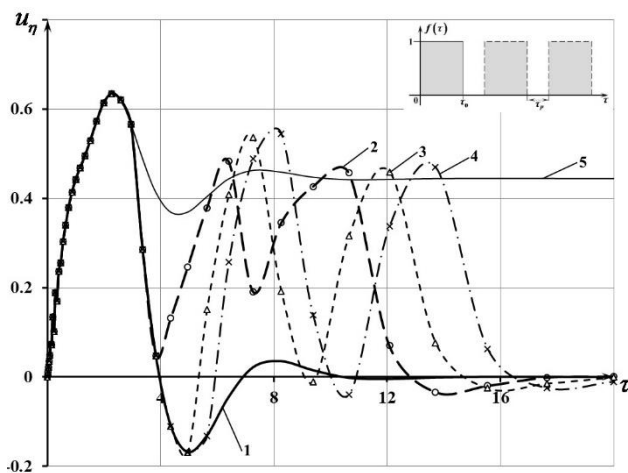


Fig. 2. Axial displacements

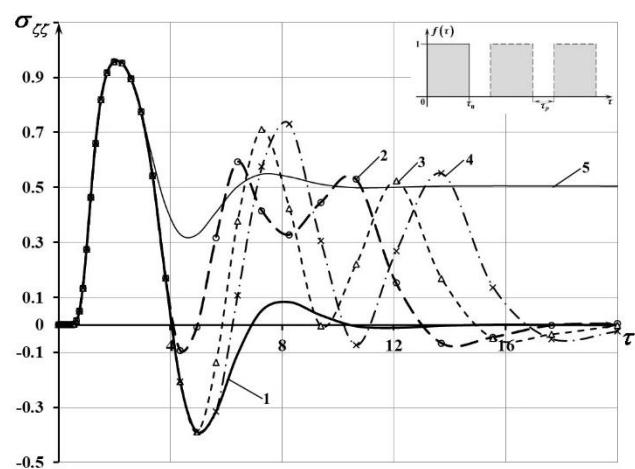


Fig. 3. Normal Stresses

Conclusions.

The paper proposes a method for solving the problem of modeling nonstationary wave fields in an elastic finite cylinder subjected to time-dependent impulse loading. This methodology is based on the finite difference approximation of the time derivative and the use of a time grid with specially selected nodes. Numerical results demonstrate the effectiveness of such an approach in investigating transient processes occurring immediately after the application of loading.

REFERENCES

1. Savruk M P 2003 New method for the solution of dynamic problems of the theory of elasticity and fracture mechanics *Materials Science* **39** (4) 465–471.
2. Попов В. Г. Математичне моделювання енергетичних процесів / В.Г. Попов // Навч. посібник, НУ «ОМА», 2017. – 76 с.
3. Олександр Демидов Застосування модифікованого методу скінченних різниць за часом при математичному моделюванні нестационарних хвильових полів у скінченному циліндрі / О.В. Демидов, В.Г. Попов/ Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2022 - 23.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2023. – С. 53-56.

УДК 629.1

МОДЕЛЮВАННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ СУДНОВОГО ДОПОМІЖНОГО КОТЛА МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ АНАЛОГІЙ

В.І. Бічев, студент,
І.М. Гвоздева, д.т.н., професор
Г.П. Грама, к.п.н
О.В. Глазєва, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: на основі метода електрогідравлічних аналогій проведено моделювання паливної системи суднового допоміжного котла. Розглянуто складові елементи паливної системи допоміжного суднового котла та конфігурація трубопроводу для пальника котла. Параметри розробленої електричної схеми заміщення гідравлічної (паливної) системи пальника визначені за допомогою рішення системи рівнянь, побудованою на основі метода електрогідравлічних аналогій за законами Кірхгофа.

Ключові слова: паливна система, судновий допоміжний котел, моделювання, метод електрогідравлічної аналогії.

MODELING OF THE FUEL SYSTEM OF A MARINE AUXILIARY BOILER USING THE ELECTROHYDRAULIC ANALOGIES METHOD

V.I. Bichev, second-level graduate of higher education
I.M. Gvozdeva, Dr. of Science, Professor
G.P. Grama, Candidate of Pedagogical Sciences
O.V. Glazeva, Ph.D., associate professor
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: Abstract: based on the method of electrohydraulic analogies, the fuel system of the ship's auxiliary boiler was modeled. The components of the fuel system of the auxiliary ship boiler and the pipeline

configuration for the boiler burner are considered. The parameters of the developed electrical equivalent circuit of the hydraulic (fuel) system of the burner are determined using the solution of the system of equations built on the basis of the method of electrohydraulic analogies according to Kirchhoff's laws.

Keywords: fuel system, modeling, electrohydraulic analogy, boiler, boiler burner.

Актуальність теми. Економічні показники функціонування транспортно-го судна істотно залежать від встановленої на ньому енергетичної установки (СЕУ), яка забезпечує рух судна та постачання необхідною енергією всіх суднових споживачів. Витрати на експлуатацію СЕУ складають 35-50% від вартості експлуатації всього судна [1]. Тому підвищення ефективності роботи СЕУ, економія палива та інших енергетичних і матеріальних ресурсів становить важливу науково-технічну задачу. при вирішенні вказаної задачі значна роль відводиться вдосконаленню процесів, які відбуваються у різних суднових системах, що входять до складу СЕУ, зокрема, у допоміжних парових котлах. Парові котли характеризуються: площею поверхні нагріву; паропродуктивністю; робочим тиском і температурою перегріву пара – основними параметрами пару, виробленого котлом; питомим пароз'ємом; коефіцієнтом корисної дії (ККД) – відношенням корисно використаної теплоти (витраченої на отримання пара) до всієї теплоти, яку віддало паливо, яке згоріло в топці. Підвищення ефективності використання суднових допоміжних котлів пов'язане з необхідністю дослідження процесів, які відбуваються у них. Одним із відомих методів, що дозволяє спростити математичний опис процесів, що відбуваються у суднових допоміжних котлах, є метод електрогідрравлічної аналогії.

Мета роботи полягає у моделюванні процесів у паливній системі суднового допоміжного котла на основі використання методу електрогідрравлічних аналогій.

Основна частина. Суднові допоміжні котли працюють в основному на рідкому паливі. Розглянемо паливну систему допоміжного суднового котла (рис. 1) та конфігурацію трубопроводу для пальника допоміжного суднового котла (рис. 2).

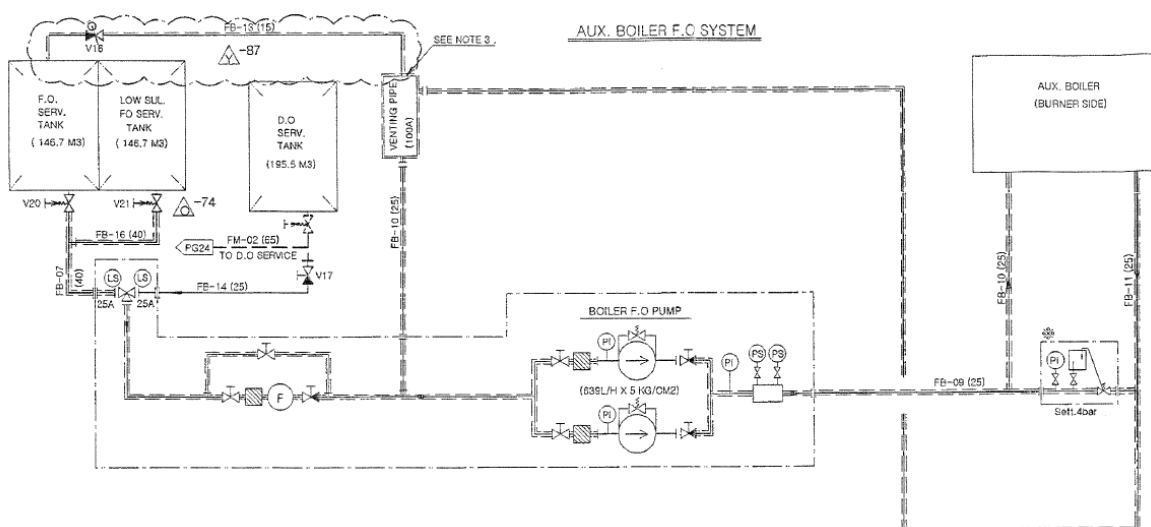
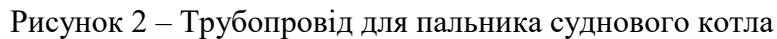


Рисунок 1 – Паливна система допоміжного суднового котла



1. Паливна труба до пальника; 2. Паливна труба із пальника; 3. Паливний фільтр; 4. Паливний насос; 5. Манометр; 6. Запірний клапан [NC]; 7. Реле тиску; 8. Триходовий клапан; 9. Головні електромагнітні клапани [NC]; 10. Підігрівач; 11. Термостат підігрівача; 12. Терморегулятор; 13. Індикатор температури; 14. Електромагнітний клапан [NC]; 15. Електромагнітний клапан [N]; 16. Паливо регулятор; 17. Реле тиску; 18. Клапан форсунки; 19. Серводвигун; 20. Незворотний клапан; 21. Деаератор; 22. Кульовий кран [NC]; 23. Клапан регулятора тиску; 25. Мотор паливного насоса; 26. Детектор полум'я.

Розуміння електрогідравлічної аналогії є корисним при проектуванні та аналізі процесів у гідравлічних та електричних системах. Метод електрогідравлічної аналогії доцільно використовувати при моделюванні процесів руху рідини в магістральних нафтопроводах, режимів роботи відцентрових насосів, гідроприводу та інших елементів гідравлічних систем. При розрахунках гідравлічних схем та моделюванні процесів у них використовуються реальні характеристики насосів, у яких вже враховано втрати в насосі $\Delta P_{\text{нас}}$. Як гідравлічний аналог тиску P або напору насоса H використовується електричний аналог $E_{PC} - E$.

www.femire.onma.edu.ua

Таблиця 1- Електричні та гідравлічні аналоги

Система	Фізичні велечини				
Електрична	Напруга U , В	Струм I , А	Активний опір R , Ом	Електрична індук- тивність L , Гн	Електрична ємність C , Ф
Гідравлічна	Тиск P , Па	Витрата Q , м ³ /с	Гідравлічний опір $R_r = \frac{2a}{s}$, сПа/м ³	Гідравлічна індук- тивність $L_r = \frac{\rho_0}{s}$, с ² Па/м ³	Гідравлічна ємність $C_r = \frac{s}{\rho_0 c^2}$, м ³ / Па

Між напором H і тиском P існує зв'язок:

$$P = \rho g H, \quad (1)$$

де H – напір, ρ – густина рідини, g – швидкість вільного падіння.

В якості ілюстрації застосування метода електрогідравлічних аналогій для моделювання гідравлічних систем розглянемо ідеалізовану відцентровану гідравлічну машину (ВГМ) – машину без втрат з нескінченною кількістю безмежно тонких лопатей, яка працює з ідеальною рідиною та може застосовуватися у якості джерела енергії у суднових гідравлічних системах. Використання понять теорії кіл [2, 4 с.1] дає змогу отримати модифіковане рівняння Ейлера у вигляді балансу тисків:

$$\rho g H_\infty = \rho g H_0 - Q_\infty R_{ВГМ}, \quad (2)$$

де H_∞, Q_∞ – напір та витрата рідини на виході ВГМ; H_0 – значення напору в безвитратному режимі холостого ходу ($Q_\infty = 0$); $R_{ВГМ}$ – внутрішній гідроопір ВГМ.

Рівнянню (2) відповідає скалярна схема заміщення ідеалізованої ВГМ, яка наведена на рисунку 3.

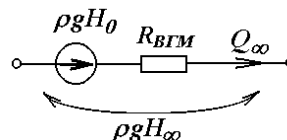


Рисунок 3 – Схема заміщення ідеалізованої відцентрованої гідравлічної машини

Схема (рис. 3) та рівняння (2) відповідно аналогічні наступній схемі заміщення електричної машини (рис. 4) та рівнянню (3).

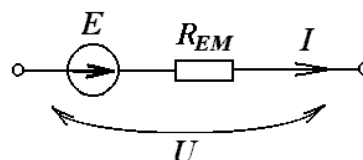


Рисунок 4 – Схема заміщення електричної машини постійного струму

$$U = E - I R_{ЕМ}, \quad (3)$$

де U , I – напруга та струм на виході електричної машини (ЕМ); E – електро-рушійна сила (ЕРС), значення якої дорівнює напрузі ЕМ в режимі холостого ходу ($I=0$); $R_{ЕМ}$ – внутрішній опір ЕМ [4, с.2].

Будь-яку складну гідравлічну систему можна розглядати як електричну систему, в якій елементи R , L та C з'єднані послідовно або паралельно. Визначаючи вхідний опір кожної ділянки гідравлічної системи, користуючись при цьому методами теорії електричних кіл [5], можливо знайти вхідний опір всієї гідравлічної системи, що включає зосереджені неоднорідності типу фільтрів, зворотних та запобіжних клапанів, місцевих опорів тощо.

Для моделювання паливної системи пальника допоміжного суднового котла авторами було зроблено заміщення гідравлічної схеми до електричної та записана відповідна система лінійних рівнянь [3, с.2]. За рахунок еквівалентних перетворень отримана еквівалентна електрична схема, параметри якої розраховані із застосуванням законів Кірхгофа [5]. Після вирішення системи рівнянь отримані значення струмів, що відповідають об'ємній витраті рідини у гідравлічній системі. Падіння напруги на елементі в електричному колі моделює наявний тиск у певній ділянці паливної системи. Отримані дані дозволять дослідити процеси у розглядаємій паливній системі суднового допоміжного котла.

Висновки. Метод електрогідравлічних аналогій дозволяє моделювати процеси у гідравлічних системах, зокрема у паливної системі суднового допоміжного котла та вдосконалювати режими їх роботи і підвищувати ефективність функціонування суднової енергетичної установки.

ЛІТЕРАТУРА

1. http://ni.biz.ua/3/3_17/3_179655_naznachenie-printsip-deystviya-i-mesto-parovogo-kotla-v-sostave-sudovoy-energeticheskoy-ustanovki.html.
2. Костишин В.С. Моделювання режимів роботи відцентрових насосів на базі електрогідравлічної аналогії. М.: Івано-Франківськ. - ІФДТУНТ, 2000. - 115 с.
3. <http://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/view/1551/1273>.
4. <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/610/4/2217p.pdf>.
5. Мадьяров В. Г. Теоретичні основи електротехніки. Частина 1 : конспект лекцій / Карпов Ю. О., Магас Т. С., Мадьяров В. Г. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 154 с.

Секція 6. РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ ТА ЗВ'ЯЗОК

УДК 621.396.932

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ГЛОБАЛЬНОГО МОРСЬКОГО ЗВ'ЯЗКУ ЛИХА ТА БЕЗПЕКИ (GMDSS)

О. В. Шишкін, д.т.н., доцент

О. Л. Пашенко, старший викладач

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Проведений аналіз запланованих змін в організації системи Глобального морського зв'язку лиха та безпеки (GMDSS), які запропоновані Міжнародною морською організацією (ІМО) та мають бути внесені на початку 2024 року в Міжнародну Конвенцію з охорони життя на морі (SOLAS). Зміни стосуються головним чином впровадженням у GMDSS супутникової системи Ірідіум, визначення морських районів та скасування застарілих систем радіозв'язку. Розроблена таблиця складу обов'язкового суднового обладнання з урахуванням дублювання обладнання в рамках запланованої модернізації.

Ключові слова: Ірідіум, SOLAS, морські райони, НАВТЕКС, інформація з безпеки мореплавства.

MODERNIZATION OF GLOBAL MARITIME DISTRESS AND SAFETY SYSTEM

O. Shyshkin, Dr. of Science, Docent

O. Pashenko, associate professor

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The analysis of the planned changes in the organization of the Global Maritime Distress and Safety Communication System (GMDSS), which are proposed by the International Maritime Organization (IMO) and should be introduced in the beginning of 2024 in the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), is carried out. The changes relate mainly to the implementation of the Iridium satellite system in the GMDSS, the definition of sea areas and the cancellation of obsolete radio communication systems. A table of the composition of mandatory ship equipment is developed, taking into account the duplication of equipment as part of the planned modernization.

Key-words: Iridium, SOLAS, sea area, NBDP, NAVTEX, GMDSS, MSI.

Система глобального морського зв'язку лиха та безпеки (GMDSS) використовується у морському судноплавстві протягом майже 25 років з дати 1-го лютого 1999 року набуття статусу обов'язкової для вантажних суден валової місткості 300 тонн і більше та всіх пасажирських суден, що здійснюють міжнародні рейси [1]. За чверть століття свого функціонування GMDSS піддавалась певним змінам, що торкалися головним чином систем супутникового зв'язку Інмарсат – виведення з експлуатації або набуття чинності нових стандартів суднових терміналів зв'язку. Наразі плануються більш суттєві кроки щодо модернізації GMDSS.

Міжнародна морська організація (ІМО) на 105-му засіданні Комітету з безпеки на морі (MSC) прийняла комплексні поправки до Міжнародної конвенції SOLAS, розділ IV: Радіозв'язок [2,3]. Переглянута глава IV SOLAS стосується модернізації GMDSS і майбутнього використання сучасних систем зв'язку в GMDSS і морському зв'язку, одночасно видаляючи застарілі вимоги з глави IV SOLAS.

Метою даної статті є аналіз внесених поправок для подальшого їхнього врахування в навчальних програмах відповідних дисциплін, навчально-методичних матеріалах, плануванні тренажерних занять тощо.

Основними змінами в організації GMDSS є наступні:

- схвалення супутникової системи Iridium як постачальника супутникових послуг;
- перегляду формулювань морських районів GMDSS (A3 та A4);
- оновлення вимог до комплектації суден обладнанням GMDSS та
- скасування систем вузько смугового літеро друкування (NBDP) та NAVTEX як обов'язкових для встановлення за певних умов.

Свою назву система Iridium отримала у зв'язку з тим, що спочатку планувалося створити угруповання із 77 супутників. Це число дорівнює атомному номеру іридію. У 2018 році, на 99 сесії Комітету з безпеки на морі [4], компанія Iridium Satellite LLC. була визнана авторизованим постачальником послуг GMDSS, що поклато край монополії Inmarsat Global Limited. У січні 2020 року сузір'я Iridium було сертифіковане для використання в GMDSS.

На теперішній час обладнання Iridium використовується на понад 50 тисячах суден по всьому світу, 20 відсотків від яких це судна, що підпадають під Конвенцію SOLAS [5]. Система Iridium забезпечує супутниковий зв'язок по всьому світу, у тому числі в морському районі A4. Висота супутникової орбіти складає 780 км. Кожен супутник перехресно пов'язаний з чотирма іншими супутниками, що гарантує захищеність мережі від впливу навколишніх умов. Супутники Iridium працюють в L-діапазоні, що робить їх не вразливими до змін погоди [6]. Такі супутники набагато дешевші за супутники конкурента (Inmarsat).

Суднова станція Iridium надає три ключових сервіси в рамках GMDSS:

- передача сигналу лиха,
- голосове оповіщення про лихо і
- прийом інформації з безпеки мореплавства.

Крім того, доступні також послуги передачі голосових, текстових повідомлень і даних. Крім іншого, мультисервісний термінал може підтримувати судову систему охоронного оповіщення (SSAS), засоби захисту від піратства (Citadel Communications), а також систему дальньої ідентифікації та контролю за місцезнаходженням суден (LRIT) [5].

В оновленій Главі IV SOLAS морський район A3 буде визначений як район, за винятком морських районів A1 та A2, у межах покриття визнаної мобільної супутникової служби, яка підтримується судовим супутниковим терміналом, що забезпечує передачу оповіщення лиха до найближчого рятувально-координаційного центру.

Визначення морського району A3 варіюватиметься в залежності від типу судового терміналу мобільної супутникової служби:

- якщо використовується Inmarsat, то район A3 залишається у незмінному формулюванні;

–якщо використовується Iridium, то район А3 приймає визначення глобального, за винятком районів А1 та А2;

–якщо використовується регіональна супутникова система, район А3 буде обмежений зоною покриття цієї системи, за винятком А1 і А2.

Визначення районів А1 та А2 залишаються без змін.

Морський район А4 взагалі зникає у разі використання терміналу Iridium.

Обов'язковий склад суднового обладнання GMDSS в залежності від району плавання має бути як вказано у таблиці 1. Таблиця враховує вплив необхідного дублювання обладнання. Наприклад, для районів А1+А2+А3 (А1-3) може бути два варіанти комплектації:

(а) з двома супутниковими терміналами Inm-C/Iridium в будь-якої комбінації (Inm-C + Iridium; Inm-C + Inm-C; або Iridium + Iridium) або

(б) супутниковий термінал Inm-C/Iridium та HF радіостанція з наявністю цифрового вибіркового виклику (DSC), радіотелефонії (RT) та вахтового сканування частот лиха DSC (DSC_WatchRx).

Таблиця 1 - Обов'язковий склад суднового обладнання GMDSS

Обладнання	A1	A1-2	A1-3 SES+SES	A1-3 SES+HF	A1-3(4) Iridium	A1-4 Inm-C
1. VHF DSC/RT/DSC_WatchRx	+	+	+	+	+	+
2. MF DSC/RT/DSC_WatchRx	*	+	+	+	+	
3. RMSS Inm-C/Iridium	*	**	Inm-C/ Iridium	Inm-C/ Iridium	Iridium	Inm-C
4. HF DSC/RT/DSC_WatchRx		**		+		+
5. Duplicated VHF DSC/RT/WR***	+	+	+	+	+	+
6. Duplicated MF DSC/RT/WR***		+				
7. Duplicated MF/HF DSC/RT/WR***				+		+
8. Duplicated RMSS INM- C/Iridium			Inm-C/ Iridium		Iridium	
9. Receiver for MSI**** + SAR information	+	+	+	+	+	+
10. Float-free EPIRB	+	+	+	+	+	+
11. Radar-SART or AIS-SART	+	+	+	+	+	+
12. Portable GMDSS VHF transceivers	+	+	+	+	+	+

Абревіатури та примітки:

SES – Ship Earth Station;

RMSS – Recognized Mobile Satellite Station

WR – Watch Receiver

* Судна, що працюють у морському районі А1, можуть встановити або EPIRB 406 МГц, або MF з використанням DSC, або HF з використанням DSC, або RMSS як засіб ініціювання передачі сповіщень про лихо судно-берег з положення, в якому зазвичай знаходиться судно (SOLAS IV/8.1).

** Судна, що працюють у морському районі А2, можуть встановити RMSS або HF з використанням DSC як вторинний засіб ініціювання передачі сповіщень про лихо судно-берег, а також для передачі та отримання загального радіозв'язку (SOLAS IV/9.1.3 та IV/9.4.2).

*** Застосовується, лише якщо судно вибрало дублювання обладнання, щоб забезпечити доступність обладнання (SOLAS IV/15.6 і 15.7).

**** Приймачі MSI можуть бути інтегровані з SES.

Збережена вимога щодо п'ятірки обов'язкових видів обладнання для всіх районів, але замість приймача NAVTEX виступають приймачі з безпеки мореплавства (MSI), які можуть бути інтегровані з судновими земними станціями (SES) Inm-C/Iridium [3].

Також скасовується норма обов'язковості NBDP та відповідно приймача NAVTEX, який застосовує цей вид зв'язку. В [3], що регламентує внесення зміни до SOLAS 2024, зникли згадки щодо цих видів обладнання. З 1 січня 2024 року воно повинно бути замінено на еквівалентне, що задовольняє вимогам GMDSS (табл. 1).

Зазначені виправлення набувають чинності з 1 січня 2026 року.

Висновки.

GMDSS пройшла ряд змін, які вплинули головним чином на супутниковий зв'язок, зокрема з введенням системи Iridium. Міжнародна морська організація внесла комплексні поправки до Міжнародної конвенції SOLAS, розділ IV, що стосується модернізації GMDSS.

Система Iridium була визнана авторизованим постачальником послуг GMDSS, що призвело до розширення конкуренції на ринку супутникового зв'язку для морського судноплавства. Вона надає широкий спектр супутникових послуг для GMDSS, включаючи передачу оповіщення про лихо, голосове оповіщення про лихо та прийом інформації з безпеки мореплавства.

Внесені зміни також охоплюють перегляд формулювань морських районів GMDSS та скасування застарілих систем зв'язку. Визначення морського району А3 тепер залежить від встановленого на борту судна супутникового терміналу (Inmarsat або Iridium), що впливає на комплект обов'язкового обладнання суден.

Перегляд списку обов'язкового обладнання на борту судна, в контексті модернізації GMDSS, визначив важливі зміни для морського судноплавства. Ця ініціатива враховує сучасні технологічні можливості, роблячи акцент на супутниковому зв'язку, зокрема системі Iridium. Зазначимо, що норма обов'язковості NBDP та приймача NAVTEX скасовується, замінюючи їх на еквівалентне обладнання, що відповідає вимогам GMDSS. Такі зміни підвищують ефективність та надійність системи GMDSS, сприяючи безпеці мореплавства в сучасному світі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування (GMDSS) : Підручник для студентів вищих навчальних закладів / В.М. Кошевий, В.І. Купровський, О.В.Шишкін. – Одеса : Екологія, 2011. – 248 с., іл.
2. Resolution MSC.509(105) (adopted on 28 April 2022) Provision of Radio Services for the Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS).

Режим доступу: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSResolutions/MS.C.509\(105\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSResolutions/MS.C.509(105).pdf)

3. RESOLUTION MSC.496(105) (adopted on 28 April 2022) AMENDMENTS TO THE INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE SAFETY OF LIFE AT SEA, 1974.

Режим доступу:

[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSResolutions/MS.C.496\(105\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSResolutions/MS.C.496(105).pdf)

4. Resolution MSC.451(99) (adopted on 24 May 2018). Statement of recognition of maritime mobile satellite services provided by IRIDIUM SATELLITE LLC.

Режим доступу: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSResolutions/MS.C.451\(99\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSResolutions/MS.C.451(99).pdf)

5. Пашенко О.Л. Впровадження системи IRIDIUM в склад ГМЗЛБ. Конференція «Практичні проблеми розвитку морського радіозв'язку, радіолокації, радіонавігації, річкової інформаційної служби та кібербезпеки на морському транспорті», Одеса, 2020.

6. Iridium. Technology. Network. Режим доступу: <https://www.iridium.com/network/>

УДК 621.396.932

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ НЕКОГЕРЕНТНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ РЛС ІМПУЛЬСНОГО ТИПУ

В.І. Купровський, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: розглянуто методику порівняльної оцінки ефективності некогерентної імпульсної навігаційної РЛС з неоптимальною обробкою радіолокаційної інформації з оптимальною системою виявлення. Зроблено висновки про можливі шляхи підвищення ефективності та їх технічну реалізацію

Ключові слова: флюктуючий сигнал, ймовірність помилкової тривоги, коефіцієнт шуму, характеристика виявлення, відношення сигнал/шум, енергетичні втрати, критерій оптимального виявлення

COMPARATIVE EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF AN INCOHERENT NAVIGATION RADAR OF A PULSED TYPE

V. Kuprovskyy, Ph.D., associate professor

National University "Odesa Maritime Academy"

Abstract: a technique for comparative evaluation of the effectiveness of an incoherent pulse navigation radar with non-optimal processing of radar information with an optimal detection system is considered. Conclusions are drawn about possible ways to improve efficiency and their technical implementation

Key-words: fluctuating signal, false alarm probability, noise figure, detection characteristic, signal-to-noise ratio, power loss, optimal detection criterion

Більшість сучасних морських навігаційних РЛС (НРЛС) є двокоординатними некогерентними імпульсними станціями кругового огляду, що працюють в сантиметровому діапазоні. Зондуючі імпульси тривалістю 0,03 – 1,5 мкс випромінюються на фіксованій частоті із заданим періодом повторення. Режим вобуляції частоти повторення, зазвичай, відсутній. Основні завдання НРЛЗ:

- виявлення морських цілей та визначення поточних координат (первинна обробка);
- супровід цілей та визначення параметрів їх руху для вирішення навігаційних завдань (вторинна обробка).

У загальному випадку якість виявлення залежить від перевищення сигналу над рівнем шуму. Виявлення радіолокаційного сигналу засноване на статистичних відмінностях реалізації перешкоди і сигналу з перешкодою. Задача радіолокаційного виявлення, таким чином, є статистичною і її рішення ґрунтується на застосуванні теорії статистичних рішень. Найкращі в статистичному сенсі якісні показники виявлення можуть бути отримані лише при оптимальній обробці сигналів, відповідно до одного з критеріїв оптимального виявлення. У радіолокації основним критерієм є критерій Неймана-Пірсона, оскільки він не вимагає знання апіорних ймовірностей ситуацій.

При оцінці ефективності систем виявлення для їх порівняння часто використовують характеристики виявлення. На рис.1 представлені характеристики виявлення для флюктуючого сигналу з випадковою фазою для п'яти значень ймовірності помилкової тривоги, побудовані відповідно до критерію Неймана-Пірсона:

$$D = \frac{1}{F^{1+0.5 \cdot q^2}},$$

де: D – ймовірність правильного виявлення;

F – ймовірності помилкової тривоги;

q – відношення сигнал/шум.

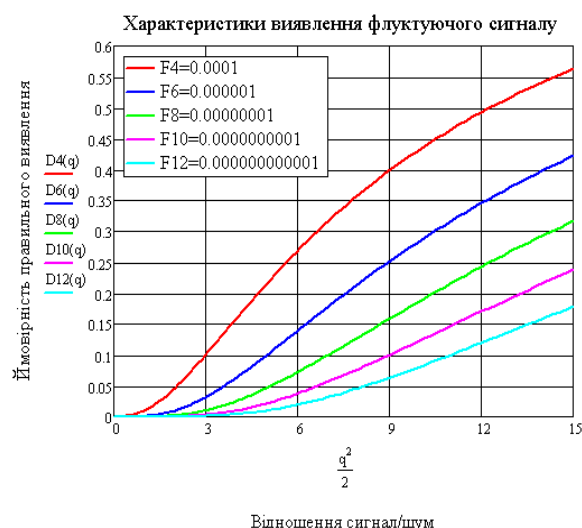
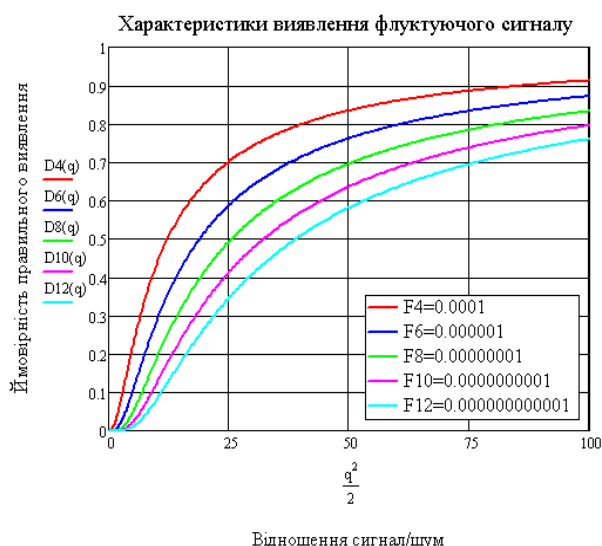


Рисунок 1 – Характеристики виявлення $D = f(F, q)$ для флюктуючого сигналу з випадковою фазою

Якісні показники оптимальних систем є межею, якої можна прагнути, наближаючи неоптимальну обробку до оптимальної. Сучасні морські радари, які в загальному випадку реалізують неоптимальну обробку радіолокаційної інфор-

мації (РЛП), завдяки впровадженню високоефективних технологій дозволяють значно наблизитися за своїми показниками до систем з оптимальною обробкою.

У статті запропоновано методику порівняльної оцінки ефективності некогерентної НРЛЗ імпульсного типу з неоптимальною обробкою РЛП із системою, що реалізує оптимальну обробку. В основі оцінки – розрахунок основних параметрів для порівняльного аналізу характеристик виявлення та вивчення їх впливу на якісні показники НРЛЗ.

Як приклад розглянуто суднову НРЛС Furuno FR-8122. Основні характеристики, необхідні для розрахунку: максимальна дальність $R = 72 \text{ nm}$; тривалість зонduючого імпульсу $\tau = 0,8 \text{ мкс}$; коефіцієнт шуму приймача $k_{\text{ш}} = 5 \text{ дБ}$; імпульсна потужність $P = 12 \text{ кВт}$; довжина хвилі $\lambda = 3,2 \text{ см}$; коефіцієнт посилення антени $G = 700$. Як ціль вибрано середньотонажне судно з ЕПР $\sigma = 30000 \text{ м}^2$.

За допомогою основного рівняння радіолокації розрахована необхідна гранична потужність сигналу $P_{\text{пор}}$ на вході приймача для чотирьох дальностей і значення порогового відношення сигнал/шум $q_{\text{пор}}$ в одному імпульсі:

$$q_{\text{пор}} = \frac{P_{\text{пор}} \cdot \tau}{L \cdot k \cdot T_0 \cdot k_0},$$

де: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ – постійна Больцмана;

$T_0 = 290^\circ \text{ К}$;

L – коефіцієнт енергетичних втрат (2 – 4,5);

k_0 – коефіцієнт шуму приймальної системи, приведений до входу:

$$k_0 = \frac{T_a}{T_0} + k_{\text{ш}} - 1 = \frac{180^\circ}{290^\circ} + 3,16 - 1 \approx 3.$$

Таблиця 1 – Гранична потужність $P_{\text{пор}}$ і відношення сигнал/шум $q_{\text{пор}}$

$R, \text{ nm}$	24	36	48	72
$P_{\text{пор}}, \text{ Вт}$	$0.5 \cdot 10^{-10}$	$0.45 \cdot 10^{-11}$	$0.17 \cdot 10^{-11}$	$0.3 \cdot 10^{-12}$
$q_{\text{пор}}$	880	174	68	12

Знаючи $q_{\text{пор}}$, можна визначити ймовірність правильного виявлення D для різних значень ймовірності помилкової тривоги F :

$$\ln \frac{1}{D} = \frac{2 \ln 1/F}{q_{\text{пор}} + 2}.$$

У таблиці 2 представлені ймовірності правильного виявлення D_{opt} для оптимальної системи та результати розрахунку для неоптимальної системи D для чотирьох відстаней і п'яти фіксованих ймовірностей помилкової тривоги F

Таблиця 2 – Ймовірності правильного виявлення D_{opt} та D

F	10^{-12}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}
$q_{пор} = 12 (72 \text{ nm})$					
D_{opt}	0,11	0,17	0,24	0,35	0,49
D	0,056	0,087	0,16	0,24	-,39
$q_{пор} = 68 (48 \text{ nm})$					
D_{opt}	0,67	0,72	0,77	0,82	0,88
D	0,56	0,63	0,71	0,78	0,85
$q_{пор} = 174 (36 \text{ nm})$					
D_{opt}	0,85	0,88	0,90	0,92	0,95
D	0,79	0,83	0,87	0,90	0,93
$q_{пор} = 880 (24 \text{ nm})$					
D_{opt}	0,97	0,98	0,985	0,99	0,995
D	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99

За даними таблиці 2 на рис.2 відображені порівняльні значення D_{opt} та D для чотирьох дальностей виявлення цілей.

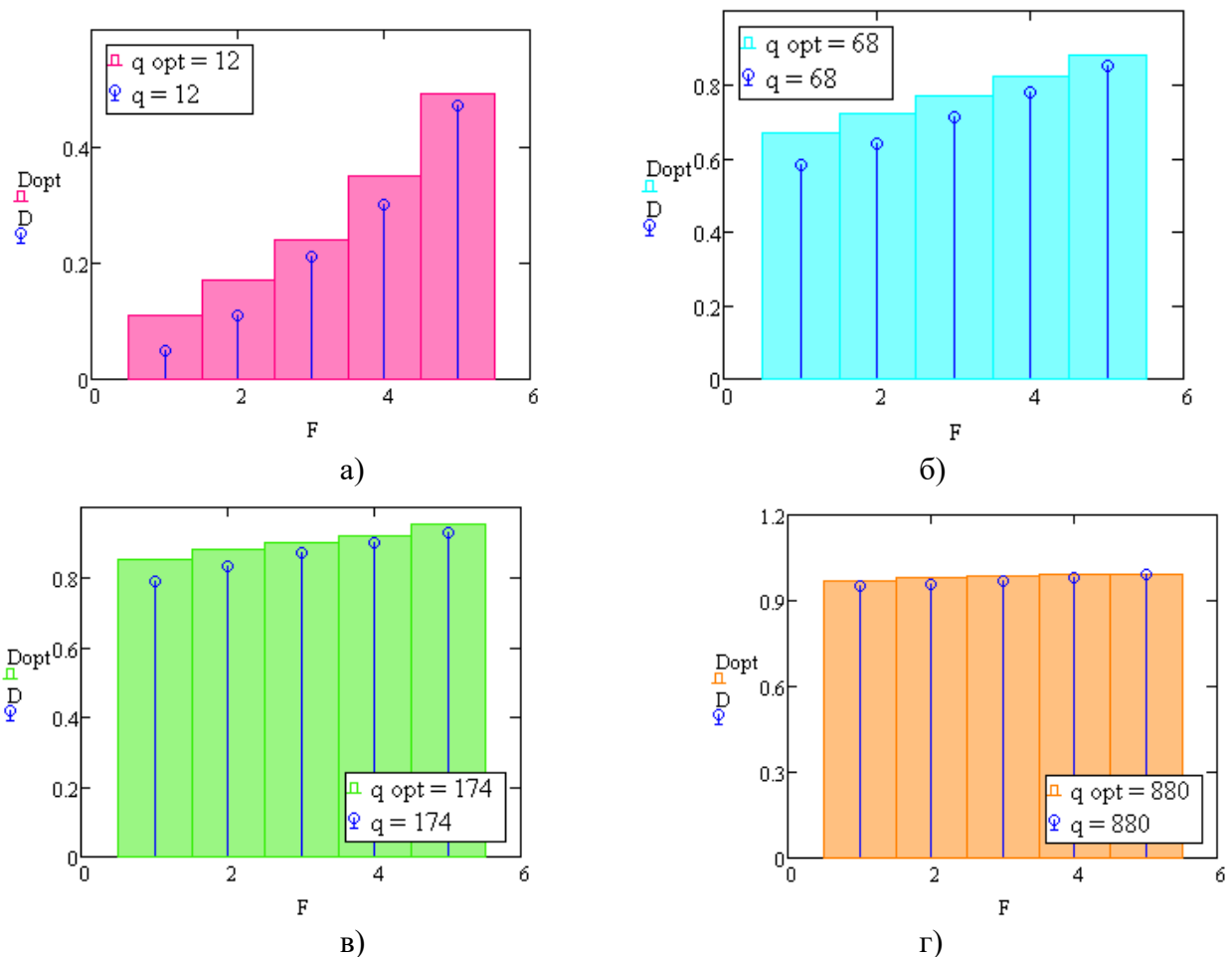


Рисунок 2 – Порівняльні значення D_{opt} та D (а – 72 nm, б – 48nm, в – 36nm, г – 24nm)

З аналізу таблиці 2 та рис. 2 можна зробити висновок, що на максимальній дальності ймовірність правильного виявлення системи з неоптимальною обробкою в 1,5 – 2 рази гірша, ніж у оптимальній системі. На менших дальностях різниця між ймовірностями зменшується, а на дальності 24 nm вона майже зникає.

Для того, щоб наблизити значення D до D_{opt} у всьому діапазоні дальностей, необхідно:

1. Зменшувати коефіцієнт шуму приймача $k_{ш}$
2. Знижувати коефіцієнт енергетичних втрат L
3. Використовувати підсилювач проміжної частоти та відеопідсилювач з лінійно-логарифмічною амплітудною характеристикою
4. Застосовувати комбінований режим зміни коефіцієнта підсилення приймача за допомогою схем компенсації перешкод та адаптивної схеми зміни коефіцієнта підсилення відеопідсилювача.

Так, наприклад, якщо забезпечити $L = 2$, $k_{ш} = 4$ дБ, то на максимальній дальності $R = 72$ nm відношення $D_{opt}/D \approx 1,2$, тобто ефективність неоптимальної системи всього на 20% менше.

ЛІТЕРАТУРА

1. Peyton Z. Peebles, JR., Ph.D. Radar Principles: Willy-Interscience Publication. – 1998. – 787 p.
2. Bassem R. Mahafza, Ph. D. Radar Systems Analysis and Design using MatLab: Chapman&Hall/CRC. – 2000. – 532 p.
3. FURUNO. Operator's Manual. Marine Radar, model FR-8062, FR-8122, FR-8252: Furuno Electronic CO., LTD. – 2009. – 123 p.
4. Tikhonov V., Kharisov V. Statistical analysis and synthesis of wireless devices and systems: Radio and Communication. – 1991. – 608 p.

УДК 621.396.932

ПРИСТРІЙ MAN OVERBOARD, ПРИНЦИП ДІЇ ТА ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ

О.Л. Пашенко, старший викладач

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: пристрій MAN OVERBOARD (MOB) призначений для оповіщення одного або декількох адресатів у разі потрапляння людини за борт. MOB мають можливість надати інформацію про місцезнаходження людини по калах AIS. Деякі пристрої підтримують роботу з VHF DSC, що надає змогу додатково передати оповіщення про лихо. Є позитивний досвід використання девайсу такого типу в водах Норвегії.

Ключові слова: MOB, VHF, DSC, AIS, man overboard,

PRINCIPLE OF OPERATION OF THE MAN OVERBOARD DEVICE AND EXPERIENCE OF ITS USE

O.Pashenko, associate professor
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: the MAN OVERBOARD (MOB) device is intended for notifying one or more addressees in the event of a person falling overboard. MOB can provide information about a person's location (AIS channels). Some MOB devices support VHF DSC, which allows additional transmission of distress alerts. There was a positive experience of using this type of device in Norwegian waters.

Key-words: MOB, VHF, DSC, AIS, man overboard

Пристрій MAN OVERBOARD (MOB) призначений для порятунку людини у разі, якщо вона опинилася за бортом судна. Для цього, при його активації, він передає оповіщення конкретній станції (MOB-DS) або всім суднам (MOB-AS), а згодом допомагає визначити місцезнаходження людини під час пошуково рятувальної операції. У разі, якщо оповіщення отримала MOB-DS та екіпаж судна не певен в тому, чи зможе самостійно відшукати людину, капітан судна може додатково передати оповіщення про лихо [1].

Пристрої MOB можуть бути побудовані на базі VHF AIS або в поєднанні VHF AIS та DSC. Кожен з них має бути обладнаний пристроєм для визначення місцезнаходження. Інформація про місцезнаходження буде передаватися на каналах AIS1(161,975 МГц) та AIS2 (162,025 МГц). Якщо пристрій додатково обладнаний VHF DSC, то оповіщення передається на каналі 70. Пристрій AIS MOB не призначений для передачі оповіщення про надзвичайну ситуацію, проте він виконує функцію вказівника місцезнаходження.

Розглянемо принцип роботи пристрою на прикладі DSC MOB. Він може бути активований двома шляхами: вручну або автоматично при контакті з водою. Після активації пристрій спрацьовує протягом перших 30 секунд [2]. Така затримка пов'язана з можливістю, за необхідності, деактивувати пристрій. Цей час можна спостерігати світлову та звукову сигналізацію. Згодом пристрій передає оповіщення про лихо на 70 каналі, характер лиха – «MAN OVERBOARD», послідує вид зв'язку – «No information». Доки позиція невідома, то замість координат будуть вказані 9-ки, а замість часу 8-ки. Затримка може бути пов'язана з синхронізацією з супутниками.

Пристрій MOB відображається на екрані AIS як коло, перекреслене в середині (рис.1,а). В якості альтернативи, на приладах старого зразка, використовується позначка у вигляді трикутника орієнтованого за курсом над землею (рис.1,б). Також позначка може бути створена оператором самостійно, при цьому збоку відображається напис MOB (рис.1,в) [3].

Після першої передачі звіти відправляються з оновленими координатами кожні 5 хвилин. Через 30 хвилин інтервал передачі оповіщень зміниться на кожні 10 хвилин. Сигнал AIS MOB буде передаватися в такому режимі до тих пір, поки він не буде відключений вручну або розрядиться батарея.

Сигнал MOB на 70 каналі зупиняється тоді, коли він буде підтверджений береговою станцією або, від імені берегової станції, капітаном судна. Після то-

го, як людина буде врятована, на 16 каналі по VHF необхідно передати команду SEELONCE FEENEE [4].

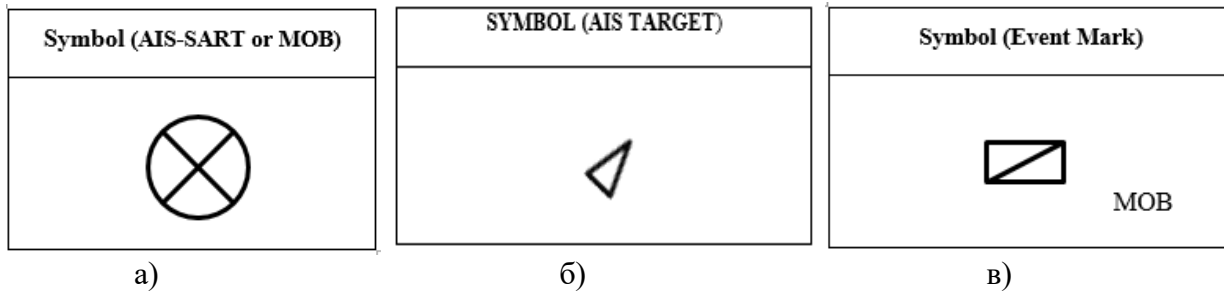


Рисунок 1 – Відображення пристрою MOB: а) стандартний символ MOB;
б) символ MOB на системах старого зразка; в) символ MOB створений вручну.

MOB повинен витримувати роботу, не втрачаючи своїх показників продуктивності, протягом 12 годин. Кожні 40 метрів та зміни курсу на 15 градусів MOB повинен оновлювати свої координати. Максимальний інтервал оновлення координат складає 5 хвилин.

З 2012 року пристрої мають свій стандартний ідентифікатор в форматі 972XXYYYY, де 972 – позначення пристрою MOB, XX – ідентифікатор виробника, YYYYY – номер пристрою, присвоєний на виробництві [5]. Останній номер змінюється в межах 0000 до 9999, коли нумерація доходить до 9999, наступний номер 0000 і по колу [6]. На корпусі обов'язково повинно бути чітке маркування, що містить ідентифікатор. Слід зазначити, що пристрій може мати MMSI «материнського» судна, але для цього потрібно зробити додаткові налаштування.

Пристрій MOB може бути розміщений вертикально на судновому містку з обох бортів, або біля рятувального кола. Також він може кріпитися до рятувального жилету, або бути закріпленим на одязі.

Максимальну користь від використання пристрою такого зразка слід очікувати за умови, що всі члени екіпажу носять на своїй одязі такий пристрій. За умови, коли хтось з членів екіпажу опиняється за бортом судна, то пристрій активується вручну, або ж автоматично за умови, що на судні встановлені датчики, які відслідковують місцерозташування персоналу.

Норвегія має свій позитивний досвід використання таких пристроїв. Розроблялися вони для екіпажів риболовецьких суден. Кожен член екіпажу мав маленький портативний пристрій, що не заважав рухам моряка. Проте у разі опинення за бортом, цей пристрій передавав оповіщення на материнське судно в КХ діапазоні. Отримане оповіщення передавалося на берегову станцію. В такому оповіщенні містилися координати судна та його ідентифікатор. Берегова станція, зі своєї сторони, ретранслювала сигнал тривоги у район лиха. Судно в цей час або зупиняло головний двигун і людина могла навіть самотійно повернутися на борт судна, або вмикалася сирена чи всі вогні на борту судна[1].

Висновки. Загалом існує широке різноманіття пристроїв МОВ. Багато з них можуть відрізнятися за принципом роботи від описаного вище. Проте відповідно до

ЛІТЕРАТУРА

1. ITU-R M.2285-0. Maritime survivor locating systems and devices (man overboard systems) - An overview of systems and their mode of operation.
2. ETSI EN 303 098 V2.2.1 (2019-02). Maritime low power personal locating devices employing AIS; Harmonised Standard for access to radio spectrum.
3. Circular SN.1/Circ.322 – Information on the Display of AIS-SART, AIS Man Overboard and EPIRB-AIS Devices.
4. Recommendation ITU-R M.541-10 (10/2015) Operational procedures for the use of digital selective-calling equipment in the maritime mobile service.
5. Recommendation ITU-R M.1371-5 “Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band”.
6. Recommendation ITU-R M.585 “Assignment and use of identities in the maritime mobile service”.

УДК 004.056.5/946.5:656.61

УПРАВЛІННЯ КІБЕРРИЗИКАМИ НА МОРІ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКІВ

В. М. Кошевий, д.т.н., професор

Р. Ю. Харченко, к.т.н., доцент

Національний Університет «Одеська Морська Академія»

Т. П. Ткачук

ДП «Класифікаційне товариство Регістр судноплавства України»

Анотація: *Необхідність введення учбової дисципліни пов'язана з ухвалою резолюції Міжнародної Морської Організації (ММО) MSC. 428(98) щодо Управління кіберризиками на морі, маючи на увазі також сумісний документ MSC і FALMSC-FAL. 1/Circ.3. 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)).*

Ключові слова: *управління кіберризиками, кібербезпека, кібервтручання, інформаційні технології, кібернетичне мислення, операційні технології*

MARINE CYBER RISK MANAGEMENT FOR ELECTRICAL ENGINEERS

V. Koshevyi, Dr. of Science, Professor

R. Kharchenko, Ph.D., Associate Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

T. Tkachuk

State Enterprise "Classification Society Register of Shipping of Ukraine"

Abstract: *The need to introduce educational discipline is connected with the laudable resolution of the International Maritime Organization (IMO) MSC. 428(98) for the Management of Cyber Risks at Sea, which is also respected by the relevant document MSC and FALMSC-FAL. 1/Circ.3. Cybersecurity is one of the*

core safety management requirements within the framework of the International Safety Management Code (ISM) – Resolution A. 741(18).

Key-words: cyber risk management, cyber security, cyber delivery, information technology, cyber technology, operational technology.

Мета дисципліни «Управління кіберризиками на морі» – отримання курсантами, які проходять підготовку за спеціалізацією 271.03, знань та умінь, щодо розв’язання задач і проблем суднової електричної інженерії під час експлуатації суден в надзвичайних умовах (які викликані наявністю неповної/недостатньої інформації та суперечливих вимог за рахунок застосування кібератак) згідно з вимогами розділу А-III/6 Кодексу ПДНВ, а також згідно з принципами управління кіберризиками на морських суднах у відповідності з керівними документами ІМО у рамках Міжнародного Кодексу Управління Безпекою (МКУБ) [1], (International Safety Management Code (ISM) – Resolution A. 741(18)) в області забезпечення кібербезпеки на основі резолюцій ІМО MSC.428 (98) (on Maritime Cyber Risk Management) [2] і MSC-FAL. 1/Circ.3(on Guidelines on maritime cyber risk management) з урахуванням Міжнародного Кодексу з охорони суден і портових споруд (ISPS Code) [3]. Це означає отримання курсантами знань та умінь діяти в нестандартних ситуаціях. Так як нестандартні ситуації – є загальне поняття, та у кожному конкретному випадку потребує окремого пояснення. Тобто у межах даної дисципліни нестандартні ситуації скрізь будуть означати виключно ситуації присутності кібератак. Наприклад, здатність діяти в нестандартних ситуаціях, а саме виконання Функції 2 згідно Розділу А-III/6 Кодексу ПДНВ, щодо технічного обслуговування та ремонту електричного та електронного обладнання, систем автоматики та управління, електроенергетичного та електромеханічного обладнання, навігаційного обладнання на містку та суднових систем зовнішнього зв’язку з використанням відповідних підходів до захисту систем, які побудовані на принципах Операційних технологій (ОТ), і систем, які побудовані на принципах Інформаційних технологій (ІТ) в нестандартних ситуаціях – буде означати в ситуаціях присутності кібератак. Теж саме відноситься до використання терміну ризику. У межах даної дисципліни ризики розглядаються в контексті кіберризиків. Тобто ризиків ураження систем (засобів) ОТ і/або ІТ у разі присутності кібератак. Наприклад підготовленість курсантів до засвоєння загального кібернетичного мислення з розумінням взаємодії людина-машина буде спрямована на максимальне зменшення ризиків (в контексті кіберризиків) у разі здійснення кібератак. І ще одне зауваження – автоматична ідентифікаційна система (AIC) на містку судна у межах даної дисципліни розглядається як один із судових засобів автоматики.

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 ціни наслідків таких втручань. Усе це змусило ММО розробити і прийняти вказані вище резолюції, як заходу для підвищення кіберзахищеності шляхом заміни напрямку «Інформаційна безпека» на новий напрямок «Управління кіберризиками на морі» у рамках МКУБ [4], 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 в один з інтегрованих об'єктів може призвести до непрацездатності усього ланцюга інтегрованих об'єктів. Це в свою чергу призводить 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 два рівня захисту, так звані «Скремблювання» 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 [5].

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 безпекову роботу ІТ систем є абсолютно непридатними для ОТ систем і засновуються зовсім на інших принципах, котрі вивчаються у дисципліні що пропонується наряду з вивченням ІТ систем. Суднові електромеханіки по роду своєї діяльності мають справу як з ІТ системами так і з ОТ системами [6]. Таким чином, немає жодного питання яке мало бути висвітлене у дисципліні «Інформаційна безпека» які не б були би розглянуті у дисципліні «Управління кіберризиками на морі». З іншого боку у дисципліні, яка відображає новий напрямок присутнє висвітлення питань, які в принципі не можуть розглядатися у дисципліні яка відображає старий напрямок.

У резолюціях MSC. 428(98) і MSC-FAL. 1/Circ.3 надаються необхідні рекомендації щодо управління кіберризиками на морі. Виконання цих рекоменда-

цій 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 [7]. Тому у даній дисципліні методологія, яка базується на понятті ризику, пропонується 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 Officer (ЕТО) з “Управління кіберризиками на морі” [8], можна відзначити окремо так як сумісно з основними питаннями розглядались питання виконання відповідних заходів забезпечення кібербезпеки в умовах обмежених можливостей до їх фінансування.

Слід зазначити дуже важливий аспект який пов’язаний з практичним втіленням вказаного нового напрямку, а саме значне розширення переліку потенційних кіберзагроз для суден, які мають бути враховані. Додатково до традиційних кіберзагроз до комп’ютерів та комп’ютерних мереж, які будуються на ІТ системах розглядається широкі коло кіберзагроз пов’язаних з використанням зовнішніх систем, які побудовані на ОТ системах і забезпечують відповідні потреби суден. Методи виявлення та захисту від втручання в безпечну роботу ІТ систем, які базуються на використанні паролів та антивірусних програм є абсолютно непридатними для ОТ систем і базуються на зовсім інших принципах і вивчаються у дисципліні що пропонується наряду з ІТ системами. 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 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 (Loran 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 автоматики і управління головною рухомою установкою та допоміжними механізмами; систем управління та безпекою; - за допомогою консультацій з використанням систем зовнішнього зв'язку, відносно до ОТ систем [9]. 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 «скремблінгування» (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.

На рисунку 1 можна побачити візуалізацію монітора тренажера РЛС SperryMarine та лабораторного дослідницького стенду AIS-DSC-ID (ID-Information Display), що знаходиться в лабораторії кафедри морського радіозв'язку НУОМА, де показано зображення до кібератаки типу навмисного порушення сигналу GNSS/GPS під назвою «спуфінг» (spoofing-підробка) - а, і після - б.

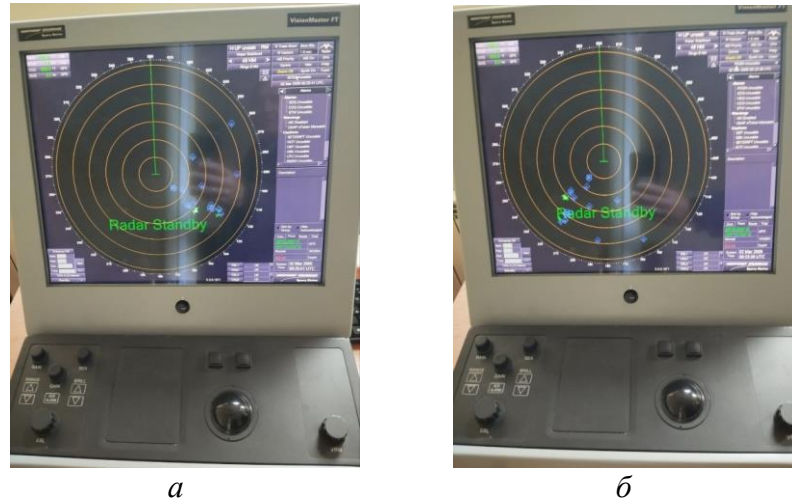


Рисунок 1 – Навмисне порушення сигналу GNSS/GPS під назвою «спуфінг»
вигляд монітору AIS до (а) і після (б) кібервтручання.

Висновки. Навчальна дисципліна «Управління кіберризиками на морі» відповідає освітньому рівню підготовки магістра і може бути використана для підготовки за спеціалізацією «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики». Успішне завершення програми навчальної дисципліни окрім 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.

ЛІТЕРАТУРА

1. Міжнародний Кодекс з управління безпечною експлуатацією суден та запобігання забрудненню (Міжнародний Кодекс з управління безпекою (МКУБ)). Із поправками 2000 – 2017 років.
2. IMO, 2002. The international ship and port facility security code. In: SOLAS (Chapter XI-2). London (UK).
3. RESOLUTION MSC.428(98)(adopted on 16 June 2017) MARITIME CYBER RISK MANAGEMENT IN SAFETY MANAGEMENT SYSTEMS
4. Guide for CYBERSECURITY IMPLEMENTATION FOR THE MARINE AND OFFSHORE INDUSTRIES. American Bureau of Shipping (ABS). 2018. 117 p.
5. Integrating Cybersecurity and Enterprise Risk Management (ERM).National Institute of Standards and Technology (NIST). 2020. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8286-draft>
6. Balduzzi M., Pasta A., Wilhoit K. A Security Evaluation of AIS Automated Identification System. *Proceedings of the 30th Annual Computer Security Applications Conference ACSAC'14*, New Orleans, Louisiana, USA. December 08 – 12, 2014, pp. 436-445.
7. Kessler, G. C. (2019). Cybersecurity in the Maritime Domain. USCG Proceedings of the Marine Safety & Security Council, 76(1). <https://commons.erau.edu/publication/1318>
8. Hristos Karahalios. Appraisal of a Ship's Cybersecurity efficiency the case of piracy. *Journal of Transportation Security*. Published online: 27 September 2020. <https://doi.org/10.1007/s12198-020-00223-1>
9. Jamming and Spoofing of Global Navigation Satellite Systems (GNSS). INTERTANKO 2019.

УДК 629

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПАСИВНОЇ СИСТЕМИ ЗВУКОЛОКАЦІЇ РОЗПОДІЛЕНОЇ НА БЕЗПІЛОТНИХ МОРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

В. В. Орлов, д.т.н., доцент
О.І. Наумов, ад'юнкт
Військова академія (м. Одеса)

Анотація: одним із перспективних напрямків виявлення БпЛА є розробка звуколокаційних пасивних систем, що є захищеними від засобів радіоелектронної боротьби. У дослідженні визначені потенційні можливості звуколокаційних систем для визначення координат БпЛА та інших рухомих об'єктів, як джерел звукових сигналів у тривимірному просторі.

Ключові слова: звуколокація, виявлення, розпізнавання, визначення координат, тривимірний простір.

RESEARCH OF THE POSSIBILITIES OF A PASSIVE SOUND LOCATION SYSTEM DISTRIBUTED ON UNMANNED MARINE VEHICLES

V. V. Orlov, Ph.D., associate professor
O.I. Naumov, adjunct
Military Academy (Odesa)

Abstract: development of sonolocation passive systems is one of the promising directions of detection UAV, which are protect from means of electronic warfare. Study identified the potential capabilities of sonolocation systems to determine the coordinates of the UAV and other moving objects, as sources of sound signals in three-dimensional space.

Key words: sound location, detection, recognition, determination of coordinates, three-dimensional space.

На сьогодні спостерігається стрімке зростання терористичних загроз із застосуванням безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА), а також використання їх як транспортних засобів для контрабандної діяльності. При цьому висока маневреність, мала помітність та невеликі габарити безпілотного засобу породжують проблему їх оперативного виявлення. Це вимагає вдосконалення різноманітних дистанційних засобів моніторингу рухомих об'єктів (далі – РО). При цьому має місце низька ефективність виявлення малих БпЛА радіолокаційними станціями, внаслідок малої відбиваючої поверхні та низької висоти польоту. Засоби відеоконтролю також малоефективні внаслідок апріорної невизначеності щодо напрямку та часу появи БпЛА. Тому одним із перспективних напрямків є розробка звуколокаційних пасивних систем, що є захищеними від засобів радіоелектронної боротьби.

Потреба у дослідженні потенційних можливостей звуколокаційних систем для визначення координат БпЛА (або іншого РО), як джерел звукових сигналів у тривимірному просторі обумовило мету роботи.

У низці публікацій детально досліджено записи акустичних сигналів, визначення спектральних характеристик ряду одновинтових і багатовинтових БпЛА: дронів, вертолітного й літакового типу з електродвигуном та двигуном

внутрішнього згоряння [1, 2]. Показані принципові можливості побудови систем розпізнавання на підставі параметрів спектрів сигналів, що відображають особливості конкретних літальних апаратів. Однак не наведені кількісні характеристики ефективності розпізнавання.

Структуру запропонованої звуколокаційної системи виявлення РО представлено на мал.1. Вона забезпечить моніторинг зони контролю з метою виявлення окремих порушень, а також групових терористичних атак із застосуванням вогневих засобів різного калібру, різних типів РО.

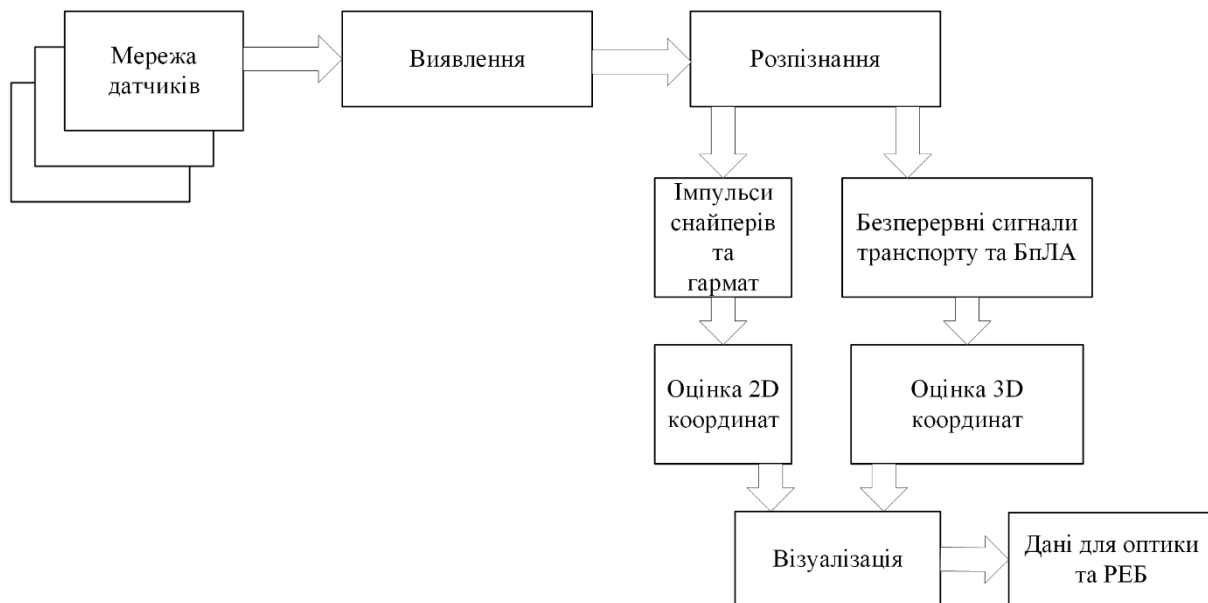


Рисунок 1 – Структура акустичної системи локації

Сигнали імпульсного та безперервного характеру надходять з мережі датчиків у пристрій багатоканального введення даних, потім у комп'ютер через USB-інтерфейс. Подальша обробка, що включає операції виявлення, розпізнавання РО за їх акустичним полем (різні види стрілецької зброї, артилерії, транспорту), визначення їхніх координат здійснюються в реальному часі, у режимі оновлення даних 1 секунда. Далі, за командою оператора, спостерігачам передаються координати розпізнаного РО для супроводу оптичними засобами спостереження та засобами попередження терористичної атаки, наприклад, приладами радіоелектронної боротьби з вузько направленою антеною для ураження БпЛА.

Алгоритм їх роботи заснований на розрахунках часових затримок імпульсних сигналів від нерухомих джерел випромінювання, що надходять на мікрофони, що рознесені у просторі. Розв'язок рівняння в декартових координатах на площині про місце розташування джерела випромінювання при відомих координатах двох пар датчиків $x_i, y_i, i=1, \dots, 4$ визначається з відношення часових затримок $\tau_{1,2}, \tau_{3,4}$ кожної з пар, і відстаней r_1, r_2, r_3, r_4 від точки випромінювання до датчиків $r_{34} = r_3 - r_4 = c \tau_{3,4}$, $r_{12} = r_1 - r_2 = c \tau_{1,2}$, де c – швидкість по-

ширення звукової хвилі. Координати цілі (x, y) описуються математичною моделлю у вигляді системи двох гіперболічних рівнянь, що складені відповідно до теореми Піфагора:

$$\begin{aligned} r_{12} = r_1 - r_2 &= \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} - \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2}, \\ r_{34} = r_3 - r_4 &= \sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2} - \sqrt{(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Методи обчислення координат за часовими затримками при розв'язку рівняння (1) у звуколокації, за фазовими затримками у радіопеленгації широко відомі і в даній статті не досліджуються. Основні помилки при розв'язку нелінійної системи рівнянь (1) пов'язані з появою декількох коренів рівнянь (неоднозначність визначення координат та погрішностями, що вносяться при оцінюванні часових затримок. У звуколокації нерухомих об'єктів випромінювання оцінка $\hat{\tau}$ часової затримки між імпульсними сигналами (приблизно однакової форми) визначається за час спостереження від t_1 до $t_1 + t_0$ сигналів із двох мікрофонів $x_1(t), x_2(t)$ при обчисленні максимуму взаємної кореляційної функції $R(\tau)$:

$$\hat{\tau} = \max_{\tau} R(\tau), \quad R(\tau) = \int_{t_1}^{t_1+t_0} x_1(t) \cdot x_2(t - \tau) dt. \quad (2)$$

Малі БпЛА випромінюють безперервні звукові сигнали внаслідок роботи гвинтів, двигуна і навіть вібрації корпусу. На датчики надходять сигнали з різними доплерівськими частотами, що швидко міняються під час польоту залежно від положення цілі й розміщення датчиків у тривимірному просторі. У зв'язку з апіорною невизначеністю відносно доплерівських частот сигналів, що знімаються з виходів просторово рознесених датчиків, виникають істотні труднощі визначення координат цілі у тривимірному просторі. Існуючі акустичні системи не ефективні при локації РО, так як не дозволяють визначати його координати в тривимірному просторі.

На сьогоднішній час деякі публікації висвітлюють ряд застосувань із проведенням експериментів, але не представляють закінчених проектів зі звуколокації БпЛА й іншого транспорту, що рухається.

В роботі [3] зазначено, що відношення доплерівських частот g - сигналів на m і n мікрофонах (МФ), що задається кутами видимості БпЛА над площиною обрію для кожного з МФ, швидкостями звуку й руху БпЛА, моментом часу t .

При цьому, тривалість накопичення вибірки за час від t_1 до $t_1 + t_0$ визначається маневреністю та швидкістю БпЛА, при цьому доплерівська частота не повинна суттєво змінитися. Якщо зміна доплерівської частоти (через маневр цілі) має місце, то в процесі накопичення вибірки відбувається декореляція при обчисленні взаємної функції невизначеності сигналів між датчиками. Так як відношення доплерівських частот g невідомо, то необхідно проводити пошук максимуму в площині двох параметрів:

$$\hat{\tau} = \max_{\tau, g} R(\tau, g), \quad R(\tau, g) = \sqrt{g} \int_{t_1}^{t_1+t_0} x_1(t) \cdot x_2(g(t - \tau)) dt. \quad (4)$$

Приймається, що відношення доплерівських частот g між МФ не змінюється за час спостереження вибірки. Такий підхід розглянутий вітчизняними

вченими для пеленгації повітряного транспорту [11].

Зазначимо, що в радіолокації (де сигнал має несучу частоту) часова затримка сигналу з невідомою доплерівською частотою f визначається максимумом модуля виду:

$$\hat{\tau} = \max_{\tau, f} |R(\tau, f)|, \quad R(\tau, f) = \int_{t_1}^{t_1+t_0} x_1(t)^* \cdot x_2(t - \tau) e^{j2\pi f t} dt. \quad (5)$$

Тому основною відмінністю від існуючих звукометричних систем є визначення часової затримки не за взаємною кореляційною функцією, а за взаємною функцією невизначеності сигналів між датчиками.

Аналіз особливостей сигналів БпЛА. Відзначимо наступні особливості, що пов'язані з побудовою моделей сигналів та алгоритмів їх обробки:

1. Безперервний випадковий процес, що є квазістаціонарним на окремих ділянках.
2. Сигнал містить, в основному, кілька гармонік, частоти яких безупинно змінюються через ефект Доплера при русі БпЛА.
3. Існують викривлення сигналів на рознесених МФ, що пов'язане з різними місцевими умовами приймання.
4. Особливості алгоритмів синхронізації даних в розподіленій системі зв'язку між морськими транспортними засобами.
5. Особливості алгоритмів обчислення координат цілей для різних конфігурацій розподіленої системи звуколокації.

Висновки. Дослідження алгоритмів обробки акустичних сигналів для виявлення РО і БпЛА мають проводитися в наступних напрямках:

1. Розпізнавання класів РО на основі відмінностей у параметрах спектрів.
2. Удосконалювання алгоритмів для багатоцільової ситуації.
3. Фільтрація сигналів від неінформативних джерел звукових хвиль.
4. Вимоги до конфігурацій розташування розподіленої на безпілотних морських транспортних засобах.

Проведено імітаційне моделювання і попередній аналіз системи звуколокації показав потенційні можливості визначення координат БпЛА та інших РО у тривимірному просторі з точністю, достатньою для подальшого супроводу цілей засобами візуального спостереження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Самохин В. Ф., Остроухов С. П., Мошков П. А. Экспериментальное исследование источников шумности беспилотного летательного аппарата с винто-кольцевым движителем в толкающей компоновке. Электронный журнал «Труды МАИ», 2013. вып. №70, с.1-24.
2. Giorgia Sinibaldi, Luca Marino. Experimental analysis on the noise of propellers for small UAV. [Applied Acoustics](#), Volume 74, Issue 1, January 2013, Pages 79-88.

УДК 004.056.5/946.5:656.61

ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ З КІБЕРБЕЗПЕКИ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

О. В. Шишкін, д.т.н., доцент

Р. Ю. Харченко, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Проведений аналіз систем інформаційних та операційних технологій на борту морського судна, навмисних втручань (кібератак) на суднові приймачі Глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС). Надані рекомендації щодо підготовки курсантів морської спеціальності з кібербезпеки.

Ключові слова: Інформаційні технології, операційні технології, кіберризики, глушіння, підробка, міконінг.

TRAINING OF CYBER SECURITY SPECIALISTS IN MARITIME TRANSPORT

O. Shyshkin, Dr. of Science, Associate Professor

R. Harchenko, PhD, Associate Professor

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: An analysis of information and operational technology systems on board a sea vessel, deliberate interferences (cyber attacks) with ship receivers of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) was carried out. Recommendations for cadets training in the maritime specialty in cyber security are provided.

Keywords: Information technologies, operational technologies, cyber risks, jamming, spoofing, meaconing.

Вступ. Сучасне судноплавство за останні роки зіткнулося з різким зростанням кібератак. Морській сектор, якій до певного часу вважався безпечним через відсутність на суднах підключень до Інтернету зараз демонструє 900% збільшення кількості порушень кібербезпеки операційних технологій [1]. Міжнародна морська організація (ІМО) ще в 2017 році відреагувала на ці виклики розробкою системи управління безпекою в морі у відповідності до цілей та функціональних вимог Міжнародного кодексу з управління безпекою [2, 3]. Для втілення ідей ІМО морська світова спільнота на додаток до настанови [3] розробила чисельні посібники та настанови з управління кіберризиками на борту судна, наприклад, [4, 5]. Практичні кроки у підготовці морських штурманів запропоновані і обґрунтовані у статті [6]. Серед вітчизняних публікацій слід відмітити ретельний аналіз сучасного стану проблеми у роботі [7].

Метою даної роботи є аналіз відношення до кібербезпеки в сучасних умовах для підвищення ефективності навчання курсантів морських закладів освіти з управління кіберризиками.

Морське судноплавство завжди було плацдармом для втілення та вдосконалення новітніх технологій. Бурхливий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій у світі безпосереднього торкнулись морської галузі. Впровадження Глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС), Глобального морського зв'язку лиха та безпеки (ГМЗЛБ), всеохоплююча цифровізація морських систем навігації і зв'язку, автоматизація суднових техно-

логічних процесів тощо з одного боку змінили самі принципи судноводіння в напрямку підвищення безпеки та ефективності судноплавства, але з іншого боку породили нові виклики навмисних втручань в роботу зазначених систем. Розвиток мережевих технологій надав можливості для підключення раніше автономних систем в локальні мережі і далі в Інтернет. Промисловий Інтернет речей торкнувся також і морських технологій. З'явився новий термін, так звані «операційні технології» (Operational Technologies, OT) на відміну з більш знайомим поняттям інформаційних технологій (Information Technologies, IT). OT розуміються як використання даних для контролю і/або моніторингу фізичних процесів на відміну від IT, які використовують дані для передавання та обробки інформації [3]. Тобто OT за визначенням зв'язані з матеріальними об'єктами (механізми, двигуни, генератори, радіосигнали тощо) на відміну від IT, які замкнені на оперуванні з нематеріальним об'єктом – інформацією.

«Інформаційна безпека» як канонічна дисципліна в рамках IT викладалась достатньо тривалий час в Національному університеті «Одеська морська академія». Але реалії сьогодення вимусили звернути пріоритетну увагу на саме морські OT. Цей тренд обумовлений, по-перше, розвитком IT, що вирішило певним чином, наприклад, такі важливі питання як виявлення та нейтралізація шкідливого програмного забезпечення. Операційні комп'ютерні системи Microsoft починаючи з версії Windows10 мають вбудовані антівірусні програми і тому не вимагають від користувача додаткових зусиль для встановлення окремих програм. Звичайно, цей механізм працездатний за умови систематичного оновлення програмного забезпечення (ПЗ), що виконується автоматично без зайвих зусиль користувача. Але це не знімає з порядку денного дотримання вимог захисту судових комп'ютерних мереж згідно сучасних стандартів [8].

Сучасне морське судно є колекцією систем OT, в яку входять, але невичерпно, за переліком [3] наступні:

- Системи ходового містку судна;
- Системи обробки та управління вантажем;
- Системи управління силовими установками та механізмами, електричними установками генерування та управління потужністю;
- Системи контролю доступу;
- Системи обслуговування та керування пасажирями;
- Мережі загального користування для пасажирів;
- Адміністративні та соціально-побутові системи екіпажу; і
- Системи зв'язку.

Робота систем OT та можливі збої функціонування принципово не може бути пояснена в рамках IT систем. Вразливість систем OT визначається впливом на сам фізичний об'єкт, процес, електромагнітне випромінювання тощо. Тому концепція управління кіберризиками має спиратися на врахуванні систем як IT, так і OT. Причому для аналізу OT систем необхідне досконале знання об'єкту управління/моніторингу. Для штурманів це, перш за все, системи навігації і зв'язку на ходовому містку, системи контролю доступу. Для судових механіків (Engineer Officers) та електромеханіків (Electro-Technical Officers)

– системи їхньої відповідальності за ІМО модельними курсами підготовки (IMO Model Course) 7.02 та 7.08.

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що найбільш впливовими факторами на безпеку судноплавства сьогодні є втручання в роботу ГНСС [1,4,5,6]. Через дуже слабкий сигнал на вході приймач GNSS/GPS дуже вразливий до зовнішніх завад, які блокують можливість отримання координат і точного часу, але спотворюють їх. Проблема ускладнюється тим, що працездатність багатьох систем навігації (Radar/ARPA, ECDIS, AIS) і зв'язку (VHF, MF/HF, Inmarsat-C, Iridium) залежить від постачання координат та часу. Саме на доступності координат і точного часу завжди і скрізь базується морське судноплавство. Ця проблема стосується не тільки морського сектору, але визначає працездатність берегової інфраструктури (мобільний зв'язок, енергопостачання, транспорт, торгівля, банківські операції тощо).

Абсолютно нова перспектива у цьому аспекті з використання без екіпажних (unmanned) суден. Втрата координат на звичайному судні може бути компенсована застосуванням деякий час досвідченим екіпажем інших прийомів судноводіння. Іншим аспектом цієї проблеми є реальна можливість захоплення безпілотного судна піратами чи перехоплення керування цим судном. Може бути безліч сценаріїв злочинних дій в цьому напрямку.

Загалом, існує три варіанти навмисного порушення сигналу GNSS/GPS: глушіння, джамінг (jamming), підробка, спуфінг (spoofing) та окремий різновид спуфінг-фальсифікації – міконінг (meaconing) [4,6].

Глушіння (jamming) є найпростішим методом застосування грубої сили, оскільки його сенс полягає в створенні достатньої потужності радіоперешкод у частотному спектрі приймача. Незважаючи на те, що приймач GPS працює навіть нижче рівня природнього шуму, значна за потужністю завада блокує корисний сигнал.

Підробка (spoofing) – це спосіб передачі на приймач сигналів, які виглядають як сигнали GPS, однак вони формуються поза системою – не супутниками, а ворожим генератором. Технічно синтезувати весь ансамбль сигналів відповідно до реальних на даний час супутникових сигналів достатньо складно. Простим варіантом фальсифікації є міконінг (від beaconing).

Міконінг (meaconing) – це спосіб прийому реальних сигналів радіомаяків (beacon), тобто супутників GNSS/GPS та повторної трансляції їх на тій же частоті, з метою введення в оману приймач ціль-жертву.

Для глушіння можуть використатись портативні пристрої потужності десятих часток Ватт (Portable Protective Devices) до потужних (10 кВт і більше) засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), що застосовуються вже на державному рівні. У разі потрапляння антени приймача GNSS/GPS в ураження сигналом глушіння обчислення координат становиться неможливим, що сигналізується на містку судна певними звуковими та візуальними сигналами.

Більш підступними є атаки спуфінгу та міконінгу, які зазвичай не викликають алермів і можуть залишатися певний час непомітними судноводієм [4]. Велика кількість фіксації фактів атак за різноманітними сценаріями в роботу

систем GNSS/GPS [6] дозволяє зробити висновок про поширення проблем використання GPS. Це підкреслює важливість врахування ризику кібервтручань у практичному судноводінні та адекватне реагування на них.

Як приклад можна навести обговорення імовірності глушіння за статтею [6]. Аналізуючи проблему, автор зазначає про необхідність висновку про труднощі, що стали звичним явищем: «Нестабільна робота, помилкові сигнали або недоступність GPS стають реаліями нашого життя. Отже, сьогодні практичне питання з'являється: як повинен поводитися вахтовий офіцер в такій ситуації? Скільки офіцерів готові визначити наявність глушіння? Я чув багато розповідей про людей, які мали такі пригоди на містку. Майже всі вони розповідають, що в першу мить почали аналізувати причини несправності GPS-приймача, а за цей час судно почало змінювати курс. Що сталося? Відповідь проста: автопілот отримав дані про пеленг до наступної маршрутної точки (WPT) і сприйняв це як новий курс відносно землі (COG), однак хибне визначення GPS спричинило неправильну інформацію, яка не розпізнається автопілотом як неправильна».

Висновки. Дисципліна з управління кіберризиками на морі має викладатися для курсантів усіх спеціалізацій (штурмани, суднові механіки, електромеханіки) загальної спеціальності 271 Морський та внутрішній водний транспорт з урахуванням вимог до компетенції для кожної спеціалізації.

Необхідно привернути увагу на вдосконалення навичок управління судном спираючись на використання традиційних до настання епохи супутникової навігації (обчислення шляху, паралельне індексування) у разі кібератак на ГНСС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Akpan F, Bendiab G, Shiaeles S, Karamperidis S, Michaloliakos M. Cybersecurity Challenges in the Maritime Sector. Network. 2022; 2(1):123-138. <https://doi.org/10.3390/network2010009>
2. MARITIME CYBER RISK MANAGEMENT IN SAFETY MANAGEMENT SYSTEMS. RESOLUTION MSC.428(98) (adopted on 16 June 2017). [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.428\(98\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.428(98).pdf)
3. GUIDELINES ON MARITIME CYBER RISK MANAGEMENT. MSC-FAL.1/Circ.3/Rev.1 14 June 2021. <https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Facilitation/Facilitation/MSC-FAL.1-Circ.3-Rev.1.pdf>
4. Jamming and Spoofing of Global Navigation Satellite Systems (GNSS). INTERTANKO, 2019. <https://www.maritimeworldsecurity.org/media/1043/2019-jamming-spoofing-of-gnss.pdf>
5. The Guidelines on cyber security onboard ships. Version 4. <https://www.intercargo.org/guidelines-cyber-security-onboard-ships/>
6. Felski A. Let Us Prepare the Officer of the Watch on Jamming and Spoofing. Transnav - the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. Vol. 13, Num. 4, 2019. DOI: 10.12716/1001.13.04.18
7. Пядишев В.Г. Питання вдосконалення кібербезпеки морського транспорту: зарубіжний досвід. Морська безпека та оборона, № 1, 2023, сс. 78-86. <https://doi.org/10.32782/msd/2023.1.10>.
8. Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Digital interfaces - Part 460: Multiple talkers and multiple listeners - Ethernet interconnection - Safety and security (IEC 61162-460:2015). <https://webstore.iec.ch/publication/66438>.

УДК 627.7

ПРОТИПРАВНЕ ВТРУЧАННЯ В РОБОТУ СИСТЕМ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ ТА ВПЛИВ НА ДАНІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА СИНХРОНІЗАЦІЇ ЧАСУ – ЯК ГЛОБАЛЬНА ПРОБЛЕМА

Е. А. Плешко, к.ю.н.,
В. І. Коновець, к.т.н., с.н.с.,
О. В. Шишкін, д.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: За результатами протиправних втручань Російської Федерації на державному рівні в роботу супутникової навігації надано оцінки таких дій з позиції міжнародного права та розглянуто питання врегулювання заходів з підвищення стійкості критичної інфраструктури морської сфери, насамперед даних PNT.

Ключові слова: Глобальна навігаційна супутникова система, позиціонування, навігація та синхронізація (PNT), радіоелектронна боротьба, глушіння, спуфінг.

ILLEGAL INTERFERENCE WITH NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS AND IMPACT ON POSITIONING, NAVIGATION AND TIMING DATA - AS A GLOBAL CHALLENGE

Е. Pleshko, Cand. of Jur. Sc. (PhD),
V. Konovets, Cand. of Techn. Sc. (PhD), Senior Research Officer,
O. Shyshkin, Dr. of Techn. Sc., Docent
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: Based on the results of the illegal interventions of the Russian Federation at the state level in the operation of satellite navigation, evaluations of such actions from the standpoint of international law were provided and the issue of regulating measures to increase the stability of the critical infrastructure of the maritime sphere, primarily PNT data, was considered.

Key-words: Global Navigational Satellite System, poisoning, navigation and timing (PNT), radio electronic warfare, jamming, spoofing.

Досвід збройного конфлікту Російської Федерації з Україною примушує звернути увагу на нові аспекти, які постають все більш значущими.

Хоча ця війна нібито двостороння, локальна, але в ній під реальним ударом опинився й дуже важливий глобальний сервіс навігаційних та інших послуг, лідером якого є Сполучені Штати Америки.

Саме у США півстоліття тому створили першу Глобальну навігаційну супутникову систему - ГНСС (англ. GNSS - Global Navigation Satellite System), яка відома наразі під назвою GPS (Global Positioning System) - Глобальна система позиціонування. Вона швидко пройшла шлях від надсекретної військової системи до технології, користування якою доступне кожному.

На цей час США забезпечують окрему роботу двох секторів своєї ГНСС для військових і цивільних.

Центр операцій GPS (GPSOC) функціонує на військовій базі Шрівер (Schriever) у штаті Колорадо і є координаційним центром Міністерства оборони США для оперативних питань і питань, що стосуються військового використання GPS.

Для цивільних користувачів GPS контрольним та координаційним органом є Центр навігації берегової охорони США - U.S. COAST GUARD NAVIGATION CENTER.

Розумна та логічна спроба США виокремити діапазон цивільних користувачів, який не має наражатися на небезпеку, виявилася марною.

Противник виявляє зацікавленість у контролі за усіма складовими глобальних навігаційних систем та космічного зв'язку.

При цьому, усі критично важливі військові операції передбачають використання систем, які забезпечують позиціонування, навігацію та синхронізацію часу, з урахуванням так званих даних PNT (Positioning, Navigation and Timing) [1], для розвідки, створення загальної оперативної картини, навігації на полі бою, наведення зброї та цілевказівок, й навіть стійкого зв'язку.

Тому, не вщухають спроби перехопити контроль над такими даними з боку третіх сторін. Західні стратеги та аналітики навіть почали використовувати термін «NavWar» - навігаційна війна, мета якої для США та партнерів визначається, як комплекс дій, спрямованих на зміцнення дружнього використання або переривання використання ворогом даних PNT.

Військові експерти вважають першим суто військовим прикладом навігаційної війни дії Північної Кореї з глушіння та перевантаження веб-серверів під час американо-південнокорейських навчань Key Resolve (28.02-10.03.2011) та Foal Eagle (28.02-30.04.2011).

Потім стало відомо про перехоплення американського безпілотного літального апарату (БПЛА) Lockheed RQ-170 в північно-східному Ірані в грудні того ж 2011 року.

Значні ресурси у різні методи радіоелектронної боротьби (РЕБ) інвестувала саме РФ, намагаючись нейтралізувати технології інших країн і перетворити те, що історично було перевагою, на недолік.

Зокрема, у 2016 році РФ оголосила, що встановила апаратуру GPS-перешкод на понад 250 тисяч веж стільникового зв'язку під приводом зриву атак крилатих ракет противника.

Згодом, розраховуючи на безкарність своїх дій, РФ продемонструвала провокаційну діяльність під час навчань «Захід-2017», створюючи загрози країнам Балтії. На цих стратегічних командно-штабних навчаннях РФ наголошувала на відпрацюванні дій військових у разі як локальної, так і більш широкої ескалації, з чіткою орієнтацією на концепцію стримування противника A2AD (anti-access, area denial). Активно використовувалися електронні засоби ведення війни, призначені для створення перешкод, поза позначеними зонами випробувань. В результаті спостерігалися збої й в роботі цивільних засобів комунікації та систем навігації, зокрема роботи GPS у деяких регіонах Латвії та у норвезькому Фіннмарку.

У березні 2018 року повідомлялося про проблеми, з якими стикаються системи електронного позиціонування в Східному Середземномор'ї, і які впливають на цивільну авіацію. Тоді протягом трьох діб надходили повідомлення про

проблеми для пілотів пасажирських і приватних літаків пов'язані з перериванням сигналу GPS або неправильної індикації положення повітряного судна.

Ці проблеми навіть змусили цивільну авіаційну адміністрацію Кіпру випустити попередження NOTAM командирам літаків про проблему та рекомендацією звернути увагу на підвищення небезпеки польотів.

Те саме було зроблено й компетентними органами Туреччини. Проблеми пов'язували з посилення інтенсивності бойових дій у Сирії, на що також вказувала поява у повітряному просторі Сирії та поруч з нею літаків спеціального призначення ВПС США та ПКС РФ.

Потім це повторилося у жовтні-листопаді 2018 року під час спільних навчань країн НАТО «Єдиний тризуб» у Норвегії. Норвегія та Фінляндія навіть виступили із офіційними заявами, що РФ навмисно спричиняла перебої в роботі GPS до і під час військових навчань, що вплинуло й на навігацію цивільної авіації в Арктиці.

У жовтні того ж 2018 року світ отримав досвід коли протиправне глушіння GPS, скероване проти цивільних, призвело до того, що 46 дронів різко впали з неба під час хореографічного світлового шоу в гавані Вікторія в Гонконгу, зірвав захід та створив реальну небезпеку.

25 листопада 2018 року під час захоплення українських військових катерів у Керченській протоці, РФ активно використовувала засоби РЕБ, фактично подавив роботу навігаційних систем та космічного зв'язку.

Ймовірно в РФ намагалися приховати той факт, що затримання відбулося за 23 милі від берега, але аж ніяк у 12-мільній зоні, що нібито виправдовувало їх дії.

Згодом, навесні 2019 року американська неурядова компанія C4ADS заявила, що РФ використовує технології дезорієнтації системи супутникової навігації GPS в окупованому Криму [2]. Завдяки даним наукового сенсора на Міжнародній космічній станції організації вдалося ідентифікувати діяльність, яка становила значну загрозу для GPS-систем цивільних авіаліній у регіоні.

Аналітики визначили чимало перешкод для роботи ГНСС на території РФ, на тимчасово окупованих територіях України та військових об'єктах закордонном. Загалом було виявлено 9883 випадки російського втручання у роботу ГНСС у 10 точках, що вплинуло на функціонування навігаційних систем 1311 цивільних суден. Дослідники також зареєстрували збої сигналів GPS на територіях, де РФ веде активні бойові дії, зокрема в Сирії.

Директор національної розвідки США опублікував доповідь, де зазначалося, що РФ надає важливе значення можливості глушіння американських супутникових систем. Військові експерти висловили думку, що спуфінг-атаку на судна поблизу російського узбережжя здійснила РФ, а зроблено це було для «розкрутки» російської системи ГЛОНАСС або наземної неавтономної системи радіонавігації «Чайка», надання їм переваги перед GPS. Можливо, були й інші причини, відомі тільки РФ.

Українські та іноземні користувачі навігаційних приладів GPS неодноразово потерпали від російського втручання в їх роботу в акваторіях Чорного й

Азовського морів та Керченської протоки. Наприклад, у лютому-березні 2019 року в Азовському морі зафіксовано 3 випадки відмов системи навігації GPS та морської автоматичної системи ідентифікації (AIS).

Інформацію про перешкоди в роботі систем навігації озвучували команди торговельних суден, які рухалися в порти Азовського моря.

Зокрема, такий випадок був зафіксований в ніч на 7 березня на захід від Білосарайської коси, коли капітани озвучили в ефірі під час радіообміну інформацію, що система GPS не працює, хоча російська система навігації ГЛОНАСС функціонувала без збоїв. Подібні скарги від моряків фіксувалися 5 березня та 20 лютого 2019 року, коли поблизу цього району виконували завдання два кораблі ВМФ РФ з позивними "Бугель 66" і "Бугель 029".

Є підтвердження, отримані на основі проведення експериментальних досліджень за участі авторів щодо використання морської бурової платформи у Чорному морі, для розміщення й застосування радіоелектронних засобів, у тому числі, для перешкод навігації, що було враховано у сукупності з іншими ознаками, під час визначення цього нібито цивільного об'єкту законною ціллю за міжнародними правилами ведення війни.

Максимально наявні спроможності РФ почала використовувати після ескалації агресії проти України у лютому 2022 року.

Зазначимо, що ЗС України з 01.12.2020 р. імплементували документ НАТО в якості військового стандарту ВСТ 01.110.026 – 2020 (01) «Топогеодезичне і навігаційне забезпечення. Визначення поняття «навігаційна боротьба». (STANAG Ed.2/ANP-4621 (A) NAVIGATION WARFARE DEFINITION).

Військові користувачі беруть до уваги й «Скорочений документ розвитку можливостей у навігаційних бойових діях (A-CDD)», схвалений у березні 2021 року міжфункціональною групою армії США щодо гарантованого позиціонування, навігації та синхронізації/простору.

Цей документ закликає до експериментів та швидкого створення прототипів можливостей NAVWAR-SA для військових винищувачів. Програма призначена для надання армійським підрозділам можливості оцінювати системи PNT, які вони використовують у режимі реального часу, та надання можливостей, корисних у ситуаціях, коли GPS погіршується чи відмовляється [3].

Також варто зазначити, що власну «навігаційну війну» веде не тільки офіційна влада РФ, а й деякі її старші військово-морські офіцери, які протиправно застосовують спеціальні знання щодо систем навігації в особистих корисних цілях, іноді навпаки використовуючи стандартну стабільну роботу систем навігації.

Зокрема, у Туреччині широкого розголосу набула кримінальна справа стосовно групи з 8-ми осіб під керівництвом Олега Попілова. Поліції Туреччини та представникам Інтерполу вдалося встановити, що група орудувала у Середземному морі та займалася викраденням яхт. Тільки у 2018 році група викрала 49 яхт, в 2019 році – 37 яхт, у тому числі 16 безпосередньо в Туреччині. Лише 6 яхт вдалося знайти.

В одному з епізодів цієї справи йдеться, що нібито пристойні та заможні громадяни РФ прибули до міста Даламан, де уклали контракт оренди на тиждень яхти «Ghost 3» вартістю 2 млн доларів. Потім 2 чоловіки та 2 жінки сіли на яхту, перемістилися на ній в сусідню бухту, де зійшли на берег, судно в порт не повернулося. Пізніше стало відомо, що яхта залишила територіальні води Туреччини, а її електронна система навігації була знята та прилаштована до іграшкового човна, який курсував у затоках Мармарису. Особи, які брали її напрокат, вилетіли до Москви. Офіційна влада РФ змушено відреагувала, заарештував учасника цієї групи Анатолія Шутова, але решта злочинців досі перебуває в міжнародному розшуку.

GPS є головним компонентом навігаційних функцій, але дані PNT, які використовують системи навігації та космічного зв'язку, загалом охоплюють набагато більше та стосуються широкого кола цивільних користувачів.

Деякі з них є критично важливими для морської сфери, наприклад, Система глобального морського зв'язку лиха та безпеки (GMDSS), яка використовується у морському судноплаванні протягом майже 25 років з дати 1-го лютого 1999 року набуття статусу обов'язкової для вантажних суден валової місткості 300 тонн і більше та всіх пасажирських суден, що здійснюють міжнародні рейси [1].

Наприкінці 2022 року на орбіті Землі знаходилося майже сім тисяч активних супутників, які забезпечували функціонування великої кількості сучасних технологій, у тому числі в морській сфері. Завдяки зусиллям Ілона Маска їх кількість дуже інтенсивне збільшується.

Тому питання протиправного впливу на системи, які використовують дані PNT постає глобальною проблемою.

Ще у 2013 році у Талліннському посібнику з Міжнародного права, що стосується кібервійни, були зібрані думки багатьох видатних науковців і практиків міжнародного права, які ідентифікували 154 правила ведення кібероперацій, з коментарями. Також у ньому міститься спеціальний розділ, присвячений правилам, які конкретно стосуються кібероперацій зв'язаних з космосом. Талліннський посібник має на меті надати «об'єктивне підтвердження міжнародного права в його застосуванні в кіберконтексті».

Надважливо те, що всі експерти, які працювали над Талліннським посібником 2.0 (2017), погодились з тим, що заборона на застосування сили, яка міститься в Статуті ООН, повністю поширюється на діяльність у космічному просторі, і що «будь-які кібероперації, які походять з, проходять через, або завершуються в космічному просторі і досягають рівня незаконної загрози або застосування сили, забороняються» (Правило 68).

Попри те що Талліннський посібник є рекомендаційним, не представляє офіційну позицію НАТО або членів Альянсу, він став впливовим експертним ресурсом для юридичних і політичних радників з питань потрібного міжнародного права в сценаріях майбутніх конфліктів. Посібник оновлюється, щоби не відставати від теорії і практики, які швидко розвиваються. Нині ведеться робота

над переглядом Талліннського посібника до версії 3.0 з метою збереження та розвитку визнаних норм.

Зі свого боку США намагаються лідерські вирішити проблеми стійкості глобальної та власної критичної інфраструктури не тільки інженерними засобами, а й шляхом належного нормативно-правового врегулювання.

З кінця 2018 року на законодавчому рівні передбачено вимогу до Міністра транспорту США (DOT) розробити та побудувати наземну резервну систему синхронізації із 20-річним терміном експлуатації.

12 лютого 2020 року президентом США видано виконавчий указ (Executive Order - EO) №13095 «Зміцнення національної стійкості шляхом відповідального використання сервісів позиціонування, навігації та синхронізації», який встановлює першу комплексну національну політику, що сприяє відповідальному використанню позиціонування, навігації, а також послуги синхронізації часу (PNT) федеральним урядом та власниками і операторами критичної інфраструктури для підвищення її стійкості.

Варто врахувати, що за Конституцією США президент не тільки представляє державу, але й очолює гілку виконавчої влади. Як керівник цієї гілки влади він має повноваження видавати нормативні акти кількох видів. За допомогою наведеного ЕО, який є умовним аналогом постанови КМ України, адміністрація президента фактично встановлює та просуває підходи до управління ризиками для критично важливих транспортних систем і підтримки комерційної інфраструктури від збоїв і маніпулювання послугами PNT.

У лютому 2021 року, дотримуючись вказівок указу Президента США, Національний інститут стандартів та технологій США опублікував «Основний профіль PNT: застосування інфраструктури кібербезпеки для відповідального використання послуг позиціонування, навігації та синхронізації (PNT)» [3].

Документ забезпечує гнучку основу управління ризиками при використанні послуг PNT. Він визнає, що системи PNT сприйнятливі до збоїв і маніпуляцій (природних, створених людиною, навмисних чи ненавмисних), і пропонує рекомендації щодо того, як користувачі можуть помітити загрози для послуг, обладнання та даних інфраструктури зв'язку, енергетики, інформаційних систем тощо.

Хоча документ розроблений для організацій, які є частиною критичної інфраструктури США, багато інших організацій у приватному та державному секторах (включаючи федеральні агенції) використовують NIST CSF для виявлення атак на сервіси PNT таких, як глушіння та спуфінг, а також визначення шляхів того, як ефективно реагувати на збої у згаданих системах та їх відновлення після протиправного втручання [5].

Створена в результаті співпраці між промисловістю та урядом, структура кібербезпеки NIST Cybersecurity Framework (NIST CSF) надає пріоритетні рекомендації, засновані на існуючих стандартах, керівництвах та методах, щоб допомогти користувачам краще розуміти ризики кібербезпеки.

Висновки. Злочинна діяльність РФ, що грубо порушує норми міжнародного права та під виглядом боротьби з військовими об'єктами брутально руйнує

цивільну інфраструктуру, тягне гибель багатьох людей постає викликом для готовності та спроможності забезпечити належне використання критичної інфраструктури, яка використовує дані PNT. Забезпечення протидії протиправному посяганню на функціонування глобальних сервісів на основі таких даних визнається актуальною проблемою світового рівня.

ЛІТЕРАТУРА

1. Positioning, Navigation and Timing (PNT). IALA. <https://www.iala-aism.org/technical/positioning-navigation-and-timing/>
2. Exposing GPS Spoofing in Russia and Syria.
<https://static1.squarespace.com/static/566ef8b4d8af107232d5358a/t/5c99488beb39314c45e782da/1553549492554/Above+Us+Only+Stars.pdf>
3. Army approves requirement for Navigation Warfare.
URL:https://www.army.mil/article/244739/army_approves_requirement_for_navigation_warfare
4. Foundational PNT Profile: Applying the Cybersecurity Framework for the Responsible Use of Positioning, Navigation, and Timing (PNT) Services (NISTIR 8323)
<https://csrc.nist.gov/publications/detail/nistir/8323/final>
5. Resilient Positioning, Navigation, and Timing (PNT) Conformance Framework Version 2.0;
https://www.dhs.gov/sites/default/files/2022-05/22_0531_st_resilient_pnt_conformance_framework_v2.0.pdf

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

УДК 621.33, 621.316.71

ОСОБЛИВОСТІ ПРОСТОРОВО-ВЕКТОРНОЇ МОДУЛЯЦІЇ В 5-ФАЗНИХ
КАСКАДНИХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ЧАСТОТИ

Д.П. Степанов, здобувач другого рівню вищої освіти

В.В. Бушер, д.т.н., професор

В.М. Захарченко, д.т.н., професор

О.В. Глазева, к.т.н., доцент

Анотація. Розроблено метод збалансованої просторово-векторної широтноімпульсної модуляції базових векторів, що полягає у розрахунку шпаруватості базових векторів, а на їх основі напруг кожної фази для несиметричної системи перетворювача так, щоб отримати симетричну синусоїдальну систему струмів у фазах двигуна. Науковою новизною способу є можливість використання багатофазного перетворювача при несиметричному пошкодженні фаз.

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

FEATURES OF SPACE-VECTOR MODULATION IN 5-PHASE CASCADE HIGH-VOLTAGE FREQUENCY CONVERTERS

D. Stepanov, second-level graduate of higher education

V. Busher, Dr. of Science, Professor

V. Zakharchenko, Dr. of Science, Professor

O. Glazeva, Ph.D., Associate Professor

National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. The present work introduces the method of balanced space-vector pulse wide modulation developed by calculating the duty cycle of the base vectors and consequently allowing to determine the voltages of each phase for an asymmetrical converter system in order to obtain a symmetrical sinusoidal system of currents in the engine phases. The scientific novelty of the method is the possibility to use a multiphase converter for asymmetrically damaged phases.

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

Вступ. Застосування високовольтних перетворювачів частоти в потужних електромеханічних системах, наприклад, таких як суднові підрулюючі пристрої, забезпечує багаторазове зниження споживання електротехнічних матеріалів, насамперед міді, зменшення ваги електричних машин і кабелів, а також покращує енергетичні показники – THD (Total Harmonic Distortion), EEDI (Energy Efficiency Design Index) і EEOI (Energy Efficiency Operational Index) [1–3]. Основною структурою багаторівневого перетворювача в промислових застосуваннях є каскадноз'єднані H-мости, які також називають комітками або модулями. Переваги: кількість можливих рівнів вихідної напруги більш ніж у два рази перевищує кількість джерел постійного струму ($m = 2s + 1$); послідовність H-мостів забезпечує модульне розташування та уп

ковку – це дозволяє виробничий процес виконувати швидше та дешевше [4]. У потужних електроприводах з підвищеними вимогами до надійності і плавності крутного моменту, наприклад, в суднових двигунах з постійним кроком, використовуються 5-фазні синхронні двигуни і, відповідно, 5-фазні перетворювачі частоти, наприклад SIEMENS – Sinamics SL150 (SM150) [5, 6].

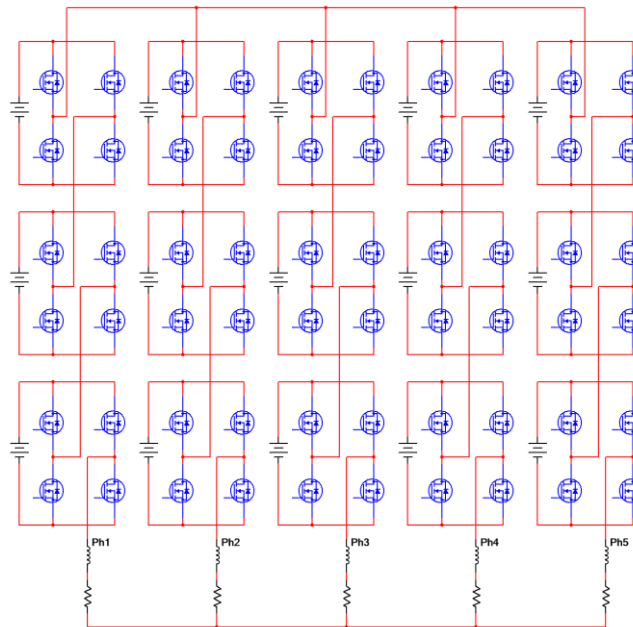


Рисунок 1 – Функціональна схема 5-фазного 3-х каскадного перетворювача

Аналіз проблеми. Багаторівневі високовольтні перетворювачі частоти (HVFC) використовують різні типи силових напівпровідникових компонентів (IGBT, GTO, IGCT, SGCT) [7], три методи широтно-імпульсної модуляції (PWM) [8] і можуть мати не тільки 3, а 5 або 6 фаз (рис. 1).

Реакція на вихід з ладу одного або кількох модулів є найбільш критичною дією каскадного ПТЧ [9]. Загальне коротке замикання пошкоджених елементів призводить до дисбалансу міжфазних напруг, струмів, механічних ударних навантажень в механічній частині. Для зменшення шкідливого впливу використовуються різні методи корекції. Базовий метод: якщо несправність виявлена в одній із фаз, «подібні» комірки інших фаз закриваються. При цьому напруга падає в $(N-1)/N$ разів. Другий спосіб: врівноваження (балансування) міжфазної напруги здійснюється зміною міжфазних кутів і зсувом нульової точки [10–12]. Застосування цього методу дозволяє знизити втрати на 6...18 % [13, 14]. Введення третьої гармоніки підвищує ефективність використання джерела постійного струму на 15,6%. Подібні результати дає метод просторово-векторної модуляції з балансуванням SVPWM [15, 16].

Метою роботи є аналіз можливостей просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції для багатофазного високовольтного багаторівневого перетворювача частоти в нормальному та аварійному режимах.

Метод збалансованої просторово-векторної модуляції в 5-фазному перетворювачі частоти. Ідея просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції заснована на послідовному переключенні фаз на «+» або «-» джерела постійного струму, як показано на рис. 2, а.

У нормальному режимі 5-фазного інвертора напруги фаз з відносною амплітудою $U_{ph} = N_A = N_B = N_C = N_D = N_E = N$ (кількість Н-мостів в одній фазі, базова одиниця дорівнює номінальній напрузі Н-моста) утворюють п'ятифазну систему напруг (тут і далі ми не будемо використовувати символ «*» для позначення відносних значень). Комутація напруг фаз із представленою послідовністю визначає 10 просторових векторів (рис. 2, б). Координати векторів визначають за формулами:

$$\begin{aligned} x_i &= \pm N_A \cos(\varphi_a) \pm N_B \cos\left(\varphi_a - \frac{2\pi}{5}\right) \pm N_C \cos\left(\varphi_a - \frac{4\pi}{5}\right) \\ &\quad \pm N_D \cos\left(\varphi_a - \frac{6\pi}{5}\right) \pm N_E \cos\left(\varphi_a - \frac{8\pi}{5}\right), \\ y_i &= \pm N_A \sin(\varphi_a) \pm N_B \sin\left(\varphi_a - \frac{2\pi}{5}\right) \pm N_C \sin\left(\varphi_a - \frac{4\pi}{5}\right) \\ &\quad \pm N_D \sin\left(\varphi_a - \frac{6\pi}{5}\right) \pm N_E \sin\left(\varphi_a - \frac{8\pi}{5}\right). \end{aligned} \quad (30)$$

Вектори описують вершини багатокутника, в який можна вписати коло. У нормальному режимі радіус вписаного кола дорівнює $R = 3.07768N$ (рис. 2, в).

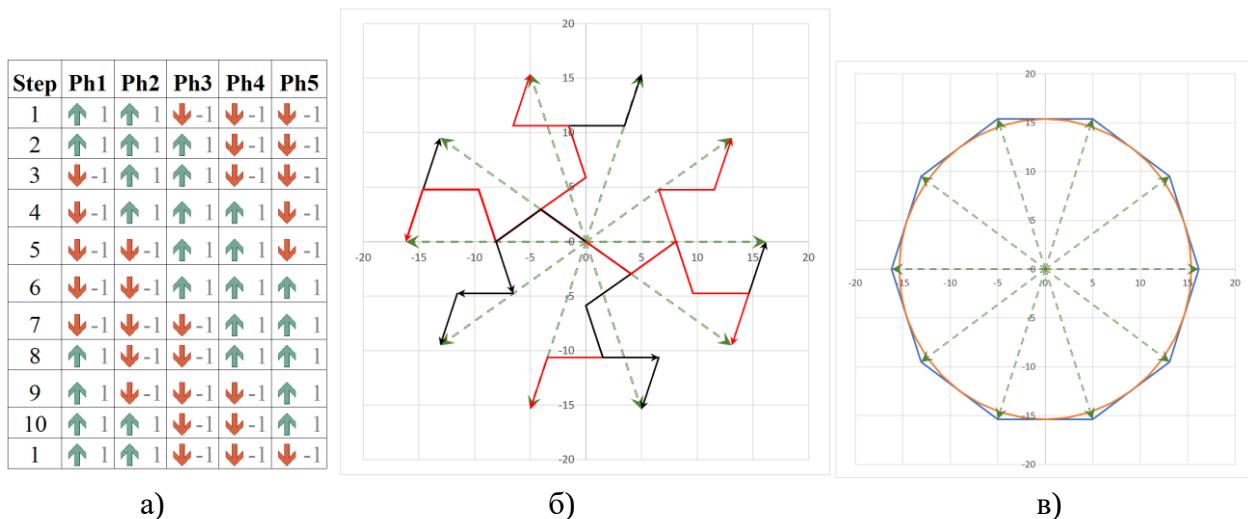


Рисунок 2 – Послідовність комутації фаз, просторові вектори та вписане коло в нормальному режимі 5-фазного 5-каскадного інвертора

Комутація двох сусідніх просторових векторів дозволяє отримати еквівалентний вектор із заданою амплітудою v та положенням φ . У кожному секторі шпаруватість просторових векторів розраховується за виразами:

$$v \leq v_{\max},$$

$$\gamma_1 = \frac{v \sin((\varphi_2 - \varphi_1) - (\varphi - \varphi_1))}{v_1 \sin(\pi - (\varphi_2 - \varphi_1))},$$

$$\gamma_2 = \frac{v \sin(\varphi - \varphi_1)}{v_2 \sin(\pi - (\varphi_2 - \varphi_1))}.$$
(31)

Однак, в типових перетворювачах частоти для реалізації просторово-векторної комутації в системі керування виконується синхронізація всіх (!) силових вимикачів інвертора. У багаторівневому інверторі рішення задачі можна істотно спростити. Необхідно, відповідно до розрахункових значень шпаруватості γ_1, γ_2 та таблиці комутації $q_{i,j}$ окремих фаз, розрахувати еквівалентні значення напруги окремих фаз:

$$U_{phj} = \sum_{i=1}^{10} \gamma_{1i} q_{i,j} + \gamma_{2i} q_{i+1,j} \quad (32)$$

Ці значення, помножені на кількість Н-комірок у фазі, відповідають шпаруватості фази (від 0 до N). На основі порівняння цих значень з багаторівневими трикутними високочастотними сигналами можна сформувати сигнали керування транзисторами для Н-мостів з 2-рівневою (-U, +U) або 3-рівневою (-U, 0, +U) вихідною напругою.

Графіки фазної напруги (U_A) у випадку $N=5$, представлено на рис. 3. Також показана синусоїдальна напруга 1-ї гармоніки та відносний струм у відповідній фазі, утворений як сума проекцій напруги фаз на кожну фазу двигуна (з амплітудою, що дорівнює радіусу вписаного кола). Важливо відмітити, що амплітуда 1-ї гармоніки напруги на 23,1% більше амплітуди фазної напруги, що, відповідно, на таку саме величину збільшує коефіцієнт використання джерела живлення.

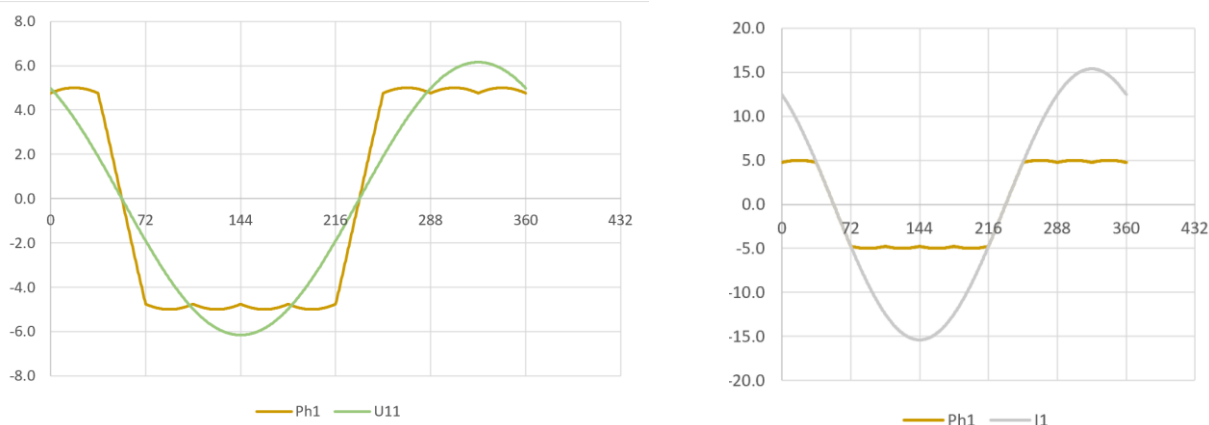


Рисунок 3 – Фазна напруга (Ph1) і 1-а гармоніка напруги (U11), відносний струм (I1) в нормальному режимі

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 (на рис. 4 показаний гіпотетичний випадок, коли напруги всіх фаз різні $N_A=2, N_B=3, N_C=4, N_D=5, N_E=6$, позначимо цей випадок як 2-3-4-5-6.)

Радіус цього кола визначає максимально допустиму напругу [16]:

$$\begin{aligned} a_i &= (y_{i+1} - y_i) / (x_{i+1} - x_i), \\ R_i &= \text{abs}\left((y_i - a_i x_i) \sqrt{1 + a_i^2}\right), \\ v_{\max} &= \min(R_i), \quad i = 1 \dots 5. \end{aligned} \quad (33)$$

Але відносні струми в фазах двигуна зберігають симетрію і зсуви відповідно до вимог 5-фазної системи (рис. 4, б).

Саме в цьому полягає принцип балансування просторових векторів в 5-фазному каскадному перетворювачі частоти.

Висновки. В роботі проведено дослідження особливостей просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції в п'ятифазному високовольтному багаторівневому перетворювачі частоти в нормальному та аварійному режимах.

Враховуючи велику кількість керованих силових транзисторів, запропоновано метод асинхронної модуляції, заснований на розрахунку амплітудного значення окремих фаз, а не шпаруватості просторових векторів.

Також пропонується використовувати метод збалансованих просторових векторів при пошкодженні окремих Н-мостів, що забезпечує симетрію струмів у фазах, враховуючи математичну та геометричну інтерпретацію просторових векторів зі змінною амплітудою при проектуванні напруги на обмотки статора двигуна, як симетричного 5-фазного навантаження.

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). Якщо окремі Н-мости для балансування струмів у фазах навантаження виходять з ладу, коефіцієнт використання може зменшитися, але в будь-якому випадку залишається більшим за 1.

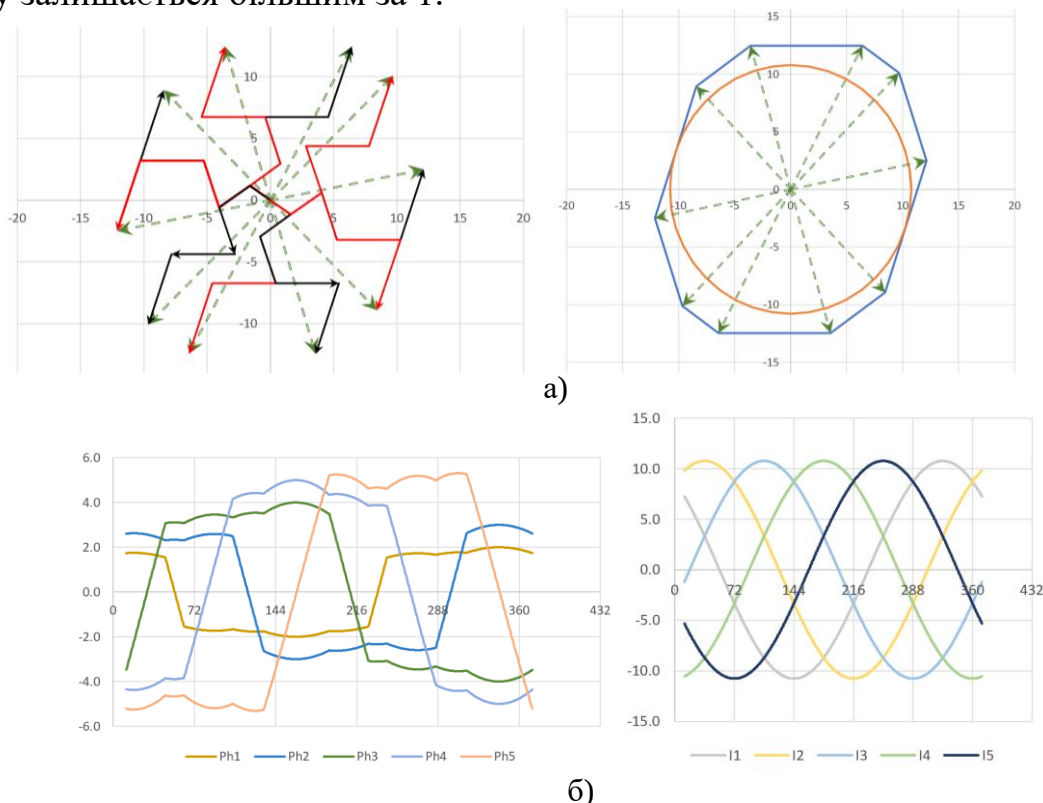


Рисунок 4 – Базові вектори (а), фазні напруги і струми (б) в аварійному режимі 2-3-4-5-6

Отримані результати може бути використано при синтезі складних систем керування, у тому числі з просторово орієнтованим керуванням полем. Це також надає можливість використання теорії дробово-інтегрального числення, за допомогою якої можна синтезувати регулятори, що забезпечують покращення динамічних показників замкнених нелінійних систем [17].

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. У статті наведено розрахункові формули, графіки, діаграми, що пояснюють принципи роботи в нормальних і аварійних ситуаціях, які можуть бути використані при проектуванні мікропроцесорної системи керування силовими вимикачами інвертора.

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. Burdasov B K, Nesterov S A and Fedotov Yu B 2015 Frequency converters for high-voltage AC drives APRIORI Series Natural and technical sciences 4 pp 2–15
3. 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.
4. Malinowski M, Gopakumar K, Rodriguez J and Pérez M A 2010 A Survey on Cascaded Multilevel Inverters IEEE Transactions on Industrial Electronics 57 7 pp 2197–2206
5. V. Oleschuk, G. Grandi and F. A. Dragonas, "Five-phase and six-phase converters with synchronized PWM: An overview," 2011 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Gdansk, Poland, 2011, pp. 283-288, <https://doi.org/10.1109/ISIE.2011.5984171>
6. Puchkov A P and Osipov O I 2018 Correction of the Control System of a Multilevel Converter with a Defect in the Power cell of its Inverter Electrotechnical Systems and Complexes 3 40 pp 42–46
7. Gorodny A, Dymyrets A, Kut Y, Denisov Y, Natalia D 2020 Generalized method of commutation processes calculation in high-frequency switched-mode power converters Advances in Intelligent Systems and Computing 1019 pp 71–80
8. V. Busher, O. Chornyi, V. Tytiuk, O. Glazeva, O. Rozlutskyi 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>
9. High voltage frequency converters series N5000 // http://www.tekhar.com/Programma/HYUNDAI/index_V_V_invert.html
10. Frequency converters VEDADRIVE 315–25000 kVA // www.danfoss.ru/VLT
11. PowerFlex 6000 Medium Voltage Variable Frequency Drive Firmware, Parameters, and Troubleshooting Manual Catalog Number 6000G // Publication 6000-TD004E-EN-P – September 2019. <http://www.rockwellautomation.com/support>
12. High voltage frequency converters Robicon PERFECT HARMONY 225 kW–120 MW // www.siemens.com/robicon-perfect-harmony
13. Five-Phase and Six-Phase Converters with Synchronized PWM: An Overview. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/233728797> [accessed Jun 13 2023].
14. Krishnapriya S and Unnikrishnan L 2015 Multilevel Inverter Fed Induction Motor Drives, International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET) 04 09 pp 60–64
15. V Busher et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 985 012021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012021>
16. V. Busher, A. Shestaka, O. Chornyi, O. Glazeva, L. Melnikova and V. Tytiuk, "Method of Space Vector Pulse Width Modulation in High Voltage Cascaded Frequency Converter with Damaged H-cells," 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2021, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/MEES52427.2021.9598782>.
17. Busher, V.; Zakharchenko, V.; Shestaka, A.; Kuznetsov, V.; Kuznetsov, V.; Nader, S. Optimization of the Control of Electromagnetic Brakes in the Stand for Tuning Internal Combustion Engines Using ID Regulators of Fractional Order. Energies 2022, 15, 9378. <https://doi.org/10.3390/en15249378>

ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ БАГАТОФАЗНИХ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ СИЛОВИХ КАНАЛІВ

І.П. Малявін, к.т.н, доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. Розглянуто особливості мініатюризації багатофазних імпульсних перетворювачів постійної напруги (БПП). Запропоновано методику автоматизованого проектування БПП за критерієм мінімального обсягу при забезпеченні заданої якості вихідної напруги.

Ключові слова: багатофазні імпульсні перетворювачі постійної напруги (БПП), мініатюризація, методика проектування.

FEATURES OF COMPUTED DESIGN METHODOLOGY MULTIPHASE PULSE CONVERTERS UNDER DIFFERENT OPERATING MODES OF POWER CHANNELS

I. P. Maliavin, PhD, Assistant professor

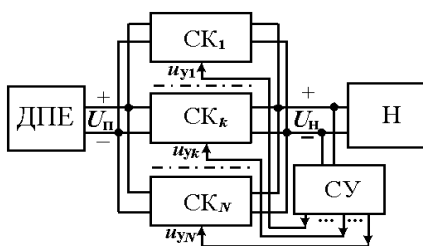
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The features of miniaturization of multiphase pulsed direct-voltage converters (MPC) are considered. A technique for computer-aided design of MPC based on the minimum volume criterion while ensuring the specified quality of the output voltage is proposed.

Key words: multiphase pulse DC voltage converters (MPC), miniaturization, design methodology.

Впровадження сучасних засобів електроживлення суднового електричного обладнання сприяє підвищенню загальної енергоефективності судна [1].

Використання імпульсних перетворювачів постійної напруги (ППН) модульної структури, виконаних з паралельно включених N однотипних силових каналів що працюють на загальне навантаження N від джерела первинного електроживлення ДПЕ (рис. 1), спрямоване на підвищення коефіцієнта корисної дії, здатності навантаження силових комутуючих елементів (і ППН в цілому), надійності та технологічності.



На рис. 1: СУ – схема управління; $U_{n(n)}$ – напруга первинного живлення (навантаження) ППН; u_{yk} – напруга управління k -го СК.

Рисунок 1 – ППН модульної структури

Перехід до багатофазної структури модульних ППН – до багатофазних імпульсних перетворювачів (БПП) – сприяє зменшенню обсягу і маси реактивних елементів вхідних і вихідних згладжують фільтрів ППН засобів електроживлення телекомунікаційних систем. Багатофазний принцип перетворення і регулювання електричної енергії в БПП реалізується за рахунок забезпечення часового зсуву між електричними процесами в k -х СК і загальних електричних колах, у яких здійснюється підсумовування зміщених у часі електричних процесів [2,3].

Розробка методики автоматизованого проектування імпульсних ППН модульної структури, зокрема БП, сприяє їхньому практичному впровадженню.

Вимоги високої якості електроенергії обумовлюють наявність у структурі ППН великогабаритних реактивних елементів, які визначають геометричний об'єм V_r . Енергетичні втрати, що супроводжують процес імпульсного перетворення електричної енергії, змушують застосовувати спеціальні засоби охолодження, що збільшують тепловий обсяг V_T .

Отже, при проектуванні одним з головних залишається завдання поліпшення (зменшення) масогабаритних показників ППН – забезпечення мінімального питомої обсягу V_{min} при забезпеченні заданої якості вихідної напруги.

У загальному вигляді проблема мінімізації обсягу визначає два напрямки вирішення задачі оптимізації за критерієм V_{min} : «теплове» і «геометричне». Перше охоплює набір засобів, що зменшують необхідний тепловий обсяг V_T . Друге – сукупність засобів, що сприяють зменшенню V_r . У загальному вигляді критерій оптимізації ППН прийме вигляд [4]:

$$V_{min} = \begin{cases} V_T, & \text{при } V_T > V_r, \\ V_r, & \text{при } V_T \leq V_r. \end{cases} \quad (1)$$

Проведені дослідження [2, 3] показали зв'язок між сукупністю показників якості ППН модульної структури в цілому і показників якості окремо взятого СК. Тому в ППН доцільно провести оптимізацію обсягу окремо взятого СК, враховуючи в його вихідних даних особливості ППН.

Геометричний об'єм V_r визначається як сума фізичних обсягів елементів перетворювача, розміщених в герметичному корпусі, з урахуванням конструктивних коефіцієнтів окремих елементів і вузлів. З урахуванням обсягів основних елементів, що входять до складу силових каналів (СК) кількість яких N , геометричний об'єм V_r ППН визначається як [4]:

$$V_r = NV_k + V_{cy}, \quad (2)$$

де $V_k = V_{Lk} + V_{Cn} + V_{Cn} + V_{Tr} + V_d + V_{доп}$ – об'єм одного СК; $V_{Lk}, V_{Cn}, V_{Cn}, V_{Tr}, V_d, V_{доп}$ – об'єми дроселя, конденсаторів фільтрів (вхідного і навантаження), силового транзистора, блокуючого діода, допоміжних вузлів; V_{cy} – об'єм схеми управління.

Енергетичні втрати (сумарна потужність втрат елементів схеми $P_{ппн}$) визначають необхідну поверхню тепловідводу – тепловий обсяг ППН V_T . При виборі корпусу, виконаного несекціонованим у вигляді паралелепіпеда, необхідно, щоб допустима температура перегріву елементів ППН в монтажній зоні над температурою навколишнього середовища не перевищувала допустиму для використовуваної елементної бази.

Тепловий обсяг можна визначити як [4]:

$$V_T = K'_c K'_b [N S_{то} P_{ппн} / 2 (K'_c + K'_b + K'_c K'_b)], \quad (3)$$

де $K'_c = c/a$; $K'_b = b/a$; a, b, c — розміри корпусу ППН; $S_{то}$ — питома поверхня тепловідведення; $P_{ппн}$ — втрати (теплова потужність, що розсіюється на елементах) ППН.

Збільшення частоти комутації (перетворення) f призводить до зменшення геометричних обсягів конденсаторів і моткових елементів [4], отже, до зменшення геометричного об'єму V_r .

Але збільшення частоти f також призводить до збільшення втрат на переміщення сердечників моткових елементів (індуктивності резонансного контуру), до збільшення втрат за рахунок вихрових струмів, до збільшення динамічних втрат у силових комутуючих елементах (транзисторах, діодах).

Отже, можливий вибір оптимальної частоти f , що забезпечує мінімально можливий обсяг ППН

Завданням перетворювача електричної енергії (ПЕЕ) є перетворення енергії однієї кількості та якості в іншу, необхідну для навантаження. При цьому навантаженні, як правило, байдуже, за якою структурною схемою виконаний ПЕЕ і який принцип роботи реалізується в його функціональних вузлах, якщо забезпечуються вихідні параметри технічних вимог в заданих умовах роботи при мінімумі обраного критерію – наприклад, в нашому випадку, обсягу. Вибір типу ПЕЕ в оптимальному значенні не представляється можливим, тому він може бути вирішений лише шляхом перебору розглянутих варіантів ПЕЕ, а не шляхом строгої математичної оптимізації. Тому надалі вибирається тип ПЕЕ, що забезпечує не оптимальне, а мінімальне значення обсягу з урахуванням заданих вихідних даних – умов експлуатації, обмежень по елементній базі, вихідної потужності, показників якості.

Отже, з викладеного випливає, що при оптимізації значень технічних параметрів ППН в якості змінних параметрів доцільно вибрати частоту комутації f , число силових каналів СК N , які найбільш ефектно впливають на мініатюризацію ППН.

Виходячи зі сказаного, пропонується наступна методика проектування, що використовує отримані результати дослідження ППН [4]:

1. Формування вихідної бази даних – довідкових електричних і масогабаритних параметрів елементів схеми ППН (конденсаторів, дроселів, транзисторів тощо) з їх технологічними та температурними відхиленнями для різних типів елементної бази, і вузлів (елементів) типових, що випускаються промисловістю, схем управління (контролерів). У базу даних повинні також входити нормативні обмеження на електричні характеристики елементів схеми, які обумовлені в технічних умовах на елементи. Повинна бути передбачена можливість поповнення її змісту шляхом збільшення числа розглянутих елементів, введення нових типів елементної бази.

У загальному вигляді база даних повинна являти собою масиви параметрів, що визначають тип обраної елементної бази:

- масив, що включає в себе номінальні значення параметрів всіх елементів з урахуванням конкретного типу елементної бази;
- масиви, що містять мінімальні і максимальні значення цих параметрів з урахуванням температурного і технологічного розкиду;
- масив, що включає в себе нормативні обмеження на електричні характеристики елементів.

2. Визначення бажаних частотних характеристик, мінімально допустимої частоти комутації f .

3. Вибір параметрів і розрахунок показників якості електричного процесу. На цьому етапі, зокрема, визначаються параметри для знаходження оптима-

льного (мінімально необхідного) значення числа СК N – початкове, кінцеве значення і крок зміни числа СК.

3. Розрахунок геометричного об'єму корпусу V_r по співвідношенню (2).

Відзначимо, що при зменшенні індуктивності дроселя k -го СК L_k збільшується пульсація на вході і виході ППН, для збереження пульсацій напруги $\Delta U_n, \Delta U_p$ в заданих межах потрібне збільшення величин ємності C_n і C_p силових згладжувальних фільтрів навантаження (н) та первинного (п) електроживлення відповідно.

Ємності на вході C_n і виході C_p визначаються як:

$$C_{n(p)} \geq [\Delta I_{n(p)}^2 / (\Delta U_{n(p)}^2 \omega_{\text{ппн}}^2) - 1 / R_{n(p)}^2 \omega_{\text{ппн}}^2]^{0.5}, \quad (4)$$

де $\Delta U_{n(p)}$ – пульсації напруги на навантаженні (на вході) ППН; $R_{n(p)}$ – опір навантаження (на вході), $\omega_{\text{ппн}} = 2\pi f$ – циклічна робоча частота ППН.

Пульсації по струму $\Delta I_{n(p)}$ визначаються за допомогою співвідношень відповідної математичної моделі [2-3], в залежності від режиму функціонування – граничний (або розривний, або безрозривний), для симетричних електричних процесів або при наявності їх асиметрії. Пульсації по напрузі ΔU_n задаються в якості вихідних даних. Вхідні пульсації ΔU_p розраховуються.

4. Аналіз параметрів електричного процесу, енергетичних і масогабаритних показників ППН при заданих вхідної і вихідної напрузі, відомих параметрах елементної бази, частоті комутації, параметрах фільтрів тощо.

5. Визначення теплового обсягу ППН V_r по співвідношенню (3).

6. Порівняння V_r з V_r і вибір мінімального – співвідношення (1).

Висновки. Запропонована методика проектування відображає логіку взаємодії окремих завдань проектування широкого класу пристроїв з імпульсним способом перетворення електричної енергії, в тому числі ППН модульної структури. Методика відображає найбільш значні етапи процесу проектування.

ЛІТЕРАТУРА

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

ЕЛЕКТРИЧНІ ПРОЦЕСИ ПІДВИЩУЮЧИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ МОДУЛЬНОЇ СТРУКТУРИ В ГРАНИЧНОМУ РЕЖИМІ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Р.Ю. Харченко¹ к.т.н., доцент.

О.В. Кочетков², к.т.н., доцент.

Т.О. Гаур², старший викладач

¹Національний університет «Одеська морська академія»

²Одеський національний морський університет

Анотація: Виконано дослідження електричних процесів у вхідному та вихідному ланцюгах перетворювачів модульної структури з однофазним та багатофазним принципами перетворення електричної енергії.

Ключові слова: перетворювачі постійної напруги, однофазний та багатофазний принципи перетворення, силові канали, пульсації

ELECTRICAL PROCESSES OF AMPLIFIERS DC VOLTAGE CONVERTERS MODULAR STRUCTURE IN THE BOUNDARY REGIME FUNCTIONING

R.Yu. Kharchenko¹, Ph.D., associate professor.

O.V. Kochetkov², Ph.D., associate professor.

T.O. Gaur², Senior teacher

¹National University «Odessa Maritime Academy»

²Odessa National Maritime University

Abstract: Researches electric processes in entrance and target chains of converters of modular structure with single-phase and multiphase principles of transformation of electric energy are executed.

Key words: dc voltage converters, single-phase and multiphase conversion principles, power supply channels, ripples.

Останніми роками сучасне суднове електронне устаткування виконує дедалі складніші завдання й потребує у процесі свого функціонування надійнішого та якісного електроживлення. Для цього на практиці широко використовуються перетворювачі постійної напруги (ППН) модульної структури побудови з імпульсним методом перетворення та регулювання електричної енергії. [1].

Для вдосконалення та підвищення ефективності ППН проведено дослідження, частину яких представлено у роботах [1, 2, 3]. Однак відсутність результатів досліджень коефіцієнтів пульсацій ППН модульної структури в граничному режимі функціонування з однофазним та багатофазним принципами перетворення стримує широке використання таких перетворювачів на практиці.

При аналізі пульсацій струмів в ППН модульної структури використовують величини розмахів змінної складової в ланцюгах споживання ΔI_{oc} , ΔI_{bc} і навантаження ΔI_{on} , ΔI_{bn} відповідно в однофазному (ОП) і багатофазному (БП) імпульсних перетворювачах. При цьому щоб виключити вплив зміни величини потужності та виявити характер зміни пульсацій у всьому діапазоні регулюван-

ня доцільно перейти до їх аналізу у відносному вигляді за допомогою коефіцієнтів пульсацій [1].

Коефіцієнти пульсацій на вході (споживання) $K_{\text{пос}}$ та $K_{\text{пбс}}$ та виході (навантаження) $K_{\text{пон}}$ і $K_{\text{пбн}}$ – відповідно для однофазного та багатofазного принципів перетворення визначаються співвідношенням:

$$\begin{aligned} K_{\text{пос}} &= \Delta I_{\text{ос}} / 2I_{\text{с}}, & K_{\text{пон}} &= \Delta I_{\text{он}} / 2I_{\text{н}} \\ K_{\text{пбс}} &= \Delta I_{\text{бс}} / 2I_{\text{с}}, & K_{\text{пбн}} &= \Delta I_{\text{бн}} / 2I_{\text{н}} \end{aligned} \quad (1)$$

За допомогою розробленого програмного забезпечення [2, 3] побудовано залежності коефіцієнтів пульсації струмів на вході та виході ОІП і БІП представлені на рис. 1.

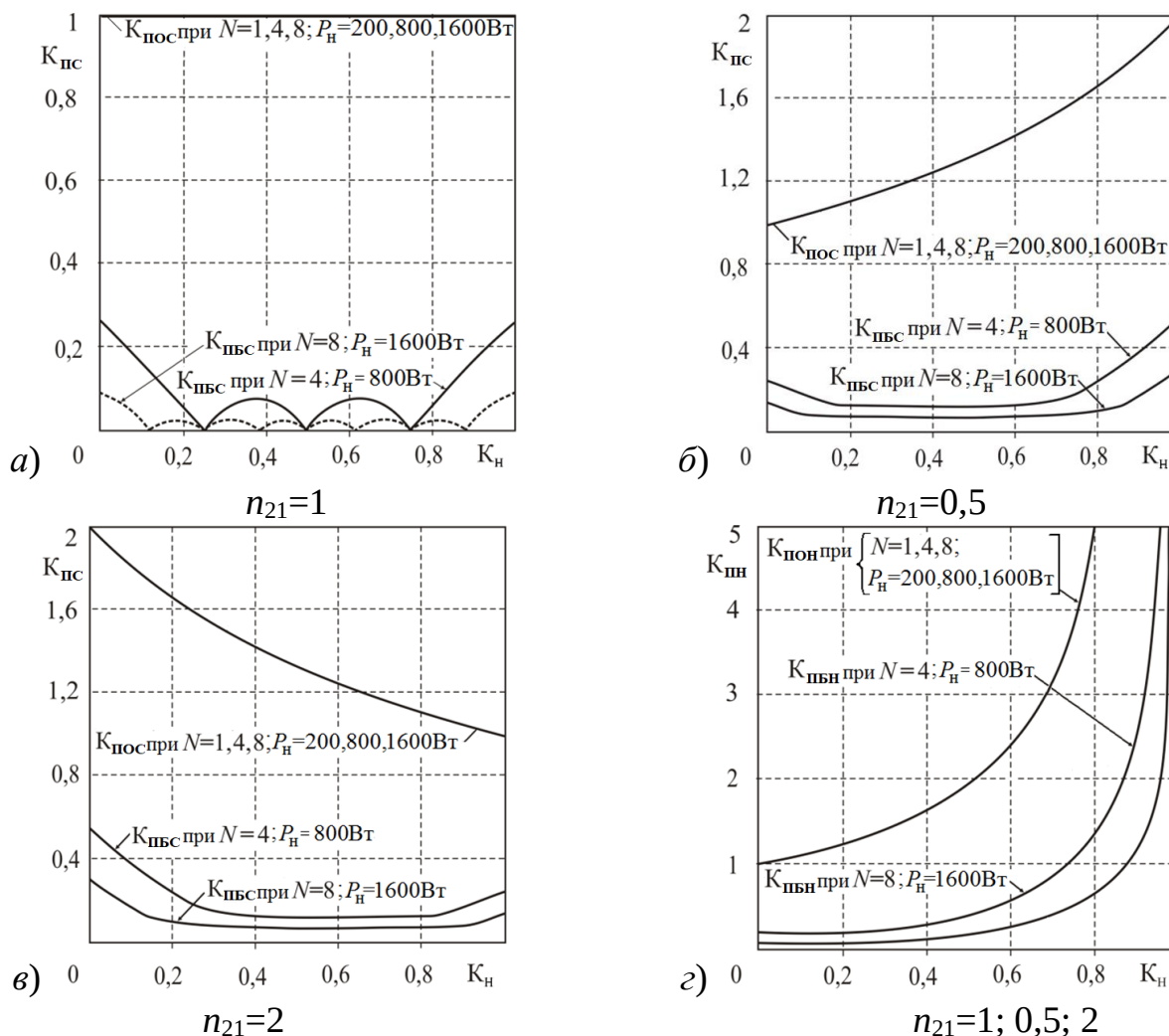


Рисунок 1 – Залежності коефіцієнтів пульсації струмів на вході $K_{\text{пос}}$ та $K_{\text{пбс}}$ та виході $K_{\text{пон}}$ та $K_{\text{пбн}}$ відповідно ОІП і БІП

З залежностей (рис. 1) випливає, що коефіцієнти пульсацій і для ОІП, і для БІП, не залежать від потужності P_n в ланцюзі навантаження, так як зі збільшен-

ням потужності P_n перетворювача пропорційно збільшуються і розмахи пульсацій струмів ΔI_{oc} , ΔI_{bc} і ΔI_{on} , ΔI_{bn} , та середні значення струмів I_c (споживання), та I_n (навантаження), відповідно на вході та виході ППН.

В ОП модульної структури коефіцієнти пульсацій на вході K_{pos} і виході K_{pon} залишаються рівними коефіцієнтам пульсації окремо взятого k -го силового каналу (СК) відповідно на вході K_{sk} і виході K_{nk} .

Висновки. В результаті проведеного аналізу зазначимо, що:

- при коефіцієнтах трансформації дроселів $n_{21} \neq 1$ коефіцієнти пульсацій на вході та при однофазному K_{ps} , і при багатофазному K_{pbs} принципах перетворення, порівняно з $n_{21} = 1$, збільшуються;

- Збільшення числа N силових каналів - СК при однофазному режимі не впливає на коефіцієнти K_{pos} , K_{pon} , а при багатофазному - призводить до зменшення K_{pbs} , K_{pbn} .

ЛІТЕРАТУРА

1. Кочетков О.В. Підвищення ефективності енергосистем суднового електричного обладнання при використанні перетворювачів напруги з імпульсним регулюванням / О.В.Кочетков // Матеріали IX міжнародної науково-технічної конференції "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика" (СЕЕА-2019) 5 – 6 листопада 2019р. – Одеса: НУ «ОМА», 2019. – С. 47–50.
2. 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. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2022-3-1>
3. Кочетков О.В., Гаур Т.О., Харченко Р.Ю. Покращення показників якості електричної енергії перетворювачів постійної напруги / Electrical and Power Engineering and Electromechanics (EPEE 2023). Odesa, Ukraine, June 15, 2023: proceedings. Odesa Military Academy, 2023. – P. 39-40.

Секція 9. АВТОМАТИЗАЦІЯ СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

УДК 621.431.74

УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ

С. І. Горб, доктор технічних наук, професор

М. І. Будуров, аспірант

В. С. Павленко, курсант

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Серед пропульсивних установок суден торговельного флоту найбільшого поширення набувають дизельні установки з електронними регуляторами частоти обертання (РЧВ), які мають розширену кількість налаштувань, у тому числі щодо реакції регуляторів на високочастотні обурення, які характерні для дизелів через циклічність робочих процесів. Це означає, що при налаштуванні електронних РЧВ необхідно враховувати циклічну складову вхідного сигналу, причому у всьому експлуатаційному діапазоні робочих процесів дизеля. У той же час відомі математичні моделі дизеля не дозволяють оптимізувати роботу системи автоматичного регулювання частоти обертання з урахуванням циклічності роботи дизелів, оскільки вхідний сигнал регулятора розраховується усередненим за робочий цикл. У зв'язку з цим поставлено та вирішено завдання удосконалення моделювання суднового дизеля з сучасними електронними РЧВ.

Ключові слова: морський транспорт; судновий дизель; двигун внутрішнього згоряння; регулятор частоти обертання; математичне моделювання.

IMPROVING SIMULATION DIESEL ENGINE MODEL AS AN OBJECT OF SPEED GOVERNING

S. Gorb, Dr. of Technical Science, Professor

M. Budurov, Postgraduate Student

V. Pavlenko, Bachelor Student

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: Among the propulsion systems of merchant fleet vessels, diesel power plants with electronic speed governors (ESGs), which have an expanded number of settings, including the response of the controllers to high-frequency disturbances, which are characteristic of diesel engines due to the cyclical nature of work processes, are becoming the most common. This means that setting up electronic ESGs the cyclic component of the input signal must be taken into account in the entire operational range of the diesel engine's work processes. At the same time, known mathematical models of a diesel engine do not allow optimizing the operation of the automatic speed control system with considering the cyclical operation of diesel engines, since the input signal of the governor is calculated as an average over the operating cycle. In this regard, the task of improving the modeling of a vessel's diesel engine with modern electronic ESGs was set and solved.

Key-words: sea transport; main engine; internal combustion engine; speed governor; mathematical modeling.

Суднові дизелі експлуатуються у складних умовах при зміні навантажень у широкому діапазоні та суттєво впливають на безпеку мореплавання. Із погляду безпеки найбільш відповідальною системою дизелів є система автоматичного регулювання частоти обертання (САРЧ). Від її роботи залежить не тільки стабільність швидкісного режиму дизеля, але і його можливості адекватно реагувати на скидання/накидання навантажень [1], періодичні коливання наванта-

ження [2], а також "провали" навантаження при хвилюванні [3] та оголенні гребного гвинта. При неправильному налаштуванні регулятора частоти обертання (РЧВ) може спрацювати граничний регулятор, що призводить до зупинки двигуна та вкрай небезпечних ситуацій у складних умовах плавання та при штормі. У наш час залишається не вирішеною проблема оптимізації електронних РЧВ у складі суднових дизельних установок [4]. Через циклічність роботи дизеля електронні РЧВ мають додаткове налаштування стосовно реакції на високочастотні обурення. Це означає, що при налаштуванні електронних РЧВ необхідно враховувати циклічну складову вхідного сигналу, причому у всьому експлуатаційному діапазоні робочих процесів дизеля. Нехтування цим параметром може призвести до серйозного погіршення роботи дизельної установки через незадовільну роботу САРЧ, особливо за складних погодних умов та на маневрених режимах [5].

Відомі математичні моделі дизеля [6 – 10] не дозволяють оптимізувати роботу САРЧ з урахуванням циклічності роботи дизелів, оскільки вхідний сигнал регулятора розраховується усередненим за робочий цикл. Тому врахування цього фактора при моделюванні суднового дизеля з сучасним електронним РЧВ є необхідною умовою для покращення роботи суднової дизельної установки.

Мета дослідження – удосконалення моделювання суднового дизеля як об'єкта регулювання частоти обертання для точного відтворення змін частоти обертання багатоциліндрового дизеля у межах робочого циклу.

Дослідження виконане для головного двигуна (ГД) HYUNDAI-MAN B&W 6S60MC-C7 великотоннажного танкеру «CATALAN SEA» компанії Eastern Pacific Shipping Pte. Ltd. Цей двигун розвиває номінальну потужність 13560 кВт і номінальну частоту обертання 105 хв^{-1} , є крейцкопфним, шестициліндровим, реверсивним. Має систему наддування при постійному тиску, яку забезпечує турбонагнітач Hyundai-ABB TPL80B12. Оснащений електронною системою управління Nabtesco, яка складається з системи дистанційного автоматичного керування типу М-800-III, електронного РЧВ типу MG-800 та системи захисту. Номінальний момент, який розвиває двигун, – $1,721 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Індикаторний тиск вимірювався за допомогою переносної діагностичної станції DOCTOR DK-2 фірми ICON RESEARCH. У табл. 1 наведені експериментальні показники робочих процесів ГД [11] на режимах роботи 25; 50; 75 і 100 % потужності.

Структурна схема моделі електронного РЧВ, яка деталізована до всіх параметрів налаштування регулятора та враховує динамічні властивості його елементів, а також описання роботи САРЧ приведена в роботі [12]. На рис. 1 показана удосконалена модель САРЧ суднового дизеля HYUNDAI MAN B&W 6S60MC-C7 з електронним регулятором NABTESCO MG-800, в якій доданий блок 31 обліку циклічності роботи дизеля. Він відтворює циклову нестабіль-

ність обертаючого моменту, яка призводить до нестабільності вхідного сигналу РЧВ.

Таблиця 1 – Експериментальні показники робочих процесів ГД HYUNDAI-MAN B&W 6S60MC-C7 на чотирьох навантажувальних режимах

№ п/п	Показник	100 %	75 %	50 %	25 %
1	Частота обертання валу ГД, хв^{-1}	105,0	95,4	83,3	66,1
2	Хід рейки паливних насосів, мм	91	75	62	46
3	Частота обертання турбоагнітача, хв^{-1}	13670	12114	10259	6668
4	Тиск повітря наддування, бар	2,89	2,09	1,34	0,51
5	Температура повітря перед холодильником, $^{\circ}\text{C}$	202	168	126	68
6	Температура повітря після холодильника, $^{\circ}\text{C}$	38	34	31	32
7	Перепад тиску на повітряному холодильнику, мм вод. ст.	242	210	165	99
8	Температура газів перед турбіною, $^{\circ}\text{C}$	443	400	373	280
9	Температура газів за турбіною, $^{\circ}\text{C}$	246	235	249	263
10	Максимальний тиск у циліндрі № 6, кгс/см^2	150	135	105	76
11	Температура газів на виході із циліндра, $^{\circ}\text{C}$	№ 1	378	340	322
		№ 2	360	325	320
		№ 3	369	330	327
		№ 4	371	330	316
		№ 5	366	340	327
		№ 6	380	343	340

У блок 31 надходять наступні вхідні сигнали:

змінний з часом керуючий сигнал величини паливоподачі;

постійний для досліджуваного режиму роботи дизеля сигнал значення кута випередження упорскування палива;

циклічно-змінний сигнал кута повороту колінчастого валу дизеля, який змінюється з часом у діапазоні, що характерний для двотактного двигуна, пропорційно кутовій швидкості обертання валу.

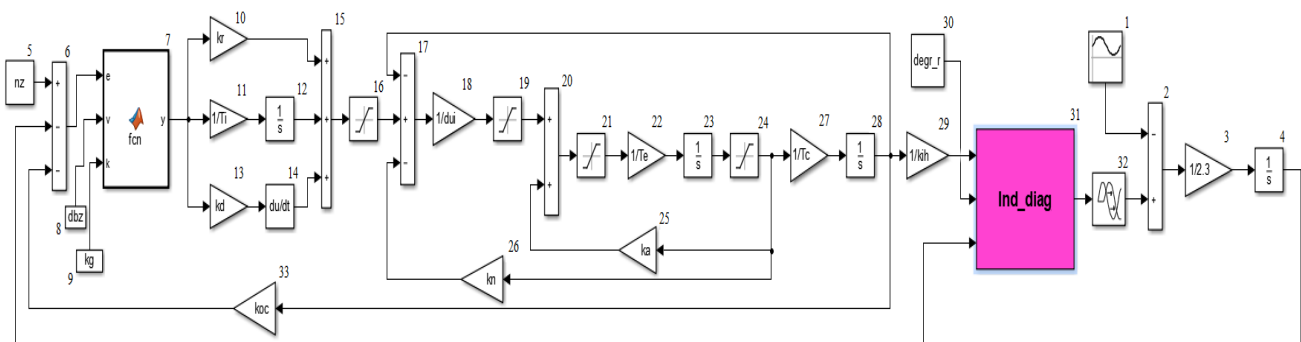


Рисунок 1 – Удосконалена модель САПЧ суднового дизеля HYUNDAI MAN B&W 6S60MC-C7 з електронним регулятором NABTESCO MG-800

Особливості розробленої моделі полягають у наступному:

у моделі кожного з циліндрів відтворена циклічна зміна з часом величини кута повороту колінчастого валу в діапазоні -180^0 пкв ... $+180^0$ пкв ;

водночас паралельно врахована дискретна зміна величини паливоподачі для кутів, що відповідають значенням кута випередження упорскування шляхом програмування у рамках блоків *Matlab fcn*;

у моделі кожного із циліндрів проведено розрахунок зсунутих індикаторних діаграм, кожна з яких формувалася як набір відповідних сполучених політроп, в залежності від зміни кута повороту колінчастого валу дизеля, шляхом програмування в рамках блоків *Matlab fcn*;

розрахована зміна індикаторного моменту кожного із циліндрів двигуна в функції кута повороту кривошипно-шатунного механізму та величини паливоподачі у циліндр як наслідок зміни тиску в межах робочого циклу;

розраховані індикаторні моменти, отримані на виході кожного із циліндрів, утворюють у моделі сумарний індикаторний момент дизеля шляхом звичайного алгебраїчного підсумовування і нормування його на одиницю з метою подальшого розрахунку перехідних процесів у відносних одиницях;

досягнуто відтворення з великою точністю зміни частоти обертання багатопциліндрового дизеля як у межах робочого циклу, так і за рахунок зміни паливоподачі у дизель в широкому діапазоні частоти обертання та навантаження.

Дослідження проводилося з наступними параметрами збурюючого впливу: період збурювальної дії 7,9 с; амплітуда 0,1 відн. од.; середнє значення (математичне очікування) 1 відн. од. На рис.2 представлені графіки перехідних процесів з і без розробленого блоку при номінальній частоті обертання ($n_z = 1$ відн. од.).

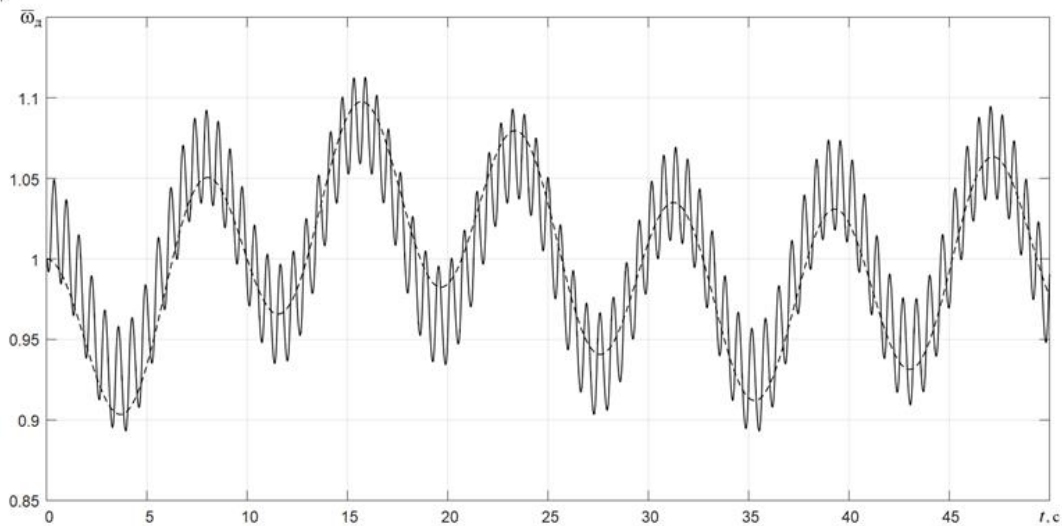


Рисунок 2 – Перехідні процеси при $n_z = 1$ відн. од. із параметрами налаштування $kr = 1,7$ відн. од., $Ti = 2,5$ с: "—" з використанням блоку 31; "---" без використання блоку 31

Графіки на режимах роботи 25; 50 і 75 % потужності ГД мають аналогічний характер. На рис.2 спостерігається вплив роботи кожного із циліндрів на індикаторний момент дизеля, якій викликає появу високочастотних осциляцій

частоти обертання як наслідок циклічності роботи дизелю. Це, в свою чергу, надає можливість враховувати при оптимізації об'єкту регулювання циклову нестабільність обертаючого моменту. Така пульсація призводить до нестабільності вхідного сигналу, що надходить на РЧВ.

Висновки.

Удосконалена математична модель судового двохтактного дизеля з сучасними електронним РЧВ дозволяє оптимізувати роботу САРЧ з урахуванням циклічності роботи дизелів, оскільки вхідний сигнал регулятора розраховується неусередненим за робочий цикл.

У наступному дослідженні планується проаналізувати зміну моменту при постійній подачі палива за один цикл з урахуванням моментів від інших циліндрів у чотиритактного дизеля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Gorb, S., Popovskii, A., Budurov, M. ADJUSTMENT OF SPEED GOVERNOR FOR MARINE DIESEL GENERATOR ENGINE. // *International Journal of GEOMATE*. – 2023. – Vol. 25. – № 109. – P. 125 – 132. <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/4055>
2. Kharroubi, F., Fertat, M., El Hassani, S., Ouahmane, H. Design, Simulation and Control of a Marine Ship Model's Diesel Engine using Python and Matlab/Simulink. // *Manufacturing Technology Journal*. – 2021. – Vol. 21. – № 4. – P. 483 – 491. doi: 10.21062/mft.2021.059
3. Горб С.И. Математическая модель и анализ динамики гидромеханического регулятора частоты вращения. // *Двигателестроение*. – 1988. – № 2. – С. 31 – 33.
4. Kyrtatos, A.; Spahni, M.; Hensel, S.; Züger, R.; Sudwoj, G. The Development of the Modern Low-Speed Two-Stroke Marine Diesel Engine. In *Proceedings of the 28th CIMAC World Congress*, Helsinki, Finland, 6 – 10 June 2016.
5. Q. Jing, K.Sasa, C. Chen, Y. Yin, H.Yasukawa, D. Terada. Analysis of ship maneuvering difficulties under severe weather based on onboard measurements and realistic simulation of ocean environment. // *Ocean Engineering*. – 2021. – Vol. 221. – № 10. – P. 1 – 13. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108524>
6. Eriksson L. Modeling and Control of Turbocharged SI and DI engines. // *Oil & Gas Science and Technology - Revue de l'IFP*. – 2007. – Vol. 62. – № 4. – P. 523 – 538. DOI:10.2516/ogst:2007042
7. Alberer, D. and Re, L. Optimization of the transient Diesel engine operation. // *SAE Technical Paper* 2009-24-0113. – 2009. – P. 1 – 9. <https://doi.org/10.4271/2009-24-0113>
8. Mrzljak, V.; Medica, V.; Bukovac, O. Simulation of a two-stroke slow speed diesel engine using a quasi-dimensional model. // *Transactions of Famena*. – 2016. – Vol. 40. – P. 35 – 44. DOI:10.21278/TOF.40203
9. Altosole, M.; Campora, U.; Figari, M.; Laviola, M.; Martelli, M. A diesel engine modelling approach for ship propulsion real-time simulators. // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 7(5). – № 138. – P. 1 – 19. <https://doi.org/10.3390/jmse7050138>
10. Acanfora, M.; Altosole, M.; Balsamo, F.; Micoli, L.; Campora, U. Simulation Modeling of a Ship Propulsion System in Waves for Control Purposes. // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10(1). – № 36. – P. 1 – 14. <https://doi.org/10.3390/jmse10010036>
11. Shop Test Result for Main Engine HYUNDAI-MAN B&W 6S60MC-C7, Doc. No.: K630-IR11A-5984. // *HHI-EMD*. – 2011. – 18 p.
12. Gorb, S., Levinskyi, M., Budurov, M. Sensitivity Optimisation of a Main Marine Diesel Engine Electronic Speed Governor. // *Scientific Horizons*. – 2021. – Vol. 24. – № 11. – P. 9 – 19. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(11\).2021.9-19](https://doi.org/10.48077/scihor.24(11).2021.9-19)

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ
ОКЕАНОГРАФІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ****А.К. Сандлер**, к.т.н., доцент**В.В. Шепель**, старший викладач**Д.О. Германчук**, здобувач вищої освіти бакалаврського рівня
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. Для побудови системи ефективного використання ресурсів Світового океану необхідно забезпечити не тільки відповідний рівень екологічної безпеки, але й суттєво збільшити можливості моніторингу океанської біосфери. Існуючі засоби морського моніторингу та вимірювань біофізичних параметрів за технічними характеристиками не повною мірою відповідають згаданим задачам. Запропоновано нове схемотехнічне рішення автоматизованої системи для здійснення океанографічних досліджень. У розробленій системі запропоновано застосування батометру двокорпусної схеми та волоконно-оптичних технологій. Застосування системи, що пропонується, дозволить у цілому сприяти суттєвому збільшенню кількісних показників екологічної безпеки морської флори та фауни.

Ключові слова: океан, вимірювання, батометр

AUTOMATED SYSTEM FOR ACHIEVEMENT OF OCEANOGRAPHIC RESEARCH**A.K.Sandler**, PhD, associate professor**V.V. Shepel**, senior lecturer**D.O. Hermanchuk**, holder of higher education at the bachelor's level
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. In order to build a system of efficient use of the resources of the World Ocean, it is necessary to ensure not only the appropriate level of environmental safety, but also to significantly increase the possibilities of monitoring the ocean biosphere. The existing means of marine monitoring and measurements of biophysical parameters by technical characteristics do not fully meet the mentioned tasks. A new schematic solution of an automated system for carrying out oceanographic research is proposed. In the developed system, the use of a two-body scheme bathometer and fiber-optic technologies is proposed. The application of the proposed system will, in general, contribute to a significant increase in the quantitative indicators of the ecological safety of marine flora and fauna.

Key words: ocean, measurement, bathometer

Світовий океан, що таїть у своїх надрах величезні запаси харчових і мінеральних ресурсів, стає в цей час сферою глобальних життєвих інтересів людства. В океанах і морях добувається більш 20 % тваринних білків, уживаних у їжу населенням планети. Більш 30% світового видобутку вуглеводнів зосереджене в шельфових зонах океану. Поряд з нафтою й газом на промисловий рівень виїшов видобуток деяких рідких корисних копалин.

Економічні аспекти освоєння океану вимагають інтенсивного розвитку сировинної й енергетичної бази, і вивчення Світового океану як найбільш перспективного джерела, стає першочерговим завданням.

Основним напрямком фундаментальних океанологічних досліджень Світового океану є створення багатофакторної термогідродинамічної моделі взаємодії океану й атмосфери. Розробка цієї моделі дозволить більш повно досліджувати динамічні процеси в океані у всьому діапазоні їх мінливості від систем

океанічних плинів до дрібномасштабних явищ, а також створити методи довгострокових прогнозів погоди й морських біоресурсів.

У цей час існує розуміння істотної динамічної мінливості океану. Флуктуації параметрів океанічного середовища сполучені зі змінами переносу тепла інтенсивними течіями типу Гольфстрім, положень осей плинів і фронтальних зон, утвору рингів і генерації океанічних вихорів, змінами біосфери морів і океанів (рис. 1).

Більші орбітальні швидкості й вертикальні розміри вихорів у глибинах океану, у порівнянні із глибиною океану, впливають на механізм перерозподілу теплової й механічної енергії в глобальних масштабах. Результати досліджень в області океанічних вихорів виявили значний вплив на всі розділи фундаментальної й прикладної океанології. У тому числі, показали, що подальший розвиток експериментальних досліджень можливий тільки при суттєвому збільшенні обсягу моніторингу гідробіофізичних параметрів у всьому діапазоні просторово-тимчасових масштабів їх мінливості.

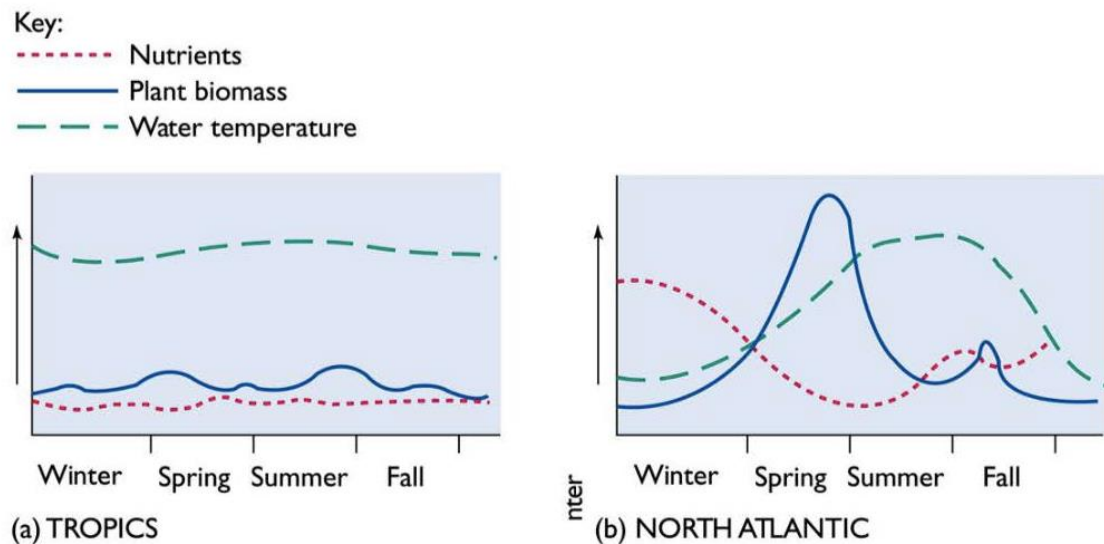


Рисунок 1 – Вплив температури на функціонування океанічних екосистем

У той же час сформувався запит практики океанографії на створення спеціального якісно нового обладнання для збору експериментальних матеріалів. Для одержання необхідної інформації потрібне значна кількість інформаційно-вимірювальних систем, що дозволяють контролювати швидкості й напрямки течій, мінливість температурного поля океану і його біосфери, параметри приводного шару атмосфери, тобто рішення цієї науково-технічної проблеми вимагає істотного збільшення обсягу контрольованих параметрів океану.

Супутниковий моніторинг клімату океану достатньо ефективний для виміру характеристик великомасштабної мінливості, тому що при цьому потрібно від апаратури дистанційного зондування надвисокий просторовий дозвіл, і обсяги одержуваної інформації виявляються відповідними до можливостей обчислювальної техніки. Однак супутникові системи потребують постійного калібрування за інформацією, отриманої при вимірі параметрів середовища контактними методами. Звідси випливає висновок, що проведення

досліджень океану з використанням супутникових вимірів вимагає кількісного та якісного збільшення експериментальних даних, отриманих контактними способами.

Значну роль у отриманні даних контактними способами відіграють вимірювання за допомогою батометрів. Проби води з різних глибин беруться на всіх гідрологічних станціях для визначення фізичних і хімічних властивостей (солоності, щільності, електропровідності, радіоактивності, оптичних характеристик і ін.) і для дослідження, що міститься у воді в розчиненому або у зваженому стані неорганічних і органічних речовин, та газів, а також речовин, що забруднюють воду.

Мета й методи подальшого дослідження обумовлюють способи одержання проб і їх зберігання. Однак основною й загальною вимогою є одержання проби точно із заданого об'єкту й запобігання їй від перемішування з водою інших шарів, від випару й від хімічного впливу приладу, яким набирають пробу, і посуду, у якому вона буде зберігатися.

Світовими виробниками, лідером серед яких є фірма "Global Oceanics", налагоджений випуск клапанних батометрів Нискіна, якому для спрацювання не потрібно перевертатися. Суттєву економію часу забортних робіт дає використання так званої "розети" (multi-bottle sampling array), коли батометри (від 12 до 24 шт.) збираються в єдиний комплекс, обладнаний пусковим пристроєм (рис. 2).

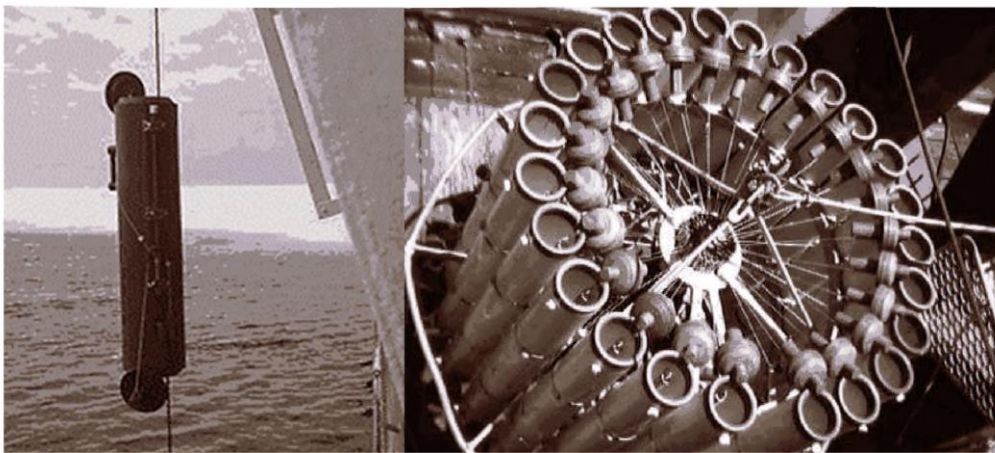


Рисунок 2 – Одиночний батометр Нискіна на тросі та "розета"

При цьому в спеціальну оправу на корпусі батометра можуть бути поміщені глибоководні термометри, які одночасно зі зняттям проб дозволяють фіксувати температуру води на цьому ж горизонті.

Зараз випускається кілька моделей батометричних секцій, що представляють собою металеву конструкцію з розміщеними на ній вимірниками. У їх число, як правило, входять: ctd-зонди, різні датчики (гідрофізичні, гідрохімічні), вимірники швидкості плину, а також ємності для відбору проб води на різних глибинах, з відповідними пристроями, що запускають.

Відомий батометр, що містить циліндричний корпус з вушками, в яких виконані отвори для осей, дві рухливі кришки, що притискаються до торців корпусу, запірно-пусковий пристрій, два канати, один з яких забезпечує мож-

ливість одночасного відкривання двох кришок, інший канат забезпечує можливість опускання і підйому батометра. Циліндричний корпус за рахунок зміщення центру ваги батометра вниз і симетричного розташування кожної однакової пари його елементів щодо середини циліндричної частини корпусу розташований горизонтально і забезпечений однаковими вантажами, закріпленими на його циліндричній поверхні на однаковій відстані відносно її середини, при цьому маса цих вантажів у сумі не менше маси рідини, якою заповнюється циліндрична ємність батометра. Пристрій забезпечує відбір проби рідини з місця його фіксації на певній глибині і виключає попадання забрудненої рідини з верхніх шарів [1].

Недоліком цього пристрою є складна конструкція і те, що він не дозволяє здійснювати дистанційну реєстрацію екологічного стану, зокрема - стану евтрофікації, досліджуваного водного середовища, бо реєстрація параметрів досліджуваного водного середовища можлива лише після підйому батометра вантажним пристроєм або в ручну на поверхню.

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до винаходу, що пропонується, є батометр, який має корпус з прозорого пластику з напівсферичною носовою частиною і плоско зрізаною кормовою частиною, що закривається кришкою з отвором, до корпусу знизу жорстко приєднані грузила, а зверху встановлені два плавники-стабілізатори. У відповідному водонепроникному відсіку корпусу міститься жорстко закріплений вкладиш з біоматеріалом. Для утримання пристрою на тому місці, де здійснюється вимірювання, є тросик з якорем (рис. 3) [2].

Недоліки цього пристрою полягають у тому що:

можливо здійснення вимірювань лише у поверхневому шарі водної поверхні;

складно диферентувати пристрій грузилами;

можливо зачеплення якорем за предметі на дні;

необхідно точно визначити глибини водоймища для завдання довжини тросу якоря.

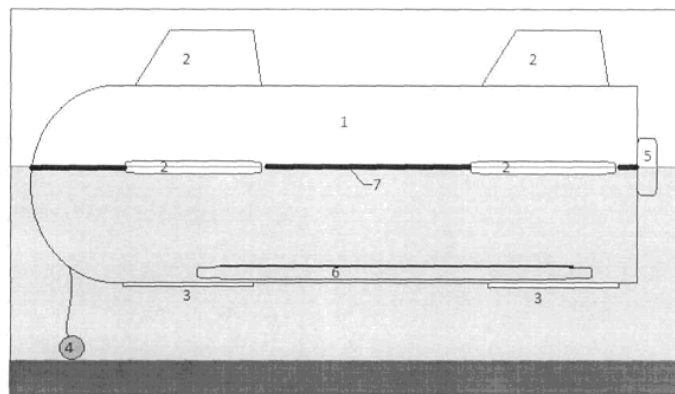


Рисунок 3 – Батометр з плавниками: 1 – корпус-контейнер; 2 – плавники-стабілізатори; 3 – грузила; 4 – якор; 5 – отвір; 6 – пластинка; 7 – вісь

Задачею корисної моделі, що пропонується, є створення пристрою, який дозволяє здійснювати дистанційну реєстрацію стану евтрофікації водного середовища шляхом використання ефекту зміни колориметричних параметрів біоматеріалу, який контактує з досліджуваною водою, з любым часом перебування на глибині, що задана та передбачена можливість автоматичного підйому на поверхню для цифрового фотографування пластинки з подальшим комп'ютерним аналізом колориметричних параметрів світлин.

Поставлена задача вирішується тим, що батометр, що містить циліндричний корпус з отворами для рідини та жорстко закріплений вкладиш з біоматеріалом у відповідному відсіку корпусу, який відрізняється тим, що корпус складається з двох коаксіальних корпусів, які сполучаються через ущільнення та мають змогу зсуватися у аксіальному напрямку. У первинному корпусі містяться п'єзоелектричний гідростат, сполучений з кільцеподібним п'єзоелектричним актуатором, плата управління та гайдроп. У вторинному корпусі, що має торець з прозорого матеріалу, міститься водопроникнений відсік з вкладишем з біоматеріалу.

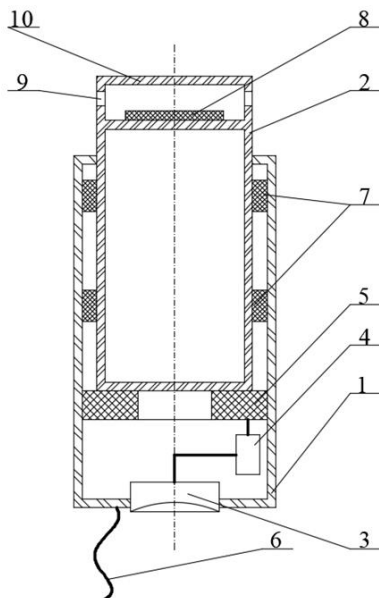


Рисунок 4 – Батометр двокорпусний: 1 – первинний корпус; 2 – вторинний корпус; 3 – п'єзоелектричний гідростат; 4 – плата управління; 5 – кільцеподібний п'єзоелектричний актуатор; 6 – гайдроп; 7 – ущільнення; 8 – вкладиш з біоматеріалу; 9 – отвори у водопроникненому відсіку; 10 – торець вторинного корпусу з прозорого матеріалу.

Суть запропонованого схематехнічного рішення пояснюється кресленням (рис. 4), де зображені коаксіально розташовані первинний 1 та вторинний корпуси 2 пристрою, між якими містяться ущільнення 7. У донній частині первинного корпусу розташований п'єзоелектричний гідростат 3 та гайдроп 6. У порожнині первинного корпусу міститься плата управління та наборний кільцеподібний п'єзоелектричний актуатор 5, який закріплений на поверхні первинного корпусу та має контакт зі вторинним. У верхній частині вторинного корпусу мають отвори 9 для проникнення рідини у водопроникнений відсік у якому закріплений вкладиш з біоматеріалу 8.

Відсік має торець з прозорого матеріалу 10. Первинний та вторинний корпуси мають змогу зсуватися один відносно іншого у аксіальному напрямку за допомогою кільцеподібного п'єзоелектричного актуатора, який керується за допомогою плати управління 4. Сигнал та живлення до плати надходять від п'єзоелектричного гідростату, який працює у генераторному режимі. Після завдання величини глибини гідростат занурюється у водоймище. Загальний обсяг двох корпусів забезпечує плавучість на заданій глибині, а

гайдроп стабілізує просторову орієнтацію пристрою [3, 4]. При зміні величини плавучості приладу у гідростаті генерується відповідний сигнал, який використовується для зсуву кільцеподібним наборним п'єзоелектричним актуатором у

аксіальному напрямку первинного і вторинного корпусів, в наслідок чого, змінюється загальний об'єм корпусів. Після чого відбувається корегування глибини занурення.

Після потрапляння досліджуваної води через отвори до водонепроникного відсіку, і контакту води з біоплівкою на частині поверхні вкладиша, наявні у воді такі фактори евтрофікації як біогенні елементи сприяють зміні складу рослинних пігментів на поверхні вкладишу. Для забезпечення нейтральності до біоматеріалів пластину доцільно виконувати зі штучного сапфірового скла [5, 6]. Ці зміни складу рослинних пігментів тягнуть за собою зміни колориметричних параметрів оброслої водоростями частини поверхні вкладиша, на які накладаються також зміни колориметричних параметрів шару води поблизу пластинки. Сумарний ефект цих змін фіксується будь-яким дистанційним методом, наприклад, цифровою фотографією. Зміни колориметричних параметрів вільної від біоплівки частини поверхні вкладиша, що вони відбивають окремо зміни тільки колориметричних параметрів шару води з фітопланктоном, фіксуються тими ж дистанційними методами окремо. Таким чином пристрій дозволяє відокремити колориметричних параметри фітопланктону, який має розвиток у воді, від фітобентосу і фітоперифітону, які розвиваються на оброслій водоростями частині пластинки. За результатами математичної обробки згаданих вимірів колориметричних параметрів визначається стан евтрофікації водного середовища [7, 8].

Після виконання вимірювань плата управління генерує сигнал, який вимушує п'єзоелектричний актуатор висувати вторинний корпус на максимальну відстань. Тим самим забезпечується автоматичний підйом на поверхню для цифрового фотографування пластинки з подальшим комп'ютерним аналізом колориметричних параметрів світлин.

Технічний ефект досягається завдяки тому, що комбінація двох коаксіальних корпусів, гідростата та плати управління забезпечує:

- точне перебування на заданій глибині вимірювання;
- дистанційну реєстрацію стану евтрофікації водного середовища шляхом використання ефекту зміни колориметричних параметрів біоматеріалу;
- автоматичний підйом на поверхню для цифрового фотографування пластинки з подальшим комп'ютерним аналізом колориметричних параметрів світлин.

Використання розробленого пристрою дозволить адекватно та достовірно оцінювати кількісні колориметричні параметри фітопланктону.

ЛІТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 2119652. МПК G01N 1/10. Батометр/ Я. М. Латышев; заявитель и патентообладатель Я. М. Латышев. – заявл. 16.07.1997. – опубл. 27.09.1998.
2. Патент України № 102719U. МПК G01N 1/10 (2006.01). Батометр/ І. М. Берешко, Ю. Г. Беспалов, О. В. Бетін, О. В. Висоцька, Г. М. Жолткевич, К. В. Носов, А. І. Печерська; заявник та володар патенту Харківський національний університет радіоелектроніки. – u201506073. – заявл. 18.06.2015. – опубл. 10.11.2015, бюл. № 21. – 5 с.
3. Морозов, К. В. Минно-торпедное оружие. – М.: ДОСААФ, 1974. – 97 с.
4. Диомидов, М. Н., Дмитриев, А. Н. Покорение глубин. – Л.: Судостроение, 1969. – 384 с.

5. Сандлер, А. К., Логишев, И. В., Сандлер, А. А. Инвариантный волоконный акселерометр // Энергетика судна: эксплуатация та ремонт: матеріали науково-технічної конференції. – Одеса: ОНМА. – 2011. – С. 277-279.

6. 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.

7. Беспалов, Ю. Г., Дереча, Л. Н., Жолткевич, Г. Н., Носов, К. В. Дискретная модель системы с отрицательными обратными связями // Вестник Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина. Серия "Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизация систем управления". – 2008. – № 833. – С. 27-38.

8. Патент України № 88189. МПК G01N33/00. Спосіб діагностики екологічного стану водної екосистеми/ О. В. Висоцька, А. П. Порван, Ю. Г. Беспалов, Г. М. Жолткевич, К. В. Носов, А. Ю. Утевський, В. М. Кобрін; заявник та володар патенту Харківський національний університет радіоелектроніки. – u201308232. – опубл. 11.03.2014, бюл. № 5. – 3 с.

УДК 681.586.5

ВОЛОКОННА ОПТИКА У ХОЛОДИЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ

А.К. Сандлер, к.т.н., доцент

О.Ю. Карпілов, старший викладач

В.В. Олійник, здобувач вищої освіти бакалаврського рівня

Національний університет Одеська морська академія

Анотація. Аналіз відомих рішень доводить, що для впровадження у інформаційно-вимірювальних системах сучасних складних технологічних об'єктів вже затребувані нові засоби вимірювальної техніки на основі волоконно-оптичних технологій, а саме – нечутливі до більшості експлуатаційних дестабілізуючих факторів розподілені волоконно-оптичні датчики. Саме застосування таких засобів вимірювання у реальні системи та установки дозволить значним чином вдосконалити їх характеристики та робочі процеси. Запропоновано застосування розподіленого волоконно-оптичного датчика у системі автоматизованого управління судновою холодильною установкою.

Ключові слова: волоконно-оптичний датчик, холодильна установка, регулювання

FIBER OPTICS IN REFRIGERATION EQUIPMENT

A. K. Sandler, Ph.D., associate professor

O. Y. Karpilov, senior lecturer

V. V. Oliynyk, holder of higher education at the bachelor's level

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The analysis of known solutions proves that new means of measuring technology based on fiber-optic technologies are already in demand for implementation in the information and measurement systems of modern complex technological objects, namely, distributed fiber-optic sensors that are insensitive to most operational destabilizing factors. It is the application of such measuring tools in real systems and installations that will significantly improve their characteristics and work processes. The application of a distributed fiber-optic sensor in the automated control system of a ship's refrigeration unit is proposed.

Key words: fiber optic sensor, refrigeration unit, adjustment

Волоконно-оптичні вимірювальні технології фізичних параметрів є однією

з областей прикладної оптики що найбільше динамічно розвивається. Волоконно-оптичні датчики (ВОД) мають малу вагу й розмір, не потребують електричного живлення у вимірювальному тракті, інваріантні до електромагнітних перешкод і впливу агресивних середовищ. ВОД дозволяють, завдяки можливості мультиплексування, створювати розподілені інформаційно-вимірювальні системи (ІВС). Унікальні властивості ВОД створили передумови для їх широкого застосування у рішенні широкого спектру наукових і практичних завдань, у яких необхідно контролювати температуру, деформації й інші параметри енергетичних об'єктів.

В наш час найпоширеніший тип крапкових ВОД заснований на використанні волоконних брегівських ґрат (ВБГ) у якості перетворювача вимірюваного впливу в оптичний сигнал. Оскільки розміри стандартних ВБГ малі (не більш сантиметра), такий ВОД вимірює значення температури (або деформації) тільки в тій крапці оптичного волокна, де перебуває ВБГ. Для виміру в декількох крапках формуються у світловоді декілька ВБГ. З урахуванням втрат світла, кількість ВБГ в одній волоконній лінії може становити ~ 100 . На відміну від крапкових, у розподілених ВОД у якості чутливого середовища використовується вся довжина світловода. У якості оптичного сигналу, що реєструється, використовується потужність розсіяного випромінювання, а метод оптичної тимчасовий рефлектометрії дозволяє вимірювати розподіл зовнішнього впливу уздовж світловоду. ІВС, засновані на розсіюванні, можуть поступатися розподіленим системам на основі великої кількості крапкових ВБГ-датчиків за чутливістю, однак переважають їх за просторовою безперервністю вимірюваного параметра.

Але аналіз відомих рішень доводить, що для впровадження у ІВС сучасних складних технологічних об'єктів вже затребувані нові засоби вимірювальної техніки на основі волоконно-оптичних технологій, а саме – нечутливі до більшості експлуатаційних дестабілізуючих факторів (ДФ) розподілені ВОД. Саме застосування таких засобів вимірювання у реальні системи та установки дозволить значним чином вдосконалити їх характеристики та робочі процеси [1 -3].

Відома система регулювання тиску конденсації, який містить насос, клапан подачі охолоджувальної води, конденсатор, регулятор та датчик тиску конденсації [4].

Використання такої системи регулювання тиску конденсації не враховує можливості підвищення енергоефективності холодильної установки при зниженні температури (тиску) конденсації, що є його суттєвим недоліком.

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до винаходу, що пропонується є система регулювання тиску конденсації, який містить насос, клапан подачі охолоджувальної води, конденсатор, регулятор, логічний пристрій, перемикач та датчик тиску конденсації [5].

Використання такої системи регулювання тиску конденсації не враховує такі експлуатаційні фактори як температура охолоджувальної води на вході до системи та ступінь забруднення поверхонь конденсатора, що є недостатнім для

забезпечення достатнього рівня енергоефективності суднової холодильної установки.

Задачею ефективного застосування розподіленого ВОД є створення системи регулювання тиску конденсації суднової холодильної установки, яка забезпечить, при мінімальних витратах, підвищення енергоефективності суднової холодильної установки, та у якій одночасно збережені надійність та простота схемотехнічних рішень систем регулювання відомих типів.

Поставлена задача вирішується тим, що система регулювання тиску конденсації суднової холодильної установки, що містить насос, клапан подачі охолоджувальної води, конденсатор, датчик тиску конденсації, перемикач, регулятор, логічний пристрій та яка відрізняється тим, що в коло зворотного зв'язку включений трикомпонентний розподілений волоконно-оптичний датчик для контролю температури охолоджувальної води, тиску охолоджувальної води за конденсатором та тиску конденсації.

Суть системи пояснюється кресленням (рис.1), де приведено структурну схему запропонованої системи, яка працює в режимі відхилень.

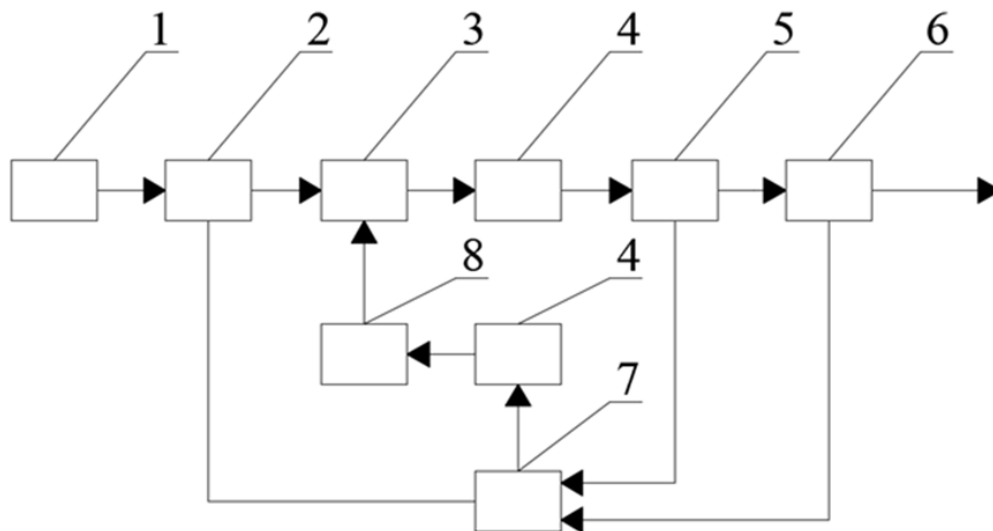


Рис. 1. Система регулювання тиску конденсації суднової холодильної установки: 1 – насос; 2 – розподілений волоконно-оптичний датчик (компонента вимірювання температури охолоджувальної води); 3 – клапан подачі охолоджувальної води; 4 – конденсатор; 5 – розподілений волоконно-оптичний датчик (компонента вимірювання тиску охолоджувальної води за конденсатором); 6 – розподілений волоконно-оптичний датчик (компонента вимірювання тиску конденсації); 7 – логічний блок; 8 – перемикач; 9 – регулятор

У контур охолодження суднової холодильної установки насосом 1 подається охолоджувальна вода, яка через розподілений волоконно-оптичний датчик (компонента вимірювання температури охолоджувальної води) 2 та клапан подачі охолоджувальної води 3 надходить у конденсатор 4. На виході з конденсатора параметри робочої рідини, а саме тиск охолоджувальної води та тиск конденсації вимірюються розподіленим волоконно-оптичним датчиком (компонента вимірювання тиску охолоджувальної води за конденсатором 5) та розподіленим волоконно-оптичним датчиком (компонента вимірювання тиску конденсації 6). Трикомпонентний волоконно-оптичний датчик являє собою

єдиний світловод, з різних ділянок якого отримують результати відповідних вимірювань [6-8]. Від елементів системи 2, 5 та 6 сигнали надходять до логічного блоку 7. У блоці 7 виробляється керуючий сигнал для перемикача 8 та регулятора 9, що сполучений з клапаном подачі охолоджувальної води 3.

Данна система регулювання тиску конденсації припускає відключення кола зворотного зв'язку за тиском конденсації. При такому включенні регулятор 6 буде реагувати лише на позитивні відхилення тиску конденсації відносно заданого значення тиску, тобто на позитивні збурювання.

Якщо тиск конденсації буде менше заданого тиску, то логічний пристрій 7 за допомогою перемикача 8 розриває коло зворотного зв'язку. Положення перемикача 8 визначається вихідним сигналом логічного пристрою, який в свою чергу визначається значенням тиску конденсації. Параметри охолоджувальної води (тиск перед клапаном) та величини забруднення поверхонь конденсатора (тиск за конденсатором), опрацьовані у логічному блоці будуть впливати на величину та швидкість відкриття/закриття клапана подачі охолоджувальної води.

Найбільш ефективна робота пропонованої системи у таких випадках, коли суднова холодильна установка працює у режимах суттєвих теплових навантажень, що значно відрізняються від розрахункових режимів.

При використанні пропонованої системи час перехідного процесу й ступінь коливальності тиску конденсації значно зменшуються. Також знижується і частота коливань тиску.

Технічний ефект досягається завдяки тому, що застосування розподіленого волоконно-оптичного датчика забезпечує:

- інваріантність результатів вимірювання до впливу дестабілізуючих факторів;
- врахування у процесі регулювання дійсних параметрів охолоджувальної води та забруднення поверхонь конденсатора;
- значне зменшення часу перехідного процесу та ступені коливальності тиску конденсації;
- зменшення частоти коливань тиску;
- підвищення енергоефективності суднової холодильної установки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Zhao, J., Xia, L., Chamorovskii, Yu. K., Butov, O. V., Wen, Y. A temperature compensation method of FBG based on OFDR fiber sensing system // Optics InfoBase Conference Papers. – 2022, JW3B.55. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/11/3970/htm>.
2. Петров, Ю. С., Олейниченко, В. Т., Чуркин, А. А. Судовые холодильные машины и установки. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 187 с.
3. Петров, Ю. С., Судовые холодильные машины и установки. – Л.: Судостроение, 1991. – 405 с.
4. Патент № US2009/0056348A1 USA. МПК F25D15/00 F25D17/06 G05B15/00 2009. Motorized ball valve control system for fluid cooled heat exchanger/ [R. D. Noll](#), [G. Helmink](#), [M. J. Gloeckner](#), [R. C. Tipton](#), [B. J. Dolcich](#); Володар патенту Vertiv Corp. – № US12/262,259. – опубл. 05.03.2009.
5. Патент України № 117180. МПК (2017.01) F25B 49/00 G05B 11/54 (2006.01) G05B 19/04 (2006.01). Пристрій регулювання тиску конденсації суднової холодильної установки/ Онищенко, О.

А., Букарос, В. М., Букарос, А. Ю.; Заявник та володар патенту Національний університет "Одеська морська академія". – № u201609878. – заявл. 26.09.2016. опубл. 26.06.2017, бюл. № 12. – 3 с.

6. Кульчин, Ю. Н. Распределенные волоконно-оптические измерительные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 272 с.

7. Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М., Сандлер, О. А., Цюпко, К. Ю. Схемотехнічне рішення комбінованого датчика клімат-контролю // Автоматизация судовых технических средств. – 2014. – Вып. 19. – Одесса: ОНМА. – С. 69-73.

8. Сандлер, А. К. Метод підвищення ефективності діагностування технічного стану суднових газотурбінних установок на основі волоконно-оптичних технологій: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Київський університет інфраструктури та технологій. – К., 2021. – 20 с.

УДК 681.5.004.94

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ В ПРОГРАМІ STATEFLOW

М.В. Левінський, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

В доповіді розглядаються приклади моделювання системи логічного керування транспортною ділянкою переміщення сипучих вантажів в програмах Simulink і Stateflow середовища MATLAB та перевірка працездатності автоматично створеної програми керування ділянкою в середовищі TIA Portal

Ключові слова: Stateflow, моделювання, промисловий Pys, Tiaportal, логічне керування

LOGICAL CONTROL SYSTEM SIMULATION IN THE STATEFLOW PROGRAM

Levinskyi M.V., PhD, associate professor

National University «Odesa Maritime Academy»

In this work the examples of bulk cargoes transport line logical control system simulations are examined in the Simulink and Stateflow programs of the MatLab environment and efficiency verification of automatically created control programs for the transport line in TIA Portal has been carried out.

Key words: Stateflow, simulation, industrial PLCs, TiaPortal, logical control.

Актуальність. Складність розробки алгоритмів і програм логічного керування, наприклад, транспортними ділянками переміщення сипучих вантажів, зростає із збільшенням числа механізмів та датчиків, які забезпечують їх функціонування. При цьому використання лише евристичних методів розробки алгоритмів і програм створює загрозу виникнення помилок та збільшують час, необхідний для тестування. В даному випадку раціонально використати програми, які засновані на теорії кінцевих автоматів і дають можливість моделювати процеси, що управляються подіями.

Мета. Розглянути на прикладах доцільність використання таких програм для побудови алгоритмів і програм системи логічного керування транспортною ділянкою переміщення сипучих вантажів.

Метод. В якості методу дослідження обране моделювання системи керування із застосуванням програм Simulink та Stateflow середовища Matlab.

Результати. Наведені приклади моделювання системи логічного керування із застосуванням програм Simulink та Stateflow [1]. Отримані тексти програм керування на мові SCL для подальшого програмування промислових контролерів Simatic в середовищі TIA Portal [2].

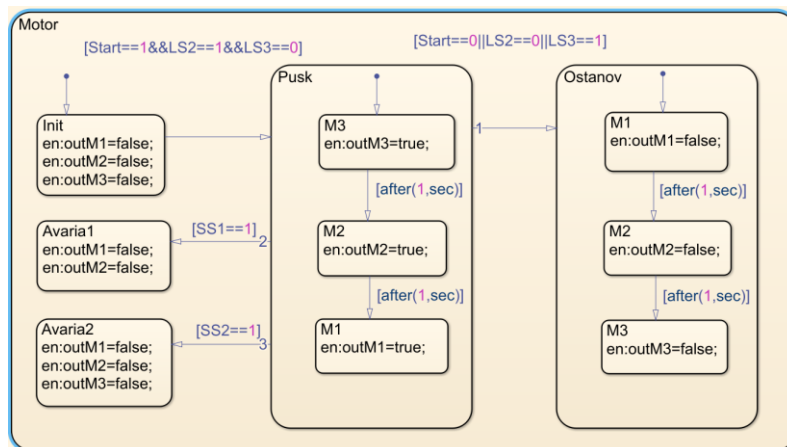


Рисунок 1 – Блок Chart Motor

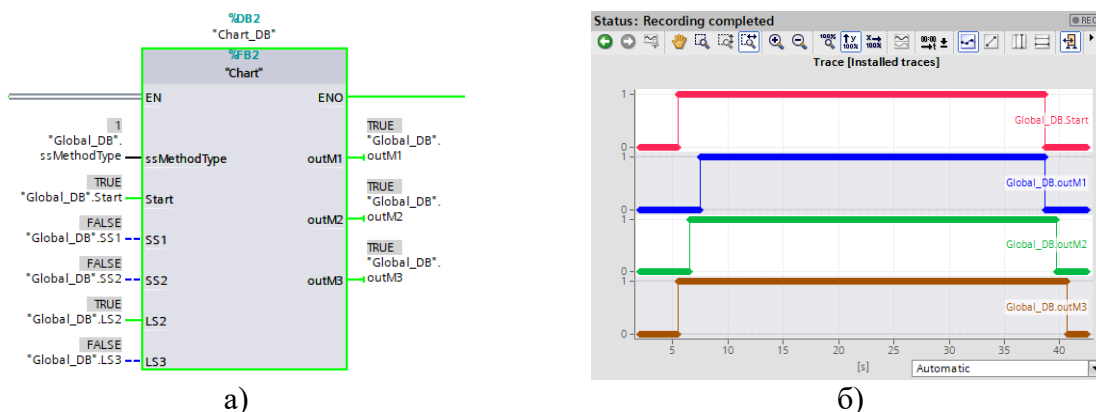


Рисунок 2 – Результати моделювання СЛК в середовищі TIA Portal

Висновки. Наведені приклади підтвердили доцільність використання програми Stateflow для побудови та тестування алгоритмів системи логічного керування і автоматичного отримання текстів програм для промислових контролерів. Програма Stateflow може бути рекомендована для підготовки спеціалістів з автоматизації виробничих процесів в отриманні навичок аналізу і синтезу систем логічного керування.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Stateflow and Stateflow Coder User's Guide*. USA: The MathWorks Inc, 2009.
2. D. Shames, and D. Rosner. "Stateflow: A simulation environment for embedded systems". *IEEE Control Systems Magazine*, 19(4), p. 49-57, 1999.
3. M. Burke. *Stateflow Best Practices*. USA: The MathWorks Inc, 2012.
4. <https://uk.mathworks.com/products/simulink.html>.
5. <https://uk.mathworks.com/products/stateflow.html>

Секція 11. ОСВІТНІ ТА ПРОФЕСІЙНІ СТАНДАРТИ

УДК 378

**КОМПЕТЕНТІСНИЙ ПІДХІД ПРИ ПІДГОТОВЦІ МАГІСТРІВ ЗА
СПЕЦІАЛЬНІСТЮ «ЕКСПЛУАТАЦІЯ СУДНОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ І
ЗАСОБІВ АВТОМАТИКИ» В НУ «ОМА»****Ю.С. Медведєва**, к. геогр.н., доцент**В.І. Бічев**, курсант

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: розглядається як відбувається процес підготовки магістрів на прикладі підготовки магістрів в Національному університеті «Одеська морська академія».

Ключові слова: вища освіта, магістратура, освітня програма, університет, спеціалізація.

**A COMPETENT APPROACH IN THE PREPARATION OF MASTERS IN THE
SPECIALTY «OPERATION OF SHIP ELECTRICAL EQUIPMENT AND MEANS OF
AUTOMATION» in NU «OMA»****I. Medvedieva**, Ph. D. Geographic Science, Associate Professor**V. Bichev**, cadet

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: examines how the process of master's training takes place on the example of master's training at the National University "Odesa Maritime Academy".

Key-words: higher education, master's degree, educational program, university, specialization.

Компетентнісний підхід при підготовці магістрів за спеціальністю «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики» передбачає орієнтацію не тільки на знання та вміння, а й на розвиток умінь, навичок та досвіду: з організації експлуатації складних інтегрованих автоматизованих електроенергетичних та електромеханічних систем і комплексів, що забезпечують ефективне функціонування суден та інших об'єктів морської та річкової електроенергетичної інфраструктури; наукової та педагогічної діяльності у закладах вищої освіти та науково-дослідної діяльності в установах і організаціях морської та річкової інфраструктури.

Основні компетенції, які повинен розвивати здобувач магістерського рівня вищої освіти за спеціальністю «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики» [1, 2]:

- дослідницька компетентність: уміння виявляти проблему, формулювати гіпотезу, здійснювати добір й аналіз необхідних даних для дослідження, підбирати відповідні методи проведення дослідження та обробки даних, фіксувати проміжні та остаточні результати дослідження, проводити обговорення та інтерпретацію результатів дослідження, використовувати їх на практиці;

- технічна компетентність: володіння знаннями та навичками в галузі електромеханічного обладнання, його будови, принципів роботи, схемотехніки та

діагностики. Сюди входить знання норм і правил техніки безпеки при роботі з електроустановками на судах;

- управлінська компетентність: вміння організовувати свою роботу, планувати виконання поставлених завдань, приймати рішення в ситуаціях, пов'язаних з експлуатацією та ремонтом обладнання. Важливе значення має і вміння працювати в команді з іншими фахівцями на судні;

- комунікативна компетентність: здатність ефективно спілкуватися з колегами та клієнтами, розуміти та враховувати їхні вимоги та побажання. Також необхідно вміти чітко і ясно донести інформацію про стан обладнання і виконаних робіт;

- професійна етика: знання та дотримання етичних норм і правил, відповідальність і сумлінне ставлення до своєї роботи та підлеглих.

Для розвитку цих компетенцій використовуються різні методи навчання, включаючи теоретичне вивчення предметів, практичні заняття, навчання на реальних об'єктах, стажування, а також самостійну роботу курсантів.

Програма підготовки магістрів за спеціальністю «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики» надає можливості проектування, розробки, удосконалення судової інженерії різними практичними методами та концепціями спонукає до наукової діяльності студентів. Точне слідування до стандартів компетентностей, встановлених у розділах ПДНВ, чітке викладання наукового матеріалу до курсантів та самостійне дослідження несправностей і створення плану до їх вирішення. Soft skill (м'які навички) є важливим компонентом всебічної освіти, оскільки вони відіграють важливу роль в особистому та професійному розвитку людини. Вони необхідні для досягнення успіху в різних аспектах життя. Деякі з найважливіших м'яких навичок, які часто наголошується в освіті, включають: комунікацію, співпрацю, критичне мислення, здатність до адаптації, управління часом, лідерство, емоційний інтелект, тобто розуміння власних емоцій і керування ними, а також розпізнавання емоцій інших людей і співпереживання їм, вирішення конфліктів, креативність, нетворкінг, а саме, побудова та підтримка професійних стосунків, розуміння важливості нетворкінгу для особистого та професійного зростання. У програмі підготовки магістрів за спеціальністю «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики» передбачається розвиток у курсантів навичок, пов'язаних з особистими якостями людини, так звані 4-К-компетенції: критичне мислення, здатність кооперуватися і комунікувати, креативність. [3]

Особливості освітньої програми магістра визначаються на основі компетентностей, які набуваються здобувачами вищої освіти відповідно до типового (модельного) курсу Міжнародної асоціації морських університетів для старшого офіцера електромеханіка (Model Course for Senior Electrotechnical Officers). Цей курс також відповідає вимогам стандартів компетентностей, встановлених правилом III/6 Міжнародної конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року з поправками для займання посад рівня управління на судах. [4]

Освітня програма магістрів за спеціальністю «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики» у 2018 році була акредитована Інститутом морської техніки і технології (Institute of Marine Engineering, Science and Technology, IMarEST) та пройшла інспектування Європейським агентством з морської безпеки (European Maritime Safety Agency, EMSA). Програму акредитовано Національним агентством із забезпечення якості вищої освіти, сертифікат отриманий 20.05.2022 на максимально можливий строк п'ять років і діє до 01.07.2027 [5].

ЛІТЕРАТУРА

1. http://www.onma.edu.ua/wp-content/uploads/2023/02/OPP-magistra-ESEOiZA-NNI-AtaEM_2022_1676914627.pdf
2. Головань М. С. Сутність та зміст поняття “дослідницька компетентність” / М.С. Головань, В.В. Яценко // Теорія та методика навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі: збірник наукових праць. Випуск VII. – Кривий Ріг: Видавничий відділ НМетАУ, 2012. – с. 55-62
3. <https://simplex.ua/ua/articles/soft-skills>
4. <https://cmu-edu.eu/calitate/wp-content/uploads/sites/6/2022/11/Electro-technical-Officer-Model-Course-7.08.pdf>
5. <http://www.onma.edu.ua/sertyfikaty-pro-akredytatsiyu>

Секція 12. НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В УМОВАХ ВОЕННОГО СТАНУ: ПОШУКИ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

УДК 623.486

ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ МОБІЛЬНОСТІ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ ГАРМАТ

А.К. Сандлер, к.т.н., доцент

О.Ю. Карпілов, старший викладач

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. В сучасних умовах відновлення уваги до швидкої тактичної мобільності також знову робить привабливими важкі саморушійні гармати, які можуть пересуватися незалежно, за умови, що час їх розгортання/згортання можна звести до мінімуму. Запропоновано нове технічне рішення підвищення мобільності артгармат.

Ключові слова: артилерійська гармата, пневмодвигун, газогенератор

MEANS OF INCREASING THE MOBILITY OF ARTILLERY CANNON

A.K. Sandler, Ph.D., associate professor

O.Y. Karpilov, senior lecturer

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. In today's environment, the renewed focus on rapid tactical mobility also makes heavy self-propelled guns that can move independently attractive again, provided that deployment/collapse time can be minimized. A new technical solution for increasing the mobility of artillery pieces is proposed.

Key words: artillery gun, pneumatic engine, gas generator

Опинившись на обраній вогневій позиції, гармата повинна бути підготовлена до стрільби. Це складна процедура, яка може включати в себе від'єднання його від транспортного засобу, окопування місця стрільби за допомогою лопат для надання знаряддя стійкого положення, топографічну прив'язку та введення координат мети в комп'ютер, який визначає налаштування азимуту та кута піднесення, а також здійснює вибір снаряда та заряду, що відповідають характеристикам мети, дальності та температурі. Перші кілька кроків цього процесу повинні бути виконані у зворотному порядку, перш ніж знаряддя можна буде перемістити на нову вогневу позицію або, принаймні, подальше від поточного розташування, що може мати вирішальне значення для його виживання.

В умовах, що склалися, відновлення уваги до швидкої тактичної мобільності також знову робить привабливими важкі саморушійні гармати, які можуть пересуватися незалежно, за умови, що час їх розгортання/згортання можна звести до мінімуму (рис. 1, а, б).

Ця можливість часто використовується, щоб допомогти розмістити зброю на захищеній вогневій позиції або перемістити її в місцевість, недоступну для буксирувальника [1, 2].

Відома трансмісія саморушійної гармати, яка складається із силової установки (карбюраторний двигун внутрішнього згоряння), зчеплення, механізму перемикання передач, моста, передач коліс, кермового механізму та гальм [3].



а)



б)

Рисунок 1 – Відомі типи саморушійних артилерійських гармат

Недоліками є те, що застосування бензинового двигуна передумовлює:

- необхідність наявності запасу легкозаймистого бензину та залишок його у трубопроводах після попереднього застосування установки;
- великий час приведення силової установки до початку руху;
- потребу у додатковому обсязі бронюванні двигуна разом з трубопроводами;
- складність системи механічних передач;
- значну надлишкову вага гармати, що обмежує маневрові якості на полі бою при зміні тактичної обстановки.

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до винаходу, що пропонується є трансмісія саморушійної гармати, яка складається із силової установки (дизельний двигун), зчеплення, механізму перемикавання передач, моста, передач коліс, кермового механізму та гальм [4].

Недоліками є те, що застосування дизельного двигуна передумовлює:

- необхідність наявності запасу легкозаймистого дизельного палива та залишок його у трубопроводах після попереднього застосування установки;
- великий час приведення силової установки до початку руху;
- потребу у збільшеному обсязі бронюванні двигуна разом з трубопроводами;
- системи механічних передач
- значну надлишкову вага гармати, що обмежує маневрові якості на полі бою при зміні тактичної обстановки.

Задача підвищення мобільності полягає у створенні трансмісії саморушійної артилерійської гармати, яка забезпечує швидкий відхід гармати з вогневої позиції на достатню відстань, додаткову пожежну безпечність та зниження бойової ваги та у якій одночасно збережені надійність та простота схемотехнічних рішень захисних трансмісій відомих типів.

Поставлена задача вирішується тим, що трансмісія саморушійної гармати, яка складається із силової установки з органами керування, моста зі станинами, коліс, кермового механізму та гальм та яка відрізняється тим, що в якості силової установки використовуються, сполучені з мостом, колесами і гальмами, пневмодвигуни, робоче тіло для яких через трубопроводи, арматуру та блок керування надходить від газогенераторів на основі стандартних артилерійських пострілів, що застосовуються у гарматі.

Технічний ефект досягається завдяки тому, що застосування газогенераторів та пневмодвигунів забезпечує:

- підвищення живучості гармат та гарматних розрахунків;
- відсутність двигуна внутрішнього згоряння та запасу палива до нього;
- достатню маневреність при зміні тактичної обстановки;
- малий час приведення до бойового стану;
- легкість доступу до елементів гармати.

Суть запропонованого рішення пояснюється на рис.2, де зображено міст зі станинами 1, який сполучається з пневмодвигунами 2.

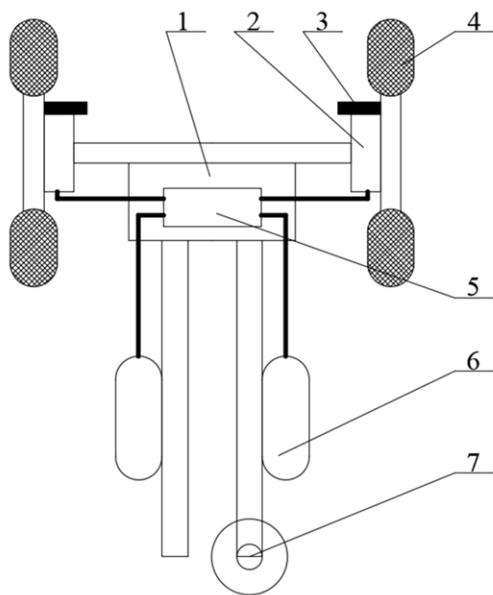


Рисунок 2 – Трансмісія саморушійної гармати: 1 – міст зі станинами; 2 – пневмодвигун; 3 – гальма; 4 – колеса; 5 – блок керування з арматурою; 6 – газогенератор; 7 – кермовий механізм

На одній осі з пневмодвигунами розташовані колеса 4, які обладнані гальмами 3. У станинах мосту містяться газогенератори 6, кермовий механізм 7 та блок керування з арматурою 5.

Газогенератори являють собою товстостінний циліндричний корпус з замком затвора на одному кінці та ресивером на другому, який сполучений з блоком керування з арматурою [5].

У бойовому положенні газогенератори, у залежності від тактичної обстановки, перебувають без артилерійського вистрілу у середині та без тиску у ресивері.

При приготуванні до швидкого відходу гармати з вогневої позиції відмикають замки затворів газогенераторів та подають до них гільзи з порохом зарядом. Після замикають замки та здійснюють займання зарядів. Газова суміш, що утворилася у наслідок згоряння пороху, надходить через незворотний клапан газогенератора до ресиверу. Після відкриття відповідної арматури на блоці керування, гази під тиском надходять до пневмодвигунів. Пневмодвигуни приводять до обертання колеса. Керування напрямком руху здійснюється механізмом керування та гальмами колес. Якщо виникає потреба подальшого руху у газогенераторах замінюють гільзи з порохом зарядом.

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію газогенераторів та пневматичних елементів.

У транспортному режимі буксирування гармати транспортних засобом тиск у пневматичній секції відсутній, газогенератори на містять гільз з порохом зарядом та мають замкненими замки затворів, колеса відключаються від трансмісії.

У режимі бойового застосування, тиск у пневматичній секції відсутній, газогенератори на містять гільз з порохом зарядом та мають замкненими замки затворів.

У режимі швидкого відходу гармати з вогневої позиції відмикають замки затворів газогенераторів та подають до них гільзи з пороховим зарядом. Після замикають замки та здійснюють займання зарядів. Газова суміш, що утворилася у наслідок згоряння порошу, надходить через незворотний клапан газогенератора до ресиверу. Після відкриття відповідної арматури на блоці керування, газу під тиском надходить до пневмодвигунів. Пневмодвигуни приводять до обертання колеса. Керування напрямком руху здійснюється механізмом керування та гальмами колес.

У допоміжному режимі тиск від газогенератора може надаватися для споживачів технічних служб артилерійського підрозділу [6, 7].

ЛІТЕРАТУРА

1. Артиллерийское вооружение. Основы устройства и конструирование /И. И. Жуков, В. Л. Башкатов, Т. М. Городинский, Н. Н. Донец, А. И. Данилов, Л. М. Крупчатинков, И. Г. Лившиц, Г. Ф. Николаев, Г. Н. Рыбин, П. Л. Токарев; под ред. д.т.н., проф. И. И. Жукова. – М.: Машиностроение, 1975. – 420 с.
2. Hogg Ian V. Artillery 2000. London: Arms and Armour Press, 1990. – 160 p.
3. Самодвижущееся орудие // Радиоконтроль – Тачанка / под общ. ред. Н. В. Огаркова. – М.: Военное изд-во МО СССР, 1980. – С. 224.
4. 155 мм FH-70. URL: [https://weaponsystems.net/system/339-DD03%20-%20FH-70%20\(155mm\)](https://weaponsystems.net/system/339-DD03%20-%20FH-70%20(155mm)).
5. Патент РФ 2201880 С2. МПК⁷ B63G 8/22. Способ аварийного всплытия подводных аппаратов и устройство для его осуществления/ Б.А. Адамович, А.Г. Дербичев, В.И. Дудов, Д.П. Кобяков, А.П. Трубицын/ Заявитель
6. ЗАО "Промышленно-инвестиционная компания Ресурспроминвест", владелец патента Б.А. Адамович, А.Г. Дербичев, В.И. Дудов, Д.П. Кобяков, А.П. Трубицын. – 2001101618/28. – заявл. 19.01.20001; опубл. 14.04.2003. – 3 с.
7. Патент України № 153620. МПК (2006) B60K 17/04 (2006.01), F41A 27/00, F41A 23/00. Трансмсія саморушійної гармати/ А. К. Сандлер, О. Ю. Карпілов; заявник та володар патенту Національний університет "Одеська морська академія". – u202301277. – заявл. 27.03.2023; опубл. 27.07.2023, бюл. № 30/2023. – 3 с.

УДК 623.421.4

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МОБІЛЬНОГО МІНОМЕТА

А.К. Сандлер, к.т.н., доцент

М.О. Опришко, старший викладач

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. Головним завданням розвитку мінометних систем є зменшення часу для переведення з транспортного положення до бойового. Поставлена задача вирішується тим, що опорна плита мобільного міномета, що складається з чаші з гніздом кріплення ствола, розташованої в центрі опорної поверхні, ребер жорсткості і сошників, та яка відрізняється тим, що гніздо кріплення ствола сполучається з чашою за допомогою трьох пучкових торсіонів, кінці яких мають важелі, прикріплені до чаші та гнізда, а опорна поверхня має швидкокороз'ємні замки для кріплення міномета до транспортного засобу та стопор торсіонів.

Ключові слова: міномет опорна плита, торсіон

IMPROVEMENT OF MOBILE DESIGN MORTAR

A.K. Sandler, Ph.D., associate professor

M.O. Opryshko, senior lecturer

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. *The main task of the development of mortar systems is to reduce the time for the transition from a transport position to a combat position. The task is solved by the fact that the support plate of the mobile mortar, which consists of a bowl with a socket for fixing the barrel, located in the center of the support surface, stiffening ribs and coulters, and which differs in that the socket for fixing the barrel is connected to the bowl with the help of three beam torsion, the ends of which have levers attached to the bowl and socket, and the supporting surface has quick-release locks for attaching the mortar to the vehicle and torsion stoppers.*

Key words: *mortar support plate, torsion*

В сучасних умовах ведення бойових дій міномети, як і раніше, є досить потужним вогневим засобом, призначеним для ураження живої сили і військової техніки противника, розташованих на відкритій місцевості і в укриттях, а також для руйнування польових укріплень. У наступі вони використовуються головним чином для безпосередньої вогневої підтримки піхотних підрозділів, знаходячись як найближче до їх бойових порядків, а в обороні – для ведення вогню по атакуючій піхоті противника і пригнічення його вогневих засобів. Навісна траєкторія польоту мін дозволяє знищувати закриті цілі, що не вражаються настильним вогнем (в окопах, траншеях, на зворотних скатах висот, в складках місцевості та ін.), вести вогонь з глибоких укриттів, а також з лісу і через голову своїх військ.

Самохідні міномети – це різновид самохідних артилерійських установок, які характеризуються використанням міномета у якості основного озброєння бойових машин. Розвинені держави продовжують розвиток мінометних систем так, щоб вони мали більший радіус дій, меншу масу, а також планують зменшити вартість і збільшити систему безпеки для бойових розрахунків. Головним завданням розвитку мінометних систем є зменшення часу для перевodu з транспортного положення до бойового [1, 2] (рис. 1).



Рисунок 1 – 120 мм міномет М3-304 - Горець у бойовому положенні

Для пошуку шляхів вдосконалення проаналізовані конструктивні особливості опорних плит найбільш поширених типів мобільних мінометів.

Відома плита, що складається з чаші з гніздом кріплення ствола, розташованої в центрі опорної поверхні, ребер жорсткості і сошників, які застосовуються при опусканні з транспортного засобу плити на ґрунт [3].

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням опускної платформи:

- обмеженість мобільності при зміні позиції в умовах бойового впливу;
- необхідність наявності складної системи підйому/опускання міномета;
- велика вага, що вимушує застосувати більш потужні транспортні засоби;
- наявність додаткової механічної системи для приводу плити.

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до потрібного результату, є плита, що складається з опорної поверхні з чаші з гніздом для нижньої обойми, що є основою для двох гідравлічних амортизаторів, сполучених зі стволом через верхню обойму [4].

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням двох гідравлічних амортизаторів:

1. велика вага амортизаторів;
2. вразливість від бойового впливу;
3. необхідність додаткових вантажних пристроїв для переведення міномета в режим вогню з ґрунту;
4. необхідність постійного контролю ущільнювальних пристроїв та рівня гідравлічної рідини.

Задачею вдосконалення конструкції міномета є створення опорної плити, застосування якої дасть можливість вести вогонь безпосередньо з транспортного засобу, зменшити час для переведення на ведення вогню з ґрунту, у якій зменшена вага та відсутня необхідність постійного контролю технічного стану та одночасно збережені гідності схемотехнічних рішень опорних відомих типів.

Поставлена задача вирішується тим, що опорна плита мобільного міномета, що складається з чаші з гніздом кріплення ствола, розташованої в центрі опорної поверхні, ребер жорсткості і сошників, та яка відрізняється тим, що гніздо кріплення ствола сполучається з чашою за допомогою трьох пучкових торсіонів, кінці яких мають важелі, прикріплені до чаші та гнізда, а опорна поверхня має швидкокорозійні замки для кріплення міномета до транспортного засобу та стопор торсіонів.

Технічний ефект досягається завдяки тому, що комбінація жорстких та пружних елементів забезпечує:

- наявність ще одного рівня амортизації ствола при пострілі;
- зменшену вагу опорної плити;
- можливість вогню безпосередньо з транспортного засобу;
- зменшений час переведення міномета для вогню з ґрунту;
- можливість вимкнення торсіонів;
- спрощене обслуговування та ремонт.

Суть вдосконалення пояснюється кресленням (рис. 2), де зображена опорна поверхня з чашею ребрами жорсткості і сошниками 1, у якому розташовано гніздо ствола 2, яке сполучається з чашею опорної поверхні за допомогою торсіонів 3, кінці яких жорстоко закріплені у важелях 4.

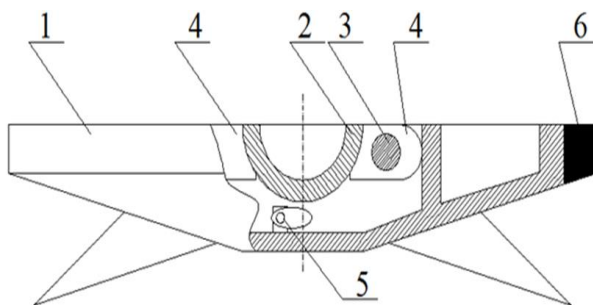


Рисунок 2 – Опорна плита мобільного міномета: 1 – опорна поверхня з чашею ребрами жорсткості і сошниками; 2 – гніздо ствола; 3 – торсіон; 4 – важіль; 5 – стопор; 6 – швидко-роз'ємний замок

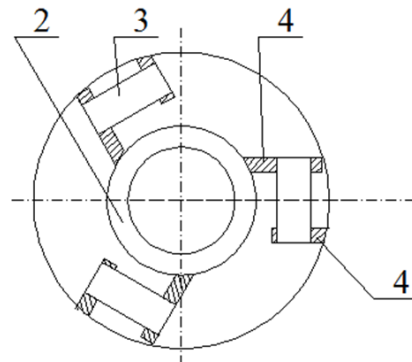


Рисунок 3 – Взаємне розташування гнізда ствола та важелів з торсіонами: 2 – гніздо ствола; 3 – торсіон; 4 – важіль

У кожній парі важелів один з них жорстко сполучений з опорною поверхнею, а інший з гніздом стволу. Торсіони з важелями розташовані на однаковій відстані один від другого (рис. 3).

В нижній частині чаші опорної плити міститься стопор ексцентрикового типу 5 з ручним приводом. Близьче до зовнішнього краю опорної поверхні розташовані швидкокороз'ємні замки 6.

При здійсненні пострілу енергія заряду передається через ствол та гніздо ствола до торсіонів [5, 6]. Відбувається динамічне демпфування руху ствола.

При замиканні стопору при зберіганні чи тривалому транспортуванні унеможливорюється рух ствола та його непродуктивне розгойдування.

Швидкокороз'ємні замки механічного типу дозволяють швидко звільнити міномет від фіксації у транспортному засобі та зменшити час пересування його на ґрунт.

У статичному режимі міномета (зберігання) стопором блокуються торсіони та вага міномета з додатковим обладнанням сприймається опорною поверхнею.

У першому динамічному режимі (транспортування) плита швидкокороз'ємними замками сполучається з транспортним засобом. Стопор перебуває у замкненому стані.

У другому динамічному режимі (вогнь з транспортного засобу) стопор вимикається, міномет переводиться в режим відкриття вогню.

У третьому динамічному режимі (вогнь з ґрунту) стопор вимикається, швидкокороз'ємні замки рознімаються, міномет з транспортного засобу переводиться на ґрунт та в режим відкриття вогню.

ЛІТЕРАТУРА

1. Векленко, Ю. А., Рудник, М. В., Корзун, К. І. Аналіз тенденцій розвитку мобільних мінометних систем сучасних армій світу в порівнянні їх з мобільними мінометними системами вітчизняного виробництва// Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. – 2020. – Вип. № 3(5). – С. 4-13. DOI: 10.37701/dndivsovt.5.2020.01.
2. Беляев, М. І., Варава, В. В. [Моніторинг тактико-технічних характеристик мінометного озброєння сухопутних військ Збройних Сил України та провідних у військовому відношенні країн світу](#) // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – 2 (42). С. 3–6.
3. S. Roblin. [The Russian Army's Super 'Gun' Is a City Destroyer](#). URL: <https://nationalinterest.org/feature/the-russian-armys-super-gun-city-destroyer-17416>.
4. Унифицированный комплект приспособлений для размещения 82-мм миномета 2Б24 (2Б14-1) на транспортном средстве. URL: <https://img.allzip.org/g/42/orig/5601754.jpg>.
5. Патент України № 118311. МПК (2017.01) G 01G 11/10 (2006.01), G01G 21/06 (2006.01), B65G 39/00. Роликовий вузол стрічкового транспортера / А. К. Сандлер, О. В. Дрозд; Заявники та володарі патенту Сандлер, А. К., Дрозд, О. В. – u201704358. – заявл. 03.05.2017; опубл. 25.07.2017, бюл. № 14/2017. – 3 с.
6. Патент України 153086. № МПК F41F 1/06 (2006.01) F41A 23/54 (2006.01). Опорна плита мобільного міномета/ А. К. Сандлер, М.О. Опришко; заявник та володар патенту Національний університет "Одеська морська академія". – u202204308. – заявл. 14.11.2022; опубл. 17.05.2023, бюл. № 20/2023. – 3 с.

УДК 623.451.4

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ШВИДКОРОЗ'ЄМНИХ ЗАСОБІВ
ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ****А.К. Сандлер**, к.т.н., доцент**Ю.І. Журавльов**, к.т.н., доцент**А.В. Бондаренко**, к.т.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. Особливості застосування піропатронів у військовій галузі висувають вимоги щодо забезпечення герметичності вогневої суміші без втрати значного часу на підготовку до наступного застосування. Поставлена задача вирішується тим, що піропатрон удосконалений, що складається з корпусу, в якому вмонтовано електрозапалювач, заглушки та піротехнічної суміші, та який відрізняється тим, що корпус є нероз'ємним, на внутрішньому боці у нижній частині якого виконана конічна різьба для приєднання електрозапалювача та отвір у дні для контакту електрозапалювача, а сам електрозапалювач має шестигранний отвір для монтажного ключа.

Ключові слова: піропатрон, конічна різьба, електрозапалювач

**INCREASING THE RELIABILITY OF QUICK CONNECTING EQUIPMENT
MILITARY PURPOSE****A.K. Sandler**, Ph.D., associate professor**Y.I. Zhuravlyov**, Ph.D., associate professor**A.V. Bondarenko**, Ph.D., associate professor

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. *The specifics of the use of pyro cartridges in the military field impose requirements for ensuring the tightness of the fire mixture without losing significant time for preparation for the next use. The task is solved by the fact that the pyro cartridge is improved, which consists of a case in which an electric igniter, a plug and a pyrotechnic mixture are installed, and which is distinguished by the fact that the case is non-separable, on the inner side of which a conical thread is made in the lower part for connecting the electric igniter and a hole in the bottom for the contact of the electric igniter, and the electric igniter itself has a hexagonal hole for the mounting key.*

Key words: *pyro cartridge, conical thread, electric igniter*

Піротехнічний патрон, так само він може називатися піроболт. Даний пристрій ставиться до піротехнічних засобів. Піроболт має електричний запал. Такий запал дозволяє дуже швидко, майже миттєво спрацьовувати піротехнічному патрону. Спрацьовування піропатрона пускає в хід різні пристрої й механізми. Різних модифікацій піропатронів велика безліч, але в усіх без винятку є гільза із зарядом вибухівки й електричний запал.

Піропатрони дуже активно використовуються в багатьох системах, які є одноразового використання, а так само в різних аварійних системах. Піропатрони широко застосовуються в різних пожежних системах. Наприклад піропатрон, що спрацював, може замикає потрібний кран, відтинати певні канали, скидати необхідні елементи в потрібний момент часу. Піропатрони знайшли застосування в ракетно-космічній і авіаційної галузях, у військовій справі, а так само в інших важливих і складних галузях.

Піропатрони входять у систему поділу, яка призначена для розподілу й відведення із траєкторії елементів конструкції ракети-носія що виконали свої функціональні завдання і не потрібних більше в польоті. Система розведення складається із двох груп агрегатів, які діляться по своїх основних функціональних завданнях. У першу групу входять вузли й агрегати, які повинні надійно з'єднувати елементи конструкції, які повинні будуть від'єднатися в потрібний момент, і розривати ці силові з'єднання. До таких пристроїв ставляться піротехнічні болти, пневмозамки, пірозамки, механічні замки й інші подібні пристрої. У другу групу входять пристрої, які повинні відділяти частини, що розділяються.

Часто для підвищення надійності в піропатроні роблять два детонатори замість одного. Такі піропатрони застосовують переважно в космічній техніці й авіаційної. Кілька прикладів застосування таких піропатронів у космічній техніці: відстріл обтічників ракети, а так само за допомогою піропатронів відбувається відділення щаблів і блоків ракети, у потрібні моменти.

У якості вибухової речовини може використовуватися не тільки порох, але й інші матеріали. Вибухові матеріали вибираються виходячи з необхідних вимог по швидкості запалення, температури горіння й обсягу газу, який виділяється при вибуху піропатрона. Деякі матеріали вибухають із затримкою, одна з них це суміш марганець / хромат свинцю / хромокислий барій. Ця суміш застосовується для того щоб загоряння відбувалися послідовно. Є суміші, у яких залежно від тиску міняється швидкість горіння. Одна з них: нітроцелюлоза й RDX. Ця суміш при запаленні якої виділяється газ. У космосі вона не може бути використана. Існують суміші, які стійкі до високих температур. Напри-

клад, суміш із двох компонентів: азотнокислий калій і карбід бору. Застосовується вона як ракетно-руховий ініціатор полум'я. Часто виникає потреба в таких сумішах, які стійкі до статичної електрики. Одна з них суміш із перхлорату калію й цирконію. Суміш має тривалий строк зберігання. Є такі суміші, які несприйнятливі до температури й стабільно стійкі у вакуумному середовищі. Наприклад: азид свинцю. Але азид свинцю має такі властивості за умови що для десенсибілізації декстрин не використовується [1-3].

Таким чином, можна зазначити таке. Особливості застосування піропатронів у військовій галузі висувають вимоги щодо забезпечення герметичності вогневої суміші без втрати значного часу на підготовку до наступного застосування.

Відома конструкція піропатрону у своєму складі має корпус, електрозапалювач, піротехнічну суміш та заглушку. При цьому електрозапалювач установлюється у донну частину корпусу за методом натягу пресуванням [4].

Суттєвим недоліком відомого піропатрону є те, що при його спрацьовуванні для скидання вантажів виникає прорив порохових газів між донною частиною корпусу та стінками запресованого електрозапалювача. Цей недолік, а саме прорив порохових газів (раптовий або коловий по контуру електрозапалювача) приводить до зниження тиску газів у пороховій камері на 3 ... 5% та забруднення електропроводникової контактної частини пірокамери нагаром порохових газів. Цей нагар приводить до відсутності електричного контакту з містком розжарювання електрозапалювача піропатрона. У зв'язку з цим, аеродромно-технічному персоналу після кожного спрацьовування піропатрону треба виконувати чистку контактних поверхонь пірокамери, що потребує багато часу, якого дуже обмаль при великій інтенсивності літаковилетів. Тобто один недолік – прорив порохових газів приводить до другого – значний час підготовки літальних апаратів до другого вильоту (за рахунок потреби чистки пірокамери замка-утримувача). Крім того, потрібен прес для запресування електрозапалювача.

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до винаходу, що пропонується є конструкція, що складається з корпусу, електрозапалювача, піротехнічної суміші та заглушки. Та у якому електрозапалювач кріпиться та донної частини корпусу піропатрону за допомогою різьбового з'єднання [5].

Основними недоліками застосування такого типу різьбового з'єднання корпусу піропатрона та електрозапалювача є:

- послаблення циліндричного різьбового з'єднання під впливом вібрацій, що створюються літальним апаратом;
- необхідність додаткового ущільнення різьбового з'єднання для запобігання прориву газів та вологи;
- певне послаблення міцності корпусу піропатрона, що викликане різьбою;
- швидке зношування циліндричного різьбового з'єднання.

Таким чином, актуальною задачею є створення конструкції піропатрону, яка забезпечить, міцність зібраного патрону, стійкість до самовідгвинчування під впливом механічних коливань, відсутність додаткових ущільнювальних елементів, та у якої одночасно збережені надійність та простота схемотехнічних рішень піропатронів відомих типів.

Поставлена задача вирішується тим, що піропатрон удосконалений, що складається з корпусу, в якому вмонтовано електрозапалювач, заглушки та піротехнічної суміші, та який відрізняється тим, що корпус є нероз'ємним, на внутрішньому боці у нижній частині якого виконана конічна різьба для приєднання електрозапалювача та отвір у дні для контакту електрозапалювача, а сам електрозапалювач має шестигранний отвір для монтажного ключа.

Суть запропонованого рішення пояснюється кресленням (рис.1), де приведено структурну схему запропонованого піропатрону.

Корпус 1 у нижній частині має конічну різьбу та отвір для контакту електрозапалювача 2. У корпусі також міститься порохова суміш 3, яка замкнена у верхній частині корпусу заглушкою 4. Корпус електрозапалювача у верхній частині, яка контактує з пороховою сумішшю має внутрішній шестигранний отвір для монтажного ключа, за допомогою якого він загвинчується до корпусу.

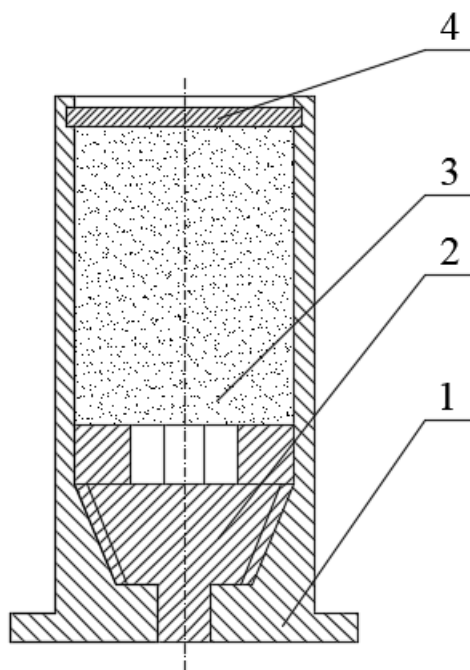


Рисунок 1 – Піропатрон удосконалений: 1 – корпус; 2 – електрозапалювач; 3 – порохова суміш; 4 – заглушка

При подачі напруги на запалювання електрозапалювача ("мінус" - на торцеву частину, а "плюс" на контакт електрозапалювача) місток розжарювання запалює піротехнічну суміш, що приводить до виникнення тиску у корпусі піропатрону. Завдяки тиску заглушка відлітає та згорає і порохові гази далі надходять до порохової камери, поршень якої приводить у дію механізми замка-утримувача. Під час згоряння порохової суміші гази додатково притискують електрозапалювач до корпусу та ущільнюють конічне різьбове з'єднання.

Після відпрацювання шестигранним ключем електрозапалювач екстрагується з корпусу.

Технічний ефект досягається завдяки тому, що застосування нероз'ємного корпусу та конічної різьби для з'єднання електрозапалювача та корпусу забезпечить:

- інваріантність функціонування до впливу дестабілізуючих експлуатаційних та гідрометеорологічних факторів;
- збільшений ресурс корпусу піропатрона;
- відсутність додаткових ущільнювальних елементів;
- простоту перезавантаження та приведення у робочий стан піропатрону.

ЛІТЕРАТУРА

1. Иванов, В. Л., Ругайн, О. В., Чекед, І.В. Авіаційне обладнання військових літальних апаратів. – К: Видавництво НАУ, 2004. – 232 с.
2. Военный энциклопедический словарь: в 2 томах. – М: Большая Российская энциклопедия; РИПОЛ КЛАССИК, 2001. – Том 2. – 848 с.
3. Поллард, Ф. Б., Арнольд, Д. Г. Вспомогательные системы ракетно-космической техники. – М.: Мир, 1970. – 400 с.
4. Техническое описание пиропатрона ППЛ-Т. – С.-Пб.: изд. НПО "Краснознамёнец". – 1990.
5. Патент України на корисну модель № 1572. МПК 7 А62С 19/00, F42В3/04. Піропатрон латунний термостійкий удосконалений/ М.І. Вакупенко, В.В. Кожура; Заявники та володарі патенту М.І. Вакупенко, В.В. Кожура. – 2002021300. – заявл. 15.02.2002; опубл. 15.01.2003, бюл. № 1. – 2 с.

УДК 656.073.8

ЗАХИСНА ПІДВІСКА ТРЕЙЛЕРІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ
ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

А. К. Сандлер, к.т.н., доцент

О.В. Глазєва, к.т.н., доцент

Д.В. Марчук, здобувач другого рівня вищої освіти
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Перевезення танків, як будь-яка перевезення негабаритних вантажів, зазвичай проводиться із застосуванням вантажних платформ, оснащених такелажним спецобладнанням, за допомогою чого танк надійно утримується під час транспортування. Для вдосконалення системи підвіски трейлера проаналізовані конструкції найбільш поширених типів. Поставлена задача вирішується тим, що захисна підвіска трейлерів для транспортування військової техніки, що складається з основи, яка містить короткі торсіонні вали, які обертаються в підшипниках кочення, які одного боку через шлицьові втулки зафіксовані в основі, та стоек, які сполучені з вантажем та яка відрізняється тим, що торсіонні вали з іншого боку мають ексцентрики, який натягують сталеві замкнені стрічки, обгорнуті навколо барабанів з фрикційним шаром.*

Ключові слова: *трейлер, підвіска, військова техніка*

PROTECTIVE SUSPENSION OF TRAILERS FOR TRANSPORTATION MILITARY
EQUIPMENT

A. K. Sandler, Ph.D. associate professor

O.V. Glazeva, Ph.D. associate professor

D.V. Marchuk, second-level graduate of higher education
National University Odessa Maritime Academy

Abstract. *Transportation of tanks, like any transportation of oversized cargo, is usually carried out with the use of cargo platforms equipped with special rigging equipment, with the help of which the tank is securely held during transportation. To improve the trailer suspension system, the designs of the most common types were analyzed. The task is solved by the fact that the protective suspension of trailers for the transportation of military equipment, consisting of a base, which contains short torsion shafts that rotate in rolling bearings, which on the one hand are fixed in the base through splined bushings, and racks, which are*

connected with a load and which differs in that the torsion shafts on the other hand have eccentrics, which are tensioned by steel closed bands wrapped around drums with a friction layer.

Keywords: trailer, suspension, military equipment

Військова техніка є затребуваною навіть у мирний час, оскільки часто застосовується в різних навчаннях та проведенні робіт військового профілю. Крім цього військова спецтехніка має особливе значення для створення оплоту озброєння країни. Влада кожної країни намагаються заповнити максимальним арсеналом військової техніки, щоб бути підготовленими до несподіваних військовим діям. Країни, які не мають власного військового виробництва, воліють замовляти військову техніку з інших країн, причому транспортування техніки військової вимагає дотримання особливих умов.

Перевезення військової техніки - це доставка бойових машин (танків, бронетранспортерів (БТР), бойових машин піхоти (БМП) і ін.) До місця стоянки або ремонту, при якій не використовується її власний рушій.

Оскільки військова техніка не розрахована на пересування по автомобільних дорогах загального користування, навіть якщо вона є самохідною, доводиться використовувати різні транспортні засоби.

Залежно від цілей перевезення і від кінцевої точки маршруту можуть бути обрані такі види транспорту.

Повітряний транспорт. Як правило, це засоби військово-транспортної авіації, спеціально призначені для подібних перевезень і забезпечені всім необхідним для навантаження і кріплення техніки.

Морським транспортом у разі поставок озброєння у віддалені країни.

Наземним транспортом, залізничним і автомобільним залежно від відстані транспортування та наявності технічної можливості.

Автомобільний транспорт використовується для транспортування військової техніки в невеликих кількостях: це зазвичай доставка єдиної бойової машини, що вимагає ремонту або яку повертатимуть після ремонту в частину.

Перевезення танків, як будь-яка перевезення негабаритних вантажів, зазвичай проводиться із застосуванням вантажних платформ, оснащених спеціальним обладнанням, за допомогою чого танк надійно утримується під час транспортування.

Перевезення БТР припускає використання автотрейлерів або спеціальних вантажних платформ, які надають мінімальний тиск на дорожнє полотно.

Перевезення БМП зазвичай реалізується за допомогою автотрейлерів з вантажною платформою невеликої висоти і без бортів. Вони можуть витримувати вантаж, маса якого більше 5 тон.

Спосіб вантаження негабаритної військової техніки на платформу автопоїзда залежить від її типу. Наприклад, танки, БТР, БМП та інша колісна і гусенична техніка здатна заїжджати на платформу самостійно, що істотно полегшує процес її вантаження.

Однак інші види військової техніки не можуть бути завантажені на трал таким чином, тому їх навантаження здійснюється за допомогою підйомних кранів.

Іноді з метою полегшення військової техніки та спрощення процесу її транспортування вона може бути частково демонтована. З неї можуть бути зняті певні деталі, агрегати та вузли, перевезення яких буде здійснена іншим вантажним автомобілем.

Даний метод перевезення дуже часто дозволяє не тільки зменшити масу перевезеного вантажу, але і підвищити його стійкість на платформі трала. Окрім вимоги щодо стійкості трала, існує жорстка вимога щодо надійності та плавності ходу підвіски трейлера. Ця вимога обумовлена великою масою та інерційністю броньованих машин [1- 3] (рис. 1).



Рисунок 1 – Транспортування танка трейлером

Для вдосконалення системи підвіски трейлера проаналізовані конструкції найбільш поширених типів.

Відома захисна підвіска яка складається із важеля, корпусу, осі, шпонки, двосекційного торсіону, гвинта, жорстко з'єданого з торсіоном, і гайки із зовнішніми шліцями [4].

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням двосекційного торсіону, гвинта, жорстко з'єданого з торсіоном, і гайки із зовнішніми шліцями:

- великі габарити підвіски;
- наявність рухомих різьбових та шліцьових з'єднань, які вимагають регулярного змащування спеціальним мастилом для підтримки роботоспроможності;
- складність та коштовність ремонтно-відновлювальних робіт.

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до схемотехнічного рішення, що пропонується, є захисна підвіска котра складається із основи, коротких торсіонних валів, які обертаються в підшипниках кочення, з одного боку через шліцьові втулки зафіксовані в основі, з другого боку містять еліптичні шийки, що взаємодіють з сегментами з фрикційного ма-

теріалу, та жорстко змонтовані зі стойками, які сполучені з корпусом контейнера [5].

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням еліптичних шийок, що взаємодіють з сегментами з фрикційного матеріалу:

- швидке зношування робочих ділянок шийок;
- необхідність застосування спеціально виготовлених для підвіски заміно-запасних частин;
- складність та коштовність ремонтно-відновлювальних робіт.

Таким чином, задачею є створення захисної підвіски для трейлерів, яка має компактну конструкцію, пристосовану для застосовувати у будь-яких температурних умовах, у якій підвищена зносостійкість демпфуючих елементів, знижені експлуатаційні ремонтні витрати та одночасно збережені простота схематехнічних рішень захисних підвісок відомих типів.

Поставлена задача вирішується тим, що захисна підвіска трейлерів для транспортування військової техніки, що складається з основи, яка містить короткі торсіонні вали, які обертаються в підшипниках кочення, які одного боку через шліцьові втулки зафіксовані в основі, та стоек, які сполучені з вантажем та яка відрізняється тим, що торсіонні вали з іншого боку мають ексцентрики, який натягують сталеві замкнені стрічки, обгорнуті навколо барабанів з фрикційним шаром.

Технічний ефект досягається завдяки тому, що комбінація торсіонних валів та елементів з фрикційного матеріалу забезпечує:

- ефективне демпфування деструктивних навантажень на всіх етапах вантажного та транспортного циклу вантажу;
- зменшення габариту та кількості додаткових механічних елементів у системі підвіски вантажу;
- збільшення терміну міжремонтного періоду підвіски;
- зниження експлуатаційних та ремонтних витрат.

Суть винаходу пояснюється кресленням (рис. 2), де зображена захисна підвіска для трейлерів з особливими вантажами, що складається з основи 1, шліцьових втулок 2, торсіонних валів 3, підшипників кочення 4, стоек 6 які сполучаються безпосередньо з вантажем. Торсіонні вали (фіг.2) мають на кінцях, протилежних до шліцьових, ексцентрики 7, який взаємодіють зі замкненими сталевими стрічками 8. Сталеві стрічки також охоплюють барабани 5, які вкриті фрикційним шаром та закріплені на основі. Барабани мажуть бути повернуті навколо своїх осей у випадку зношування робочої ділянки фрикційного шару.

Підвіска монтується на поверхнях трейлеру, які контактують з вантажними поверхнями особливих вантажів. Шліцьова втулка запресована до основи і взаємодіє з торсіонним валом завдяки відповідним шліцам на ньому.

При завершенні циклу завантаження контейнеру (торкання контейнеру поверхні трейлеру динамічне навантаження з вантажу передається до стоек крізь торсіонні вали.

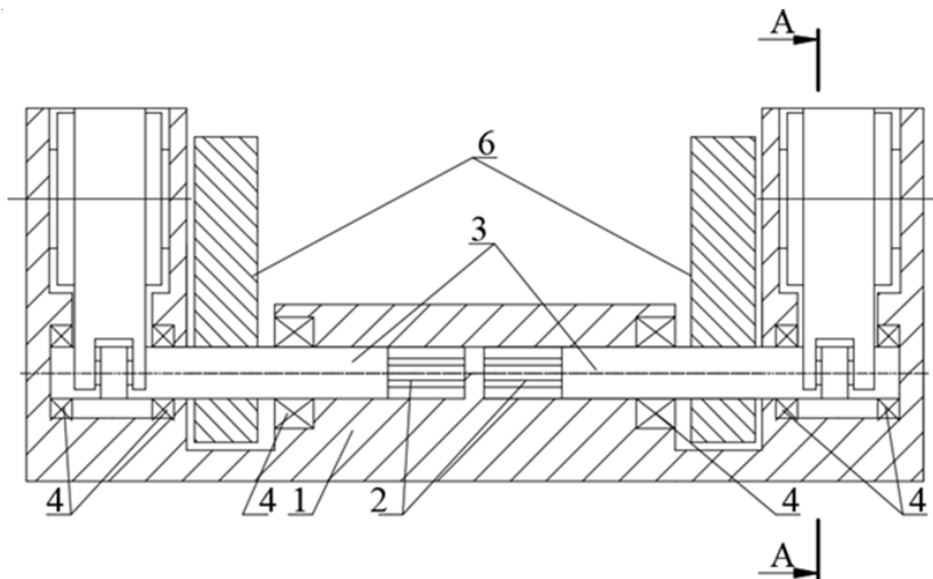


Рисунок 1 – Захисна підвіска трейлерів для транспортування особливих вантажів:
1 – основа; 2 – шліцьова втулка; 3 – торсійний вал; 4 – підшипники кочення; 6 – стойка.

Під впливом навантаження відбувається деформація кручення торсійних валів. Завдяки пружним деформаціям валу відбувається попереднє гасіння та демпфірування коливань вантажу та трейлеру [6]. При подальшому руху контейнеру до вантажної поверхні, завдяки крутінню торсійних валів, ексцентрики натягують сталеві стрічки, які вступають у взаємодію з фрикційним шаром нерухомих барабанів (рис. 2).

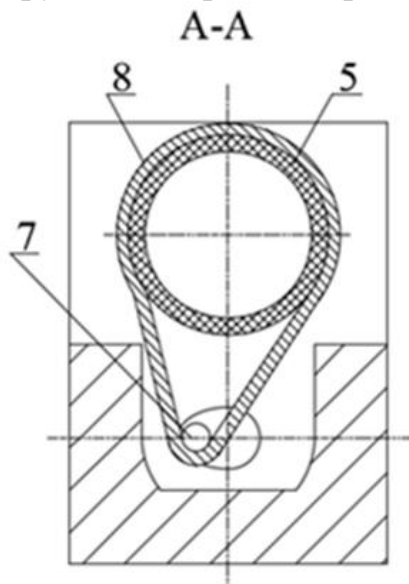


Рис. 2. Захисна підвіска трейлерів для транспортування особливих вантажів: 5 – барабан з шаром фрикційного матеріалу; 7 – ексцентрик; 8 – сталеві стрічка

Завдяки цьому контакту відбувається остаточне гасіння непродуктивних коливань вантажу та трейлеру та створюються умови для запобігання динамічних ударів вантажу об вантажну поверхню.

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію фрикційних та механічних елементів.

У першому динамічному режимі (торкання вантажу поверхні трейлеру (трюму, вагону) з відносно великою швидкістю) демпфування динамічних навантажень та деструктивних коливань контейнера відбувається за рахунок пружних деформацій торсійних валів.

У другому динамічному режимі (вторинне демпфування) при подальшому руху контейнеру до вантажної поверхні, завдяки крутінню торсійних валів, ексцентрики натягують сталеві стрічки, які вступають у взаємодію з фрикційним шаром нерухомих барабанів. Завдяки цьому контакту відбувається остаточне гасіння непродуктивних коливань вантажу та трейлеру та створюються умови для запобігання динамічних ударів вантажу об вантажну поверхню.

ЛІТЕРАТУРА

1. Перевезення військової техніки. URL: <https://neolit.ua/ua/articles/92>.
2. Вікович, І. А., Дубневич, О. М., Черевко, Ю. М. Віброзахист вантажів під час їх транспортування // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2008. – № 613. – С. 85-89.
3. Малащенко, В. О., Ніколайчук, В. В., Тимейчук, О. Ю. З'єднання змінної жорсткості: монографія. [Електронне видання]. – Рівне: НУВГП, 2020. – 97 с.
4. А. с. 975462 СССР, МКИ³ B60G 11/18. Торсионная подвеска транспортного средства / В. М. Юрин. – № 2926446/27-11. – заявл. 19.05.80. – опубл. 23.11.82, бюл. № 43.
5. Патент України № 150474. МПК (2006) B60G 11/00. Захисна підвіска для контейнерів з особливими вантажами / М. О. Опришко; Заявник та володар патенту Національний університет "Одеська морська академія". – u202104793. – заявл. 25.08.21; опубл. 24.02.2022, бюл. № 8/2022. – 3 с.
6. Малащенко, В. О., Ніколайчук, В. В. Оптимізація конструктивних параметрів з'єднань змінної жорсткості транспортних засобів // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування: Всеукраїнська науково-практична конференція. – Херсон, 2012. – С. 105-109.
7. Патент України на винахід № 122983. МПК G01G 11/10 (2006.01), G01G 21/10 (2006.01), B65G 39/02 (2006.01), B60G 11/18 (2006.01), B60G 17/02 (2006.01), B62D 55/108 (2006.01). Система адаптивної підвіски стрічкового транспортера / А. К. Сандлер, Ю. М. Цюпко; заявники та володарі патенту Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М. – a201810698. – заявл. 29.10.2018; опубл. 27.01.2021, бюл. № 4/2021. – 3 с.

УДК 623.526.7

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕЖЕКЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ТАНКОВОЇ ГАРМАТИ

А.К. Сандлер, к.т.н., доцент
Ю.І. Журавльов, к.т.н., доцент
Д.В. Даниленко, к.ю.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. На підставі відомого аналізу процесів і факторів, що спричиняють деградацію параметрів стволів артилерійського озброєння, запропоновано нове схемотехнічне рішення системи продувки каналу ствола. Запропоноване рішення відрізняється тим, що повітропровід ресивера спрямований до повітряного впускного клапану ежектора гармати, а повітряний клапан ресивера знаходиться у кінематичному зв'язку з газовим клапаном ежектора.

Ключові слова: гармата, ствол, ежектор

IMPROVEMENT OF THE TANK CANNON EJECTION SYSTEM

A.K. Sandler, Ph.D., associate professor
Y.I. Zhuravlyov, Ph.D., associate professor
D.V. Danylenko, Ph.D., associate professor
National University «Odessa maritime academy»

Abstract. On the basis of the well-known analysis of processes and factors that cause the degradation of the parameters of artillery barrels, a new circuit-technical solution of the barrel bore blowing system is proposed. The proposed solution differs in that the air duct of the receiver is directed to the air inlet valve of the gun ejector, and the air valve of the receiver is in kinematic connection with the gas valve of the ejector

Key words: gun, barrel, ejector

Ствол – основна частина артилерійського озброєння. Тому крім бойових характеристик важливе значення для нього мають експлуатаційні властивості, однією з найважливіших є живучість ствола, яка характеризується кількістю пострілів, що можна здійснити зі ствола без зниження балістичних характеристик снаряда до наперед заданого рівня. Таким чином, ствол є конструкцією, яка в процесі експлуатації і застосування за призначенням накопичує ушкодження, що до певного рівня не впливають на показники зовнішньої балістики, або можуть бути компенсовані конструктивно або методично. Явище зносу стволів досліджувалося багатьма авторами як в експериментальному, так і в теоретичному плані. На сучасному етапі в основному визначені механізми зносу, причини, які його викликають, а також розроблені заходи щодо зменшення зносу, є окремі оцінки впливу величини і характеру зносу на критерії, що визначають живучість ствола. Тривалість терміну служби нарізного чи гладкого ствола залежить від багатьох причин: конструкції ствола, кількості випущених боєприпасів, сортів пороху і експлуатаційних умов. Стволи, що мають тріщини або роздуття, бракуються і вважаються не придатними до використання. Знос і руйнування ствола залежать від великого числа факторів різної природи. Для того щоб зберегти ствол боєздатним якомога довше, треба добре уявляти собі ті шкідливі для нього процеси, які відбуваються в каналі ствола під час пострілу і після нього.

Зазвичай причини, що викликають знос і деформацію ствола, об'єднують у три основні групи:

1. Причини механічного характеру (тертя): знос каналу ствола спричиняється зміною діаметра каналу по нарізах і по полях, а також зміною профілю нарізки.

При врізанні снаряда в нарізи внаслідок великого тертя відбувається їх знос, який збільшується з наступними пострілами. Поля нарізів на відстані 3-6 калібрів від початку нарізів при великому числі пострілів зовсім викришуються і зникають. Ще однією причиною зносу ствола є механічне стирання під час неправильного його чищення.

2. Причини термічного характеру: висока температура порохових газів сильно, але неоднаково, нагріває шари стінок ствола. Внаслідок короткочасності пострілу висока температура встигає передатися лише дуже тонкому внутрішньому шару, який, прагнучи розширитися, зустрічає протидію менш нагрітих зовнішніх шарів металу.

Після пострілу настає швидке охолодження внутрішнього шару, і він починає скорочуватися. Внутрішні ж шари, охолоджуючись значно повільніше, будуть затримувати це стискання. Таке почергове стиснення і розширення внутрішнього шару викликає появу на ньому сітки тріщин (сітки розпаду). Покрытий сіткою тріщин поверхневий шар під дією порохових газів поступово викришується, і частинки металу, що відкололися, виносяться з каналу ствола.

3. Причини хімічного характеру: деградація поверхні каналу ствола під впливом хімічного складу порохових газів.

Наявність оксиду вуглецю і азоту в продуктах розкладання порохового заряду викликає цементацію і нітрування стінок ствола, що надають поверхневому шару велику крихкість. Великий вплив на знос ствола має нагар, що утворюється при пострілі. Кількість нагару в стволі залежить від числа пострілів і якісного стану ствола. Чим більше зроблено пострілів і чим гірший стан ствола, тим більше в ньому залишається нагару.

До пострілу поверхня каналу ствола з усіма її рисками, порами, тріщинами вкрита тонким шаром мастила. Після кількох пострілів мастило згорає, поверхня каналу ствола покривається рихлим шаром нагару, під яким до металу приплавилися склоподібні часточки солей. На окремих місцях поверхні каналу приплавляються часточки металу, зірвані з оболонки снаряда.

Солі, що знаходяться в нагарі, легко вбирають вологу з повітря і перетворюються на насичені розчини солей, що викликають посилене іржавіння металу [1 - 3].

Якщо узагальнити наведені причини, то можливо визначити значний вплив якості продувки ствола на його живучість.

Відома система продувки ствола, що складається з ресиверу, який являє собою кільцеву камеру, утворену стінками стволу й спеціальним сталевим тонкостінним кожухом. Ресивер розташовується в дуловій частині стволу або на відстані до 10 ... 15 калібрів від дулового зрізу. На ділянці його розміщення в стінці стволу є отвір з кульковим клапаном (впускний отвір), а також сопловий блок з похилими отворами, рівномірно розташованими по колу [4].

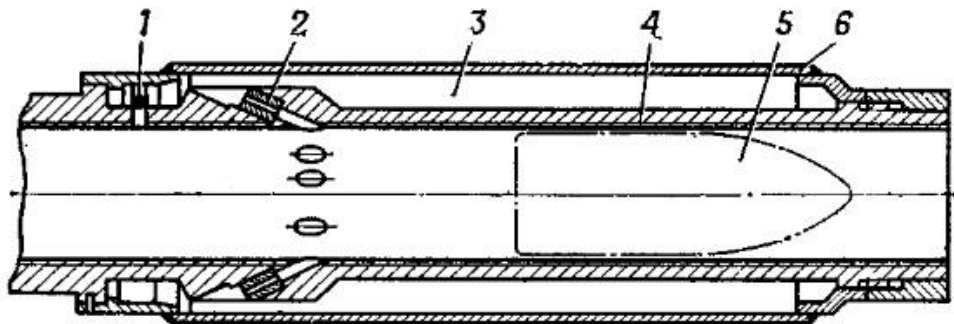


Рисунок 1 – Ежектор для продувки каналу ствола гармати: 1 – кульковий клапан; 2 – сопло; 3 – порожнина ресивера; 4 – ствол; 5 – снаряд; 6 – кожух ресивера.

Недоліки полягають у тому що, продувка стволу здійснюється тим ж продуктами згоряння порохового заряду, що і містяться у стволі під час пострілу. Тобто продукти згоряння та продукти трибологічного контакту снаряду та ствола гармати в змозі залишатися у каналі ствола.

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, до рішення, що пропонується, є система, що складається з поршневого компресора, шатун якого одним кінцем рухливо з'єднаний із затвором або затворною рамою, а іншим кінцем – з поршнем за допомогою пальця, а ресивер

з'єднаний випускним клапаном із циліндром компресора, повітропровід ресивера спрямований у патронник каналу ствола [5].

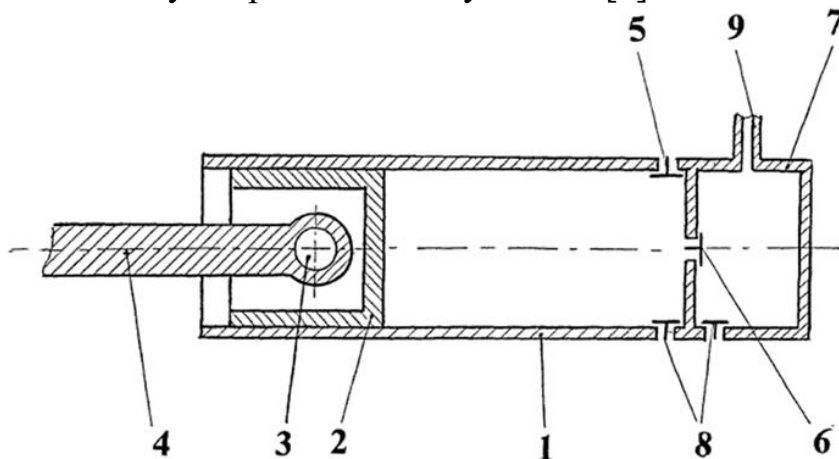


Рисунок 2 – Система продувки каналу ствола артилерійської гармати: 1 – кульковий клапан; 2 – сопло; 3 – порожнина ресиверу; 4 – ствол; 5 – кожух ресивера; 6 – повітряний клапан; 7 – поршневого компресора; 8 – повітряний ресивер; 9 – блок клапанів ресиверу; 10 – повітря провід

Недоліки спрямування повітря безпосередньо у патронник каналу ствола полягають у такому:

- контакт відносно холодного повітря з найбільш термонапруженою частиною гармати може викликати деструкцію металу стволу у вигляді тріщин та подальшої руйнації;
- порушення структурної цілісності патронника ствола отвором під повітропровід значним чином ослаблює міцність найбільш механічно-напруженої частиною гармати;
- складність очистки отвору під повітропровід.

Таким чином актуальною науково-технічною задачею є створення системи продувки каналу ствола артилерійської гармати, що забезпечить уникнення залишкового забруднення каналу стволу продуктами згоряння та трибологічного контакту, яка не створює надмірних напружень у матеріалі стволу та у якому одночасно збережені простота схемотехнічних рішень систем відомих типів.

Поставлена задача вирішується тим, що система продувки каналу ствола артилерійської гармати, що складається з поршневого компресора, шатун якого одним кінцем рухливо з'єднаний із стволом гармати, а іншим кінцем – з поршнем за допомогою пальця. Ресивер з'єднаний випускним клапаном із циліндром компресора. Відмінність системи полягає у тому, що повітропровід ресивера спрямований до повітряного впускного клапану ежектора гармати, а повітряний клапан ресиверу знаходиться у кінематичному зв'язку з газовим клапаном ежектора.

Суть системи пояснюється кресленням (рис. 3), де зображений компресор, який складається із циліндра 1, поршня з кільцями 2, пальця 3, шатуна 4, впускного клапана з фільтром 5 і випускного клапана 6 на циліндрі, ресивера 7, двох дренажних клапанів 8 (один у нижній частині циліндра).

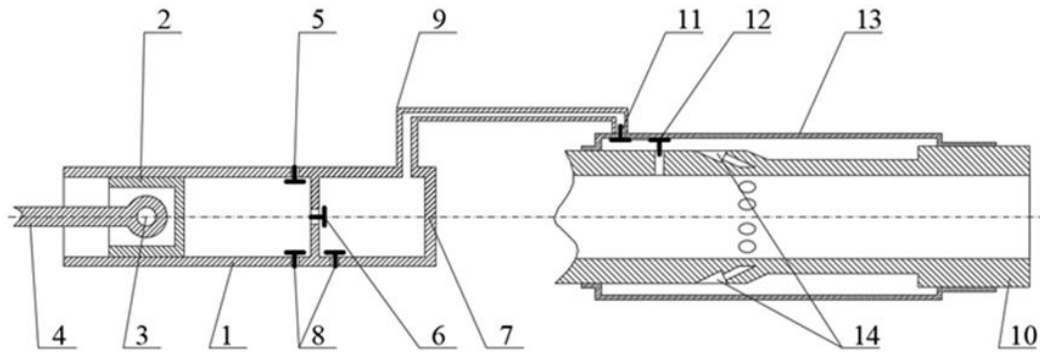


Рисунок 3 – Система продувки каналу ствола артилерійської гармати: 1 – циліндр; 2 – поршень; 3 – палець; 4 – шатун; 5 – впускний клапан з фільтром; 6 – випускний клапан; 7 – ресивер; 8 – випускні клапани; 9 – повітряпровод; 10 – ствол; 11 – повітряний клапан; 12 – газовий клапан; 13 – ежектор; 14 – сопловий блок.

Ресивер поєднаний повітропроводом 9 з кожухом ежектора 13. У кожусі міститься повітряний клапан 11 який знаходиться у кінематичному зв'язку з газовим клапаном 12. Клапан 12 відкриває доступ продуктам згоряння порохового заряду до порожнини ежектора та соплового блоку 14 з похилими отворами, рівномірно розташованими по колу під кутом $\sim 25^\circ$ до осі каналу ствола 10. Ежектор розташовується на відстані до 10 ... 15 калібрів від дулового зрізу. Два випускні клапани 8, один з яких установлений у нижній частині циліндра 1 компресора й іншої – у нижній частині ресивера 7, необхідні для дренажу води, якщо зброя була затоплена водою. При натисканні на зазначені клапани 8 відбувається їхнє відкриття й вода зливається.

Для здійснення схемотехнічного рішення застосовано комбінацію пневмомеханічних елементів. Компресор для подачі повітря і продувки каналу ствола працює в такий спосіб. Під час руху ствола в заднє крайнє положення шатун 4, з'єднаний рухливо зі стволом, буде робити зворотно-поступальний рух, що надасть руху поршню 2, з'єднаний із шатуном 4 пальцем 3. Поршень 2 перебуває в циліндрі 1 і при відкоті ствола назад, при пострілі, буде переміщатися назад. При цьому повітря, що перебуває усередині циліндра 1, буде стискуватися й через випускний клапан 6 буде перекачуватися в ресивер 7, де буде підвищуватися тиск повітря, яке по повітропроводу 9 буде спрямовано в ежектор і повітря стане продувати канал ствола. При русі ствола вперед, шатун 4 з поршнем 2 також рухаються вперед. У результаті в циліндрі 1 буде відбуватися зниження тиску й відкриватися впускний клапан 5, і очищений фільтром повітря буде заповнювати циліндр 1. Повітря в ресивері 7 з моменту підвищення тиску по повітропроводу 9 буде спрямоване в ежектор 13. Під час пострілу, після того як снаряд пройде впускний отвір, частину порохових газів з каналу ствола, піднявши клапан 12, заповнює ежектор. Коли величини тиску газів, що перебуває у ньому й у каналі ствола, зрівнюються, заповнення ежектора газами припиняється. При подальшому русі снаряда тиск газів у каналі ствола стане менше, чим у ежекторі, клапан 12 опускається й закриває впускний отвір, а порохі газові починають виходити з ежектора з великою швидкістю через сопловий

блок 14 убик дулової частини стволу. Позад них утворюється область розрідження, у яку спрямовуються порохові гази, що залишилися в каналі стволу й гільзі; далі через дуловий зріз стволу вони попадають в атмосферу. Після закриття клапану 12 відкривається клапан 11 і повітря потрапляє до порожнини ежектора та здійснює додаткову продувку ствола. Таким чином, продувка каналу ствола буде відбуватися не тільки за рахунок продуктів згоряння, але й за рахунок динамічного руху стислого повітря, що значно поліпшує продувку каналу ствола й збільшує відвід тепла.

Технічний ефект досягається завдяки тому, що комбінація пневматичних елементів та ежектора забезпечує:

- уникнення залишкового забруднення каналу стволу продуктами згоряння та трибологічного контакту;
- уникнення надмірних напружень у матеріалі стволу;
- підвищення ресурсу стволу гармати;
- зниження впливу продуктів згоряння на розрахунок гармати.

ЛІТЕРАТУРА

1. Цибуляк, Б. З. Деградація параметрів стволів артилерійського озброєння в процесі експлуатації// Військово-технічний збірник. 2016. – №14. – Львів: Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного. – С. 121-126. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.14.2016.121-126>.
2. Орлов, Б. В., Ларман, Э. К., Маликов, В. Г. Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий. – М.: Машиностроение, 1976. – 432 с.
3. Морозов, К. В. Артиллерийское и ракетное оружие кораблей. – М.: ДОСААФ, 1971. – 176 с.
4. Дерев'янчук, А. Й., Шелест, М. Б. Артилерійське озброєння і боєприпаси. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 415 с.
5. Патент РФ RU 2531664. МПК F41A 13.00 (2006.01) F41A 13.04 (2006.01). Система охлаждения оружейных стволов/ А. И. Симоненко, А. Д. Афанасенко, Г. Ф. Музыченко; заявители и патентообладатели Симоненко А. И., Афанасенко А. Д., Музыченко Г. Ф. – 2013102394/11. – заявл. 17.01.2013. – опубл. 27.10.2014, бюл. № 30. – 6 с.

УДК 347.79

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ МОРСЬКИХ ПРОСТОРІВ У СУЧАСНИЙ ПЕРІОД

О.В. Костира, к.ю.н., доцент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. З початком повномасштабної російської агресії проти України питання класифікації морських просторів і встановлення в них правових режимів стали дуже актуальними. Конвенція Організації Об'єднаних Націй з морського права 1982 року визначає термінологію і порядок спільного і суверенного використання морських територій. Міжнародне право закріплює суверенітет держав та їхньої території, особливості придбання та втрати території суб'єктами міжнародного права.

TOPICAL ISSUES OF MARITIME SPACE CLASSIFICATION IN THE MODERN PERIOD

O.Kostyria, Candidate of Law, Associate Professor
National University «Odesa Maritime Academy»

Abstract. *Since the beginning of the full-scale Russian aggression against Ukraine, the issues of the classification of maritime spaces and establishment of legal regimes in them have become very relevant. The 1982 United Nations Convention on the Law of the Sea defines the terminology and procedure for the common and sovereign use of maritime areas. International law enshrines the sovereignty of states and their territories, as well as the specifics of the acquisition and loss of territory by the subjects of international law.*

З давніх-давен простори морів і океанів слугують людству як терени різноманітної діяльності (мореплавства, видобутку живих і неживих ресурсів моря, наукових досліджень та ін.). У процесі цієї діяльності держави та міжнародні організації вступають у відносини одна з одною, які регулюються юридичними нормами, що становлять у цілому галузь міжнародно-правового регулювання, яка називається міжнародним морським правом.

Міжнародне морське право - це право морського простору, яке мирно розв'язує глобальні суперечки про морські кордони між державами та визначає різні юрисдикції морських зон, а також права та обов'язки прибережних держав у цих зонах [1].

На сучасному етапі розвитку людства тема класифікації морських просторів оновила своє значення і стала ще більш актуальною. Це пов'язано викликами та загрозами, що постали перед світовою спільнотою і, насамперед перед Україною, у зв'язку з військовим вторгненням Росії та тимчасовою окупацією українських територій. Це стосується і морського права. Йдеться, по-перше, про морські простори, які є складовою частиною державної території України та на які поширюється її державний суверенітет; по друге, про морські простори, які знаходяться за межами державної території – зони Світового океану, на які поширюється юрисдикція України; по третє, про морські простори – відкрите море – які є просторами здійснення рибальства, морських наукових досліджень, створення штучних островів та споруд тощо, а також військово-морської діяльності України із забезпечення своїх державних інтересів та державної безпеки. Особливо слід підкреслити участь України у Міжнародній конвенції з морського права 1982 року та обов'язковість виконання її положень [2, с. 4].

Конвенція Організації Об'єднаних Націй з морського права або морська конвенція - міжнародна угода, в якій визначено термінологію і порядок спільного і суверенного використання морських територій. Норми міжнародного права, що знайшли своє відображення в положеннях Конвенції Організації Об'єднаних Націй з морського права, визначають права і зобов'язання держав і забезпечують міжнародно-правове підґрунтя для здійснення захисту та сталого освоєння морських і прибережних районів та їхніх ресурсів [3].

Належність частини Світового океану до одного із зазначених видів морських просторів визначає правове становище, або правовий статус, цієї ча-

стини моря. Правовий статус морського простору чинить великий вплив на порядок встановлення і зміст правового режиму, що регулює діяльність у цьому просторі. При цьому враховуються значення відповідного морського простору для комунікацій, судноплавства та різних видів співробітництва між державами.

При розгляді класифікації морських просторів необхідно враховувати, що цю класифікацію не можна розглядати як уявлення про різних правових категоріях морських просторів, що сформувалося раз і назавжди. В силу історичного характеру міжнародного морського права це подання розвивалося, змінювалося і в цілому розширювалося. Так, якщо в період зародження і початкового розвитку міжнародного морського права всі води Світового океану розглядалися як одна правова категорія - води відкритого моря, то надалі з'явилися такі правові категорії, як територіальні води і архіпелажні води, а потім і такі правові категорії, які вже навряд чи можна узагальнити під терміном «води», оскільки для їх позначення більш прийнятний термін «морські простори». Маються на увазі континентальний шельф і міжнародний район морського дна [4].

Представники сучасної вітчизняної науки, такі як Аверочкіна Т., Гаверський В., Павко Я., розділяють морські простори на три юридичні категорії:

ті, що є невіддільна (частина/ознака) частиною території прибережної держави, в межах якої дії її суверенітет (внутрішні води, територіальне море); ті, що не входять до складу території прибережної держави, але підлеглі його юрисдикції (виключна економічна зона, прилегла зона, континентальний шельф); ті, що не підлеглі ані суверенітету, ані юрисдикції будь-якої держави (виключна економічна зона, прилегла зона (відкрите море).

На думку українського юриста - науковця Шемякіна О.М. усі нині наявні категорії морських просторів за їхніми правовими режимами можна об'єднати в чотири групи: простори, які входять до складу території держави та мають національно-правовий режим; простори з міжнародно-правовим режимом; простори зі змішаним режимом; простори зі спеціальним правовим режимом [5, с. 146].

Правовий режим внутрішніх морських вод України регулюється: Конституцією України, Кодексом торговельного мореплавства, Законом України про державний кордон, нормативно-правовими актами підзаконного характеру.

4 січня 2019 року набув чинності Закон України «Про прилеглу зону України», прийнятий Верховною Радою України 6 грудня 2018 року. З метою запобігання порушення законодавства України уповноважений орган може: зупиняти судна, оглядати судна, затримувати чи арештовувати судна та членів їх екіпажу, крім військових кораблів та інших державних суден, які використовуються з некомерційною метою. Якщо судно порушило законодавство України й робить спробу зникнути, уповноважений орган має право переслідувати таке судно по гарячих слідах [6].

Ще до початка повномасштабного вторгнення Росії в Україну, науковці Бабін Б. В. і Плешко О. О. звертали увагу на той факт, що після окупації Російською Федерацією Криму та м. Севастополя, виникло нагальне питання визначення меж окупованих територій України щодо морських внутрішніх вод і територіального моря, меж окупованих континентального шельфу і виключної

морської економічної зони України та правового режиму цих акваторій [7, с. 23].

Питання, що стосуються правового режиму території, мають у міжнародному праві суттєве значення. Міжнародне право закріплює суверенітет держав та їхньої території, особливості придбання та втрати території суб'єктами міжнародного права, на які не поширюється державний суверенітет і які не можуть бути об'єктом присвоєння [8, с. 94-95].

На думку Павко Я., з точки зору сучасних наукових підходів, класифікацію морського простору в юридичній площині необхідно здійснювати з урахуванням сутності та особливостей правового статусу. Такій концептуальний підхід відповідає нормам міжнародного морського права і спирається на відповідні положення Конвенції ООН з морського права 1982 року [9, с. 139].

Отже, Конвенція ООН з морського права 1982 року передбачає нормативне регулювання таких міжнародно-правових інститутів, як внутрішні морські води, територіальне море та прилегла зона, протоки, що використовуються для міжнародного судноплавства, континентальний шельф, відкрите море, міжнародний район морського дна, тобто розмежування й класифікацію морських просторів.

У зв'язку з військовим вторгненням Росії та тимчасовою окупацією українських територій тема класифікації морських просторів стала ще більш актуальною. Міжнародне право закріплює суверенітет держав та їхньої території, особливості придбання та втрати території суб'єктами міжнародного права.

ЛІТЕРАТУРА

1. Arif Ahmed. International Law of the Sea: An Overlook and Case Study. *Beijing Law Review*. 2017. Vol. 8, №1. Р. 21-21. URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=74577> (дата звернення 10. 09. 2022).
2. Аверочкіна Т.В., В.В. Гаверський. *Морське право: навчально-методичний посібник*. Одеса. Фенікс. 2021. С. 4.
3. Організація Об'єднаних Націй і морське право. *Організація Об'єднаних Націй і морське право*: веб-сайт. URL: <https://www.un.org/ru/law/lawsea/> (дата звернення 10. 09. 2022).
4. Джунусова Д.Н. *Міжнародне морське право*. URL: <http://yport.inf.ua/mejdunarodno-pravovaya-klassifikatsiya-morskih-55273.html> (дата звернення 10. 09. 2022).
5. Шемякин А.Н. *Морское право: учебное пособие*. Харьков. 2010. С.146.
6. Про прилеглу зону України: Закон України. *Відомості Верховної Ради*. 2019. № 3, ст.20. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2641-19#Text> (дата звернення 10. 09. 2022).
7. Бабін Б., Плешко О. До питання про відновлення прав України як прибережної держави в Чорному та Азовському морях. *Lex Portus*. 2017. № 4 (6). С. 23. URL: <http://dspace.onua.edu.ua/bitstream/handle/11300/8799/Babin%26Pleshko%20LP%204-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення 10. 09. 2022).
8. Буроменський. *Міжнародне право*. URL: <https://uristinfo.net/mezhdunarodnoe-pravo.html/139-mvburomenskij-mizhnarodne-pravo/3639-mvburomenskij-mizhnarodne-pravo.html> (дата звернення 10. 09. 2022).
9. Павко Я. Особливості правового статусу та правового режиму Арктики: термінологічні аспекти. *Вісник Львівського університету. Серія міжнародні відносини*. 2016. Випуск 39. С. 135 – 146. URL: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/intrel/article/viewFile/6372/6376> (дата звернення 10. 09. 2022).

ТЕХНІЧНИЙ ТА ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ НАСЛІДКІВ ВСТАНОВЛЕННЯ
СКРУБЕРІВ НА СУДНАХ

В.Б. Удолатій, асистент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. Аналіз техніко-економічних показників було проведено для танкера по перевезенню сирої нафти. Розглянуті відмінності у споживанні палива дизель-генераторами на основі суднового добового донесення зазначеного морського судна за аналогічні періоди до і після встановлення скрубера. Відповідно, були висвітлені зміни в обсягах шкідливих викидів. В результаті проведеного аналізу було виявлено, що споживання палива кожним дизель-генератором збільшується після встановлення скрубера. Тим не менш, впровадження скрубера на борту можна вважати прийнятним у світлі економічних результатів. Однак було визначено, що встановлення скрубера призводить до збільшення кількості всіх забруднюючих речовин, окрім SO_x . Таким чином, це суперечить меті мати судна з нульовим рівнем викидів та екологічній стратегії, заявленій ІМО.

Ключові слова: морські перевезення, екологічні норми, скрубери, шкідливі викиди, техніко-економічний аналіз.

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE CONSEQUENCES OF
INSTALLING SCRUBBERS ON SHIPS

V.B. Udolatii, assistant

National University «Odesa Maritime Academy»

Annotation. The analysis of technical and economic indicators was carried out for a crude oil tanker. The differences in fuel consumption by diesel generators based on the ship's daily report of the said vessel for similar periods before and after the installation of the scrubber were considered. Accordingly, changes in the volume of harmful emissions were highlighted. The analysis revealed that the fuel consumption of each diesel generator increased after the installation of the scrubber. Nevertheless, the introduction of the scrubber on board can be considered acceptable in light of the economic results. However, it was determined that the installation of the scrubber leads to an increase in all pollutants except SO_x . Thus, it is contrary to the goal of having zero emission ships and the environmental strategy stated by the IMO.

Keywords: maritime transport, environmental standards, scrubber, harmful emissions, feasibility analysis.

Морська галузь має важливе значення у світових вантажоперевезеннях, оскільки вона забезпечує 80% світових перевезень [1].

Однак судноплавство сприяє збільшенню кількості забруднюючих речовин, спричинених спалюванням величезної кількості палива. Міжнародна морська організація (ІМО), яка є нормотворчим органом і значним авторитетом для судноплавної галузі, запровадила пріоритетні застереження щодо зменшення забруднення довкілля, спричиненого морськими перевезеннями. Заходи, що розглядаються, включають розробку нових процедур експлуатації дизельних двигунів для зменшення споживання палива та зменшення викидів [2]. Встановлення та модернізація скруберів на судах є одним з найбільш використовуваних методів морської індустрії для досягнення відповідності обмеженням на викиди SO_x на існуючих судах.

Вважається, що впровадження цієї системи викликає не тільки зменшення викидів SO_x , а і деякі зміни в роботі судна. Хоча система скрубєрів, пропонує ефективне рішення для запобігання викидів оксидів сірки на морських судах, однак це призводить до додаткового вироблення електроенергії дизельними генераторами (ДГ) і, відповідно, до додаткового споживання палива. Оскільки на судах, обладнаних скрубєром, для зменшення експлуатаційних витрат використовується важке паливо (HFO), то в результаті додаткового споживання палива можливе збільшення частки інших видів викидів, на відміну від SO_x .

Беручи до уваги суднове добове донесення, розглядається вплив установки скрубєра на такі питання, як виробництво електроенергії та споживання палива.

Для виконання техніко-економічного аналізу були розглянуті щоденні звіти танкера-нафтовоза, що курсує у відкритому морі, в аналогічних умовах плавання, до і після встановлення скрубєра. Проведено порівняння у виробленні електроенергії, споживанні палива та кількості викидів, що виділяються дизельними генераторами. Техніко-економічний аналіз обмежується проектом з відкритим циклом, оскільки судно, на якому були отримані дані, було обладнано скрубєром цього типу. Однак, наведені нижче розрахунки можуть бути застосовані і для інших морських суден з іншим типом скрубєра. Щоб порівняти відмінності, які виникають у виробництві електроенергії та споживанні палива в дизель-генераторах, були зібрані аналогічні дані з щоденного звіту судна, які охоплювали період до і після установки скрубєра (вибіркові періоди доби, стан завантаження судна, стан рейсу судна).

Таблиця 1 – Технічні характеристики судна

Технічні характеристики судна	
Тип судна	нафтовий танкер Suezmax
Дедвейт (DWT)	159.500
Валова місткість (GRT)	83.377
Довжина, м	273.7
Ширина, м	48
Головний двигун	MAN 6S70ME-C
Потужність головного двигуна, кВт	19.620
Генератор	MAN 7L23/30 × 3 комплекти
Потужність генератора, кВт	1050 × 3 комплекти
Котел	Alfa Laval Aalborg OL Boiler × 2 комплекти
Тип скрубєра	U-подібний мокрий скрубєр з відкритим контуром

Більшість морських рейсів було здійснено в Балтійському та Червоному морях. Судно перебувало в завантаженому стані 59% проаналізованого часу, решту - у баластному стані на стоянці. Середня швидкість судна під час рейсу становила близько 9 вузлів. Викиди в атмосферу були розраховані, виходячи з кількості споживання палива та коефіцієнту викидів [5] як:

$$E_{trip} = \sum_p (FC_{j,m,p} * EF_{i,j,m,p}) \quad (1)$$

де E_{trip} - кількість викидів за весь рейс (тон), FC - витрата палива (тон), EF - коефіцієнти викидів (кг/тону), i - тип викидів (NO_x , SO_x , CO_2 , $PM_{2.5}$, PM_{10}), j - тип двигуна (низькообертовий, середньообертовий, високообертовий), m - тип палива (VLSFO, HFO, MGO/MDO), а p - різні умови рейсу (круїз, стоянка, маневрування). Використані коефіцієнти викидів представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Використані коефіцієнти викидів [5].

Тип палива	NO_x (кг/т)	SO_x (кг/т)	CO_2 (кг/т)	PM_{10} (кг/т)	$PM_{2.5}$ (кг/т)
HFO	75.90	50.83	3.114	7.55	6.94
MGO	56.71	1.37	3.206	0.90	0.83

VLSFO - це сумішеве паливо, яке є сумішшю низькосірчаного мазуту (MGO) на 80% та HFO на 20% [7].

Коефіцієнт викидів був визначений відповідно до співвідношення змішування і використаний в розрахунках. Ефективність скорочення викидів скрубром була прийнята на рівні 97% для SO_x [8] та 10% для $PM_{2.5}$ [9].

Для проведення техніко-економічного аналізу були визначені середні потреби в електроенергії та загальні обсяги палива для ДГ за 2 місяці до і після встановлення скрубера на основі суднового добового донесення. Отримані результати представлені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати енергетичного та паливного аналізу

Потреба в електроенергії, кВт			
Потужність ДГ	До встановлення скрубера	Після встановлення скрубера	Збільшення, %
Середня потужність ДГ1	416.43	463.41	11.28
Середня потужність ДГ2	403.16	473.42	17.43
Середня потужність ДГ3	409.77	476.18	16.21
Витрата палива, тон			
Використане паливо	60 днів до встановлення скрубера, VLSFO	60 днів після встановлення скрубера, HFO	Збільшення, тон
	2953	3388	

Зрозуміло, що загальна потреба в енергії збільшується в результаті застосування скрубера. Спостерігається збільшення виробництва електроенергії ГД приблизно на 11%, 17% і 16% відповідно. За 2 місяці застосування скрубера споживається додатково 435 тон палива. Оскільки у порівнюваних періодах використовувались два види палива, які мають різні коефіцієнти викидів забруд-

нюючих речовин, то і викиди, що потрапляють в атмосферу, є різними. Результати, пов'язані з викидами, представлені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Порівняння викидів до і після встановлення скрубера.

Викиди в атмосферу, тон					
Період спостережень	CO ₂	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
за 2 місяці до встановлення скрубера	9.413	178.8	30.1	4719	4335
2 місяці після встановлення скрубера	10.55	257.1	5.126	25.6	21.2

З таблиці 4 видно, що в результаті встановлення скрубера ефективно зменшуються викиди SO_x, в той час як інші види викидів зростають через використання HFO та більше споживання палива. Крім того, хоча ефект скорочення викидів PM_{2.5} припускався 10%, кількість цього забруднювача є вищою порівняно із зазначеним судном без скрубера. Крім того, збільшення кількості викидів CO₂ суперечить стратегії декарбонізації запровадженої ІМО.

У цьому дослідженні було розглянуто скрубєрну систему, якій часто віддають перевагу морські судноплавні компанії в процесі дотримання вимог 2020 року щодо викидів сірки, запроваджених ІМО. Визначено деякі негативні наслідки її застосування для суден.

Висновки. Відповідно до проведеного техніко-економічного аналізу на основі щоденних звітів, отриманих з судна, було визначено, що споживання палива в ДГ збільшилося в результаті застосування скрубера. Підвищення споживання палива, у свою чергу спричиняє збільшення всіх шкідливих викидів, крім SO_x. Ця ситуація показує, що впровадження скрубера є ефективним варіантом для дотримання обмежень на викиди сірки, але це суперечить стратегії декарбонізації визначеній ІМО. Впровадження системи очищення вихлопних газів за допомогою скрубера дозволяє морським компаніям експлуатувати свої судна більш економічно використовуючи мазут (HFO), вміст сірки в якому становить 3,5%, але призводить до збільшення шкідливих викидів газів, за винятком SO_x. Крім того, проведений аналіз дає змогу зробити прогноз до застосування скрубєрних систем надалі.

ЛІТЕРАТУРА.

1. UNCTAD. Review of Maritime Transport 2020; United Nations; Geneva, Switzerland; 2020.
2. Tadros, M.; Ventura, M.; Guedes Soares, C. Optimization of the performance of marine diesel engines to minimize the formation of SO_x emissions. J. Mar. Sci. Appl. 2020, 19, 473–484.
3. Удолатій В.Б. Огляд методів зниження токсичності газових викидів суднових енергетичних установок від оксидів сірки // матеріали ХІІ Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика» – Одеса: НУ "ОМА". – 2022. – С. 146-150.
4. DNV GL. Alternative Fuel Insight. Available online: <https://afi.dnvgl.com/Statistics> epId=2 (accessed on 9 March 2022).
5. Trozzi, C. Emission Estimate Methodology for Maritime Navigation; US EPA; 19th International Emissions Inventory Conference; Texas, USA; 2010 Roma, Italy, 2010.
6. IMO. Fourth IMO GHG Study Executive Summary; IMO: London, UK, 2020.
7. Pavlenko, N.; Comer, B.; Zhou, Y.; Clark, N.; Rutherford, D. The Climate Implications of Using LNG as a Marine Fuel; Technical Report by International Council on Clean Transportation; 2020.

8. ABS. Advisory on Exhaust Gas Scrubber Systems; American Bureau of Shipping; TX, USA; 2018. 46. Ni, P.; Wang, X.; Li, H. A Review on Regulations, Current Status, Effects and Reduction Strategies of Emissions for Marine Diesel Engines. Fuel 2020, 279, 118477.
9. Yang, J.; Tang, T.; Jiang, Y.; Karavalakis, G.; Durbin, T.D.; Wayne Miller, J.; Cocker, D.R.; Johnson, K.C. Controlling Emissions from an Ocean-Going Container Vessel with a Wet Scrubber System. Fuel 2021, 304, 121323. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121323>.

УДК 628.32.2

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНВЕСТИЦІЙ В СКРУБЕРНІ СИСТЕМИ НА МОРСЬКИХ СУДНАХ

В.Б. Удолатій, асистент

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: Впровадження скрубберних систем є ефективним варіантом для дотримання обмежень на викиди оксидів сірки у навколишнє середовище. В роботі висвітлено економічне обґрунтування щодо інвестування в оснащення скрубберною системою танкера-нафтовоза. Була проведена фінансова оцінка модернізації за трьома економічними показниками. В результаті проведеного аналізу було виявлено, що впровадження скрубера на борту можна вважати прийнятним у світлі економічних результатів.

Ключові слова: морські перевезення, скруббер, грошові потоки, економічні показники.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF INVESTMENTS IN SCRUBBER SYSTEMS ON MARINE VESSELS

V.B. Udolatii, assistant

National University «Odesa Maritime Academy»

Annotation: The introduction of scrubber systems is an effective option for complying with Sulphur oxide emission limits. The paper presents a business case for investing in a scrubber system for an oil tanker. A financial assessment of the modernization was carried out using three economic indicators. The analysis revealed that the introduction of a scrubber on board can be considered acceptable in light of the economic results.

Keywords: maritime transport, scrubber, cash flows, economic parameters.

Встановлення та модернізація скрубберів на суднах є одним з найбільш використовуваних методів морської індустрії для досягнення відповідності по обмеженням на викиди оксидів сірки (SO_x) на існуючих суднах. Інтерес морської індустрії до впровадження скрубберів на суднах зріс у період дотримання обмежень на викиди сірки IMO 2020. Скруббер - це система, яка забезпечує видалення SO_x і зменшення вмісту тонкодисперсних частинок (PM) у вихлопних газах. Під час перехідного періоду встановлення скрубберів відбувалося як на модернізованих суднах, так і на нових приблизно на 70% і 30% відповідно.

Зростання загальної кількості суден зі скруббером (в експлуатації та на стадії замовлення) за останні десять років показано на рисунку 1. Впровадження системи очищення вихлопних газів за допомогою скрубера дозволяє морським компаніям експлуатувати свої судна більш економічніше використовуючи мазут (HFO), вміст сірки в якому становить 3,5% замість мазуту, вміст сірки в якому не більше ніж 3,5% (VLSFO).



Рисунок 1 – Зростання загальної кількості суден зі скруберами

В роботі виконано економічне обґрунтування установки скрубера на танкер-нафтовоз, який має систему з відкритим контуром. Аналіз обмежується лише цією системою, але на цьому етапі слід підкреслити, що приблизно 81% суден зі скруберами у світовому флоті мають відкриту конструкцію [1].

Таблиця 1 – Технічні характеристики судна

Технічні характеристики судна	
Тип судна	нафтовий танкер Suezmax
Дедвейт (DWT)	159.500
Валова місткість (GRT)	83.377
Довжина, м	273.7
Ширина, м	48
Головний двигун	MAN 6S70ME-C
Потужність головного двигуна, кВт	19.620
Генератор	MAN 7L23/30 × 3 комплекти
Потужність генератора, кВт	1050 × 3 комплекти
Котел	Alfa Laval Aalborg OL Boiler × 2 комплекти
Тип скрубера	U-подібний мокрий скрубер з відкритим контуром

Економічна оцінка була здійснена за допомогою чистої теперішньої вартості (NPV), розрахунку простого періоду окупності (SPP) та розрахунку дисконтованого періоду окупності (DPP) [3]:

$$NPV_{(currency)} = T \left\{ \begin{array}{l} \sum_{t=0}^L [C_{(t,r)} + B_{(t,r)}] \\ d = 8\% \\ d = 5\% \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$SPP_{(years)} = T \left\{ \begin{array}{l} \sum_{t=0}^L [C_{(t,r)} + B_{(t,r)}] = 0, \\ d = 0 \end{array} \right\} \quad (2)$$

$$DPP_{(years)} = T \left\{ \begin{array}{l} \sum_{t=0}^L [C_{(t,r)} + B_{(t,r)}] = 0, \\ d = 8\% \\ d = 5\% \end{array} \right\} \quad (3)$$

де $C_{(t,r)}$ представляє витрати, а $B_{(t,r)}$ - вигоди, і ці параметри можуть бути

розраховані наступним чином [3]:

$$C_{(t,r)} = C_I + \sum_{t=1}^L \frac{O \& M_t}{(1+d)^t} \quad (4)$$

$$B_{(t,r)} = \sum_{t=1}^L \frac{[(F_{HFO} * P_{HFO}) - (F_{VLSFO} * P_{VLSFO})] + B_{ind}}{(1+d)^t}, \quad (5)$$

де C_I - капітальні витрати на скруббер,

$O \& M_t$ - витрати на технічне обслуговування,

d - ставка дисконтування,

P_{HFO} та P_{VLSFO} - ціни на паливо,

F_{HFO} та F_{VLSFO} - поточний обсяг споживання.

B_{ind} вказує на непрямі вигоди, такі як попередній вхід до порту та вуглецеві кредити [3]. Капітальні витрати на скруббер були визначені як 55 доларів США/кВт [4], а $O \& M_t$ вважається 1 % від капітальних інвестицій [5].

Капітальні витрати на скруббер, визначені на основі змінного коефіцієнту інвестиційних витрат і становить 1079100 доларів США, а коефіцієнт $O \& M_t$ дорівнює 10791 долар США.

Ціни на VLSFO та HFO були взяті на рівні 723 доларів США та 499 доларів США відповідно [6]. Згідно до цієї інформації економічна оцінка застосування скрубберної системи здійснюється за допомогою NPV , SPP та DPP з використанням фінансових рівнянь 1, 2, 3.

NPV і DPP розраховуються для 1 року з використанням 2 різних ставок дисконтування, які становлять 5% і 8%. Таким чином, $NPV_{d=5\%}$ та $NPV_{d=8\%}$ розраховуються як 2407946,27 доларів США та 2352598,17 доларів США відповідно. Різниця в грошових потоках від інвестицій на основі ставок дисконтування та відповідних періодів окупності показано на рисунку 2.

В той час як SPP визначається на рівні 0,30 року, DPP розраховується на рівні 0,34 та 0,37 року для ставок дисконтування 5% та 8% відповідно. Беручи до уваги тривалість життя судна, ці економічні результати дають зрозуміти, що судноплавні компанії проводять інтенсивну адаптацію скрубберів у процесі дотримання обмежень на викиди сірки.

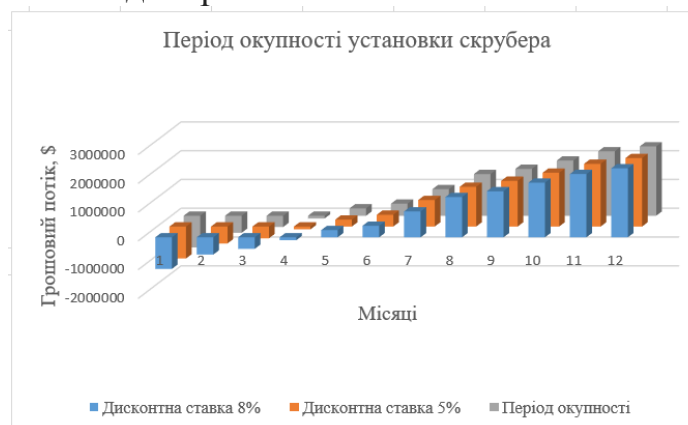


Рисунок 2 – Грошові потоки та період окупності установки скрубера на основі різних ставок дисконтування

Незважаючи на збільшення споживання палива після встановлення скрубберної системи, операційні витрати заощаджуються, оскільки НФО дешевше, ніж VLSFO. Інвестиції в скруббер фінансово оцінюються за трьома різними економічними показниками: *NPV*, *SPP* та *DPP*. Відповідно до розрахованих значень, установка є прийнятною з фінансової точки зору. Період погашення був визначений в межах 0,3-0,4 року, який змінюється відповідно до дисконтної ставки.

Висновки. В роботі був зроблений аналіз доцільності застосування скрубберної системи на судах для здійснення океанських перевезень з економічної точки зору. Для економічного аналізу системи було розраховано чисту теперішню вартість і період окупності установки при різних відсоткових ставках. Інвестиції оцінюються в рамках трьох різних економічних показників і зроблено висновок, що інвестиції є прийнятними.

ЛІТЕРАТУРА

1. DNV GL. Alternative Fuel Insight. Available online: <https://afi.dnvgl.com/Statistics?repId=2> (дата відвідування 16 листопада 2023).
2. Удолатій В.Б. Оцінка ефективності роботи систем очищення димових газів морських суден при використанні скрубберів// матеріали науково-технічної конференції "Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт" – Одеса: НУ "ОМА". – 2023. – С. 229-239.
3. Karatug, C. Durmuşoğlu, Y. Design of a Solar Photovoltaic System for a Ro-Ro Ship and Estimation of Performance Analysis: A Case Study. Sol. Energy 2020, 207, 1259–1268. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.037>.
4. Vanhamme, E. Assessment of Fuel Oil Availability Final Report; CE Delft; Delft, Netherlands; July 2016.
5. Fan, L.; Gu, B.; Luo, M. A Cost-Benefit Analysis of Fuel-Switching vs. Hybrid Scrubber Installation: A Container Route through the Chinese SECA Case. Transp. Policy 2020, 99, 336–344. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.09.008>.
6. Ship&Bunker. World Bunker Prices—Ship & Bunker. Available online: <https://shipandbunker.com/prices> (дата відвідування 16 листопада 2023).

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС

Тихонов І.В. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РІЧКОВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СЛУЖБИ В УКРАЇНІ / І.В. Тихонов // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.9-12
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Будашко В.В. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНИМИ ПРОГРАМАМИ В ПОСТАКРЕДИТАЦІЙНИЙ ПЕРІОД / В.В. Будашко // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.13-18
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Kuznichenko S. GIS AS A DECISION MAKING SUPPORT TOOL FOR URBAN PLANNING AND MANAGEMENT / S.Kuznichenko, M.Tsynova // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.19-24
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Захарченко В.М. РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ У СУДНОПЛАВСТВІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ / В.М. Захарченко // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.25-26
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Миргород В.Ф. МЕТОДИКА НАБЛИЖЕНОЇ ОЦІНКИ ЧАСУ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В СУДНОВИХ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМАХ РЕГУЛЮВАННЯ / В.Ф. Миргород, І.П. Козирев, Л. К. Шестаков, Н. А. Очеретнюк // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.27-31
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Danilov D., Mykhailenko V. RESEARCH OF AN INTELLIGENT SYSTEM OF CONTROL OF THE PARAMETERS OF AN INERT GAS GENERATION SYSTEM / D. Danilov, V. Mykhailenko // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.32-34
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Миргород В.Ф. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ РОБАСТНОСТІ СУДНОВИХ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ / В.Ф. Миргород, М.О. Третьяков, М.О. Кірсанов, К.Д. Говоров // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.35-38
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Миргород В.Ф. ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЇ АНАЛОГІЇ ПРИ РОЗРОБЦІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СУДНОВИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ / В.Ф. Миргород, І.М. Гвоздева, І.П. Козирев, М.І. Плетнев // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.39-43
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

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/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Завадський В.А. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МАГНІТОМ'ЯКИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СУДНОВИХ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ / *В.А. Завадський* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.51-52

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Велика О.І. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ВИВЧЕННІ ОКРЕМИХ РОЗДІЛІВ ФІЗИКИ / *О.І. Велика, В.М. Полосіна* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.53-57

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Дранкова А.О. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ СУДНОВИМ ДОПОМІЖНИМ КОТЛОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛК МОДУЛЬНОГО ТИПУ / *А.О. Дранкова, В.О. Артюх* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.58-62

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Рябцов О.В. ОСОБЛИВОСТІ ПРАКТИЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОХОЛОДЖЕННЯМ СУДОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ / *О.В. Рябцов* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.62-65

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Михайленко В.С. ОГЛЯД МЕТОДІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДЕН / *В.С. Михайленко, В.В. Леценко* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.66-68

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Гвоздева І.М. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СКРУБЕРІВ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ / *І.М. Гвоздева, Г.П. Грама, І.Є. Кузнецов* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.68-72

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Цуна А. В. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ, НАДІЙНОСТІ ТА ЕКОНОМІЧНОСТІ РОБОТИ СУДОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ / *А.В. Цуна, І.М. Гвоздева* // Матеріали ХІІ 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>

Дрозд О.В. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ВАНТАЖНИХ ПРИСТРОЇВ НЕПЕРЕРИВНОЇ ДІЇ / *О.В. Дрозд* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.76-79

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Шестака А.І. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НВАС - СИСТЕМ КРУЇЗНИХ СУДЕН ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ VAV – МОДУЛЕЙ / *А.І. Шестака, Л.В. Мельнікова* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.80-84

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Швидкий О.С. ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД СУДНОВОГО КОМПРЕСОРА ОХОЛОДЖЕННЯ ЕТИЛЕНУ / *О.С. Швидкий, В.С. Петрушин* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.86-88

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Веретеннік О.М. РОЛЬ ТА ЗНАЧЕННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ПОТОКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ІЄРАРХІЇ ЗАГАЛЬНИХ ЕНЕРГОПОТОКІВ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТНОГО СУДНА / О.М. Веретеннік, С.А. Михайлов, І.М. Кулешов // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.89-91
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

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/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Mukha M. AN IMPLEMENTATION EXPERIENCE OF THE SHIP POWER PLANT ENERGY PARAMETERS MONITORING SYSTEM / M.Mukha, A.Drankova // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.95-103
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Кочетков О.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЕЛИЧИНИ ВХІДНОЇ НАПРУГИ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ МОДУЛЬНОЇ СТРУКТУРИ / О.В. Кочетков, О.І. Зарицька, Т.О. Гаур // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.104-107
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Харченко Р.Ю., Кочетков О.В., Гаур Т.О. ЕЛЕКТРИЧНІ ПРОЦЕСИ ПІДВИЩУЮЧИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ МОДУЛЬНОЇ СТРУКТУРИ В ГРАНИЧНОМУ РЕЖИМІ ФУНКЦІОНУВАННЯ / Р.Ю. Харченко, О.В. Кочетков, Т.О.Гаур // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.108-110
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Попов В.Г. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУР У ВТУЛЦІ ЦИЛІНДРА СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ МЕТОДОМ ІНТЕГРАЛЬНИХ РІВНЯНЬ / В.Г. Попов // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.111-114
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Архипенко К. М. ДВА МІЖФАЗНИХ ВКЛЮЧЕННЯ В НЕОДНОРІДНІЙ АНІЗОТРОПНІЙ ПЛОЩИНІ / К. М. Архипенко, О.Ф. Кривий // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.115-118
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Кривий М. О. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ МАСТИЛЬНОГО ШАРУ В ПАРАХ КОВЗАННЯ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК / М. О. Кривий // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.118-121
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Кривий О.Ф. КРИТЕРІЇ РУЙНУВАННЯ КОМПОЗИТНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ / О.Ф. Кривий, Ю.О. Морозов // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.122-125
<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Кривий О.Ф. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ СУДНОВИХ ГВИНТІВ / *О.Ф. Кривий, М.В. Міусов, М.О. Кривий* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.126-129

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Мішарін А.С. ПРИВЕДЕННЯ ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖНОГО СТАНУ В ОКОЛІ ТРІЩИНИ НА ПРОДОВЖЕНІ ЖОРСТКОГО ВКЛЮЧЕННЯ ДО СИСТЕМИ ІНТЕГРАЛЬНИХ РІВНЯНЬ / *А.С. Мішарін, В.Г. Попов* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.129-133

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Налева Г.В. СПРОЩЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОРУШІЯ МОРСЬКИХ БЕЗПЛОТНИХ СУДЕН / *Г. В. Налева, О. А. Онищенко* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.133-138

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Кирилова О.І., Попов В.Г. ЗАСТОСУВАННЯ ІТЕРАЦІЙНОГО МЕТОДА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ОКОЛІ СИСТЕМИ ТРІЩИН В УМОВАХ ВІБРАЦІЇ / *О.І. Кирилова, В.Г. Попов* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.138-142

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Demydov O. MODELING TRANSIENT PROCESSES IN A FINITE CYLINDER UNDER IMPULSIVE LOADING / *O. Demydov, V.Popov* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.142-146

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Бічев В.І. МОДЕЛЮВАННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ СУДНОВОГО ДОПОМІЖНОГО КОТЛА МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ АНАЛОГІЙ / *В.І. Бічев, І.М. Гвоздева, Г.П. Грама, О.В. Глазєва* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.146-150

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Шишкін О. В. МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ГЛОБАЛЬНОГО МОРСЬКОГО ЗВ'ЯЗКУ ЛИХА ТА БЕЗПЕКИ (GMDSS) / *О. В. Шишкін, О. Л. Пашенко* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.151-155

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Купровський В.І. ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ НЕКОГЕРЕНТНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ РЛС ІМПУЛЬСНОГО ТИПУ / *В.І. Купровський* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.155-159

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Пашенко О.Л. ПРИСТРІЙ MAN OVERBOARD, ПРИНЦИП ДІЇ ТА ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ / *О.Л. Пашенко* // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.159-162

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Кошевий В.М. УПРАВЛІННЯ КІБЕРРИЗИКАМИ НА МОРІ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКІВ / В.М. Кошевий, Р.Ю. Харченко, Т.П. Ткачук // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.162-167

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Орлов В.В. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПАСИВНОЇ СИСТЕМИ ЗВУКОЛОКАЦІЇ РОЗПОДІЛЕНОЇ НА БЕЗПЛОТНИХ МОРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ / В.В. Орлов, О.І. Наумов // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.168-171

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

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/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Плешко Е. А. ПРОТИПРАВНЕ ВТРУЧАННЯ В РОБОТУ СИСТЕМ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ ТА ВПЛИВ НА ДАНІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА СИНХРОНІЗАЦІЇ ЧАСУ – ЯК ГЛОБАЛЬНА ПРОБЛЕМА / Е. А. Плешко, В. І. Коновець, О. В. Шишкін // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.176-182

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Степанов Д.П. ОСОБЛИВОСТІ ПРОСТОРОВО-ВЕКТОРНОЇ МОДУЛЯЦІЇ В 5-ФАЗНИХ КАСКАДНИХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ЧАСТОТИ / Д.П. Степанов, В.В.Бушер, В.М.Захарченко, О.В. Глазєва// Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.183-188

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Малявін І.П. ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ БАГАТОФАЗНИХ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ СИЛОВИХ КАНАЛІВ / І.П. Малявін // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.189-192

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Харченко Р.Ю. ЕЛЕКТРИЧНІ ПРОЦЕСИ ПІДВИЩУЮЧИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ МОДУЛЬНОЇ СТРУКТУРИ В ГРАНИЧНОМУ РЕЖИМІ ФУНКЦІОНУВАННЯ / Р.Ю. Харченко, О.В. Кочетков, Т.О. Гаур // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.193-195

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

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

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Сандлер А.К. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ОКЕАНОГРАФІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ / А.К. Сандлер, В. В. Шепель, Д.О. Германчук //Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.201-207

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Сандлер А.К. ВОЛОКОННА ОПТИКА У ХОЛОДИЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ / А.К. Сандлер, О.Ю. Карпілов, В.В. Олійник //Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.207-211

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEAA-2023.22.11.23.pdf>

Левинський М.В. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ В ПРОГРАМІ STATEFLOW / М.В. Левинський //Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.211-212

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Медведева Ю.С. КОМПЕТЕНТІСТНИЙ ПІДХІД ПРИ ПІДГОТОВЦІ МАГІСТРІВ ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ «ЕКСПЛУАТАЦІЯ СУДНОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНЕННЯ І ЗАСОБІВ АВТОМАТИКИ» В НУОМА/ Ю.С. Медведева, В.І. Бічев //Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.213-215

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Сандлер А.К. ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ МОБІЛЬНОСТІ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ ГАРМАТ/ А.К. Сандлер, О.Ю. Карпілов //Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.216-219

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Сандлер А.К. ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МОБІЛЬНОГО МІНОМЕТА/ А.К. Сандлер, М.О. Опришко //Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.219-223

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Сандлер А.К., Журавльов Ю.І., Бондаренко А.В. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ШВИДКОРІЗЬМНИХ ЗАСОБІВ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ / А.К. Сандлер, Ю.І. Журавльов, А.В. Бондаренко//Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.223-227

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Сандлер А.К. ЗАХИСНА ПІДВІСКА ТРЕЙЛЕРІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ / А.К. Сандлер, О.В. Глазева, Д.В. Марчук //Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.227-232

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Сандлер А.К. ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕЖЕКЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ТАНКОВОЇ ГАРМАТИ / А.К. Сандлер, Ю.І. Журавльов, Д.В. Даниленко //Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.232-237

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Костиця О.В. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ МОРСЬКИХ ПРОСТОРІВ У СУЧАСНИЙ ПЕРІОД / О.В. Костиця //Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.237-240

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Удолатій В.Б. ТЕХНІЧНИЙ ТА ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ НАСЛІДКІВ ВСТАНОВЛЕННЯ СКРУБЕРІВ НА СУДНАХ / В.Б.Удолатій // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.241-245

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

Удолатій В.Б. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНВЕСТИЦІЙ В СКРУБЕРНІ СИСТЕМИ НА МОРСЬКИХ СУДНАХ / В.Б.Удолатій // Матеріали ХІІ міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 22.11.2023 - 23.11.2023. – Одеса: НУ ОМА, 2023. – С.245-248

<http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>

ДЛЯ НОТАТОК

Наукове видання

МАТЕРІАЛИ

ХІІІ Міжнародної науково-технічної конференції

**"СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ,
ЕЛЕКТРОНІКА І АВТОМАТИКА"**

22.11.2023 – 23.11.2023

Комп'ютерна верстка: *О. В. Глазєва*

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
Телефони: +38(048) 793-24-50
+38(048) 793-24-51

