Міністерство освіти і науки України

М А Т Е Р І А Л И

науково-методичної конференції

«СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І АВТОМАТИКА»

05.12.2018 – 06.12.2018

SHIPS' ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONICS AND AUTOMATION

Одеса – 2019

У збірнику матеріалів конференції розміщено тези доповідей, які заслуховувались на пленарних та секційних засіданнях науково-методичної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», що відбулась 05-06 грудня 2018 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 елементах енергетичних установок так і процесів та пристроїв в електро - та радіотехніці, інформаційна безпека, оптимизація функціонування радіоелектронних пристроїв та систем, освітні та професійні стандарти.

Матеріали науково-методичної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.12.2018 - 06.12.2018. – Одеса: НУ «ОМА», 2019. – 226 с.

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

Організатори:
Факультет електромеханіки та радіоелектроніки
Національного університета «Одеська морська академія»,
Одеське відділення Інституту морської техніки, науки і технології
Великобританії (IMarEST)
Морський інститут України (Nautical Institute of Ukraine).

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

В.А. Голіков, В.В. Голіков
Перспективні завдання судноплавства в Україні……. **8**

В.В. Будашко
Підвищення ефективності гібридних суднових комбінованих пропульсивних комплексів за різними критеріями стратегій енергоменеджменту……. **10**

В.А. Шевченко
Перспективы развития тренажеров машинного отделения при подготовке судовых инженеров в части эксплуатации судовых электроэнергетических установок…… **27**

СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

В.С. Луковцев, Д.С. Стеблинский
Оптимизация по быстродействию процесса пуска судового дизель-генератора……. **33**

А.К. Сандлер
Пристрій для визначення детонаційних властивостей палив……. **35**

Р.И. Куделькин, В.С. Луковцев
Эмуляция работы микроконтроллера фирмы MOTOROLA серии M68HC05 при помощи современного микроконтроллера фирмы ATMEL... **39**

В.А. Завадський, В.А. Круц
Особливості використання напівпровідникових термодатчиків у суднову устаткуванні…… **42**

В.С. Михайленко, О.А. Магда
Распределено - централизованная система управления объектами СЭУ с наличием резервных информационных каналов связи…….. **45**

Р. Ю. Харченко, О. О. Орловська
Аналіз смарт-технологій на морі. Штучний інтелект A-SUITE в системі управління судном…… **47**

В.І. Цацко, Т.О. Гаур, Ю.С. Бабій
Вплив тиску рідини на показники тензометричного витратоміру…….. **50**

С. А. Михайлов, Р. Ю. Харченко
Інтелектуальне управління параметрами мікроклімату суднових приміщень…….. **53**

Н. С. Харченко, А. І.Чулак, В.В. Заїм
Суднова система нічного бачення…….. **57**

А.В. Рябцов, А.И. Бондаренко
Применение оптических датчиков в судовых автоматизированных системах…… **60**

В.Ф. Шапо
Використання кольорових правил в програмному середовищі WIRESHARK для підвищення якості аналізу трафіку в промислових мережах передавання даних…… **63**

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

О.В. Кочетков, Д.Є. Шатилов
Підвищення ефективності систем керування електроприводом суднових електроустановок……... **67**

О.В. Глазева, В.Б. Власов
Применение высоковольтных преобразователей частоты как метод повышения индекса энергоэффективности на объектах морской индустрии…... **70**

С. Ф. Самонов, А. А. Кульбацкий, В. А. Дубовик
Перспективы использования твердотельных аккумуляторных батарей на судах…….. **78**

А. І. Шестака, Л. В. Мельнікова
Деякі аспекти енергозбереження при частотному керуванні насосом гідравлічного крану…….. **80**

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

І.П. Малявін
Використання багатофазних імпульсних перетворювачів в засобах електроживлення радіотехнічних систем…….. **84**

А.О. Дранкова, М.Й. Муха, С.С. Міхайков, І.І. Красовський, А.О. Цибух, М.С. Химчак
Електромеханічний лабораторний стенд для дослідження якості електроенергії автономної електромережі…….. …….. **86**

А.О. Дранкова, І.І. Красовський, В.Е. Волков, Д.А. Горбунов
Оцінка показників якості електроенергії суднової електромережі з впровадженням системи знезараження баластних вод…… **93**

СУЧАСНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, КОМПОНЕНТИ ТА ДІАГНОСТИКА

В.С. Михайленко, М.О. Копилов
Методика повышения эффективности работы систем управления объектов СЭУ в зависимости от эксплуатационного режима……. **100**

Ю. В. Курганский
Разработка прототипа шагающего робота на базе ARDUINO UNO……. **102**

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ І ЯВИЩ В ЕЛЕМЕНТАХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

В.Г. Попов
Моделювання напруженого стану в деталях циліндричної форми з внутрішніми або зовнішніми тріщинами при вібрації …….…….... **109**

О.В. Демидов, В.Г. Попов
Моделювання і дослідження напруженного стану в деталях циліндричної форми з внутрішніми і зовнішніми тріщинами при раптовому навантаженні……... **111**

В. Г. Попов, А. С. Мішарін
Моделювання і дослідження напруженого стану в околі тріщини на продовженні жорсткого включення в умовах вібрації……. **113**

О.І. Кирилова
Моделювання напруженого стану в деталях у вигляді циліндрів довільного перерізу при наявності тріщини в умовах вібрації…… **116**

В. Г. Попов, О.В. Литвин
Моделювання напруженого стану в околі дефекта у вигляді триланкового включення в умовах вібрації……. **119**

Г.А. Варварецька
Математичне моделювання зміни тиску у паливо проводах ДВЗ……. **121**

К. М. Архипенко, О. Ф. Кривий
Довільно орієнтована тріщина в анізотропній чверть площині…… **124**

Д.В. Василець, Г.В. Налева, О.А. Онищенко
Моделювання процесів у судновій холодильній установці методом електротеплових аналогій……. **127**

Н. Д. Орлова
Математическое моделирование процессов измельчения материалов (измельчение при сопутствующем смешении и агломерации)…….. **131**

М.А. Якименко, И.М. Гвоздева, В.С. Луковцев
Исследование диагностических параметров технического состояния судовых дизель-генераторных агрегатов……. **134**

РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ ТА ЗВ'ЯЗОК

Ю. С. Шевцов, Л.А. Перонкова
Киберзащита информационных систем внутрисудовой связи……. **137**

В. М. Кошевой, Ю. Н. Орловский
Автокорреляционная функция и отклик согласованного фильтра…….. **139**

В.М. Кошевой, М.Ю. Бочарова
Синтез оптимального фильтра……. **141**

А. В. Шишкин, А. А. Орловская, А. И. Чулак
Смотрите на мир «реально». Анализ тенденции виртуальной и дополненной реальности……. **143**

В.А. Завадский, Р.Е. Зубков
Особливості розрахунку та використання стабілізаторів напруги на ІМС……..... **151**

В.В. Грищенко, Ю. В. Маляренко, А. А. Орловская
Анализ использования технологий программированного радио в морской радиосвязи…… **153**

В.М. Кошевий, С.С. Ліщенко
Стандартизація інтерфейсу радіозв'язку на діапазонах середніх і високих частот з використанням цифрового вибіркового виклику в рамках концепції електронної навігації…….. **163**

В.М. Кошевой, Т.Ю. Гапеева
Анализ корреляционной функции дискретных сигналов с троичной и четвертичной кодовой модуляцией…… **166**

ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА

С.А. Михайлов, А.І. Чулак
Методи захисту інформації в ECDIS…….. **168**

С.А. Михайлов, І.М. Кулешов, В.В. Заїм
Інформаційний захист систем управління та контролю суднових енергетичних установок…….. **171**

С.А. Михайлов, Д.С. Семенюк
Обеспечение информационной и физической безопасности компьютерной сети «Умного дома»…… **174**

С.А. Михайлов, Т.Ю. Гапеева
Электронные виртуальные средства навигации…… **175**

Н.С. Михайлов
Интегрированная система автоматизации административного управления и контроля…….. **177**

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА ПРИСТРОЇВ В ЕЛЕКТРО- ТА РАДІОТЕХНІЦІ

В.В. Бушер, В.В. Горошко, В. Кравченко, К. Хандакжи
Техническая реализация дробных интегрально-дифференцирующих регуляторов в микропроцессорных системах управления…… **180**

В.А. Завадський, Р.Ю. Харченко, С.М. Дранчук
Моніторинг процесів, які швидко змінюються у часі, з послідуючим аналізом результатів…… **186**

О.В. Глазєва, В.В. Бушер
Особливості методу визначення внутрішніх опорів джерел автономних трифазних мереж…… **190**

А. Г. Калуев, А. Н. Рак, Космас Здрожис
Применение теории тепловых переходных процессов при моделировании аварийной ситуации попадания инородного тела в упорный подшипник главного двигателя судна…….. **195**

ОСВІТНІ ТА ПРОФЕСІЙНІ СТАНДАРТИ

В.В. Шепель, О.В. Ласман
Уровень младшего специалиста в системе высшего образования Украины……. **201**

Ю.С. Медведева, В.Ю. Гинкул
Основные составляющие внутреннего обеспечения качества высшего образования…… **202**

Ю.С. Медведева, К.П. Батрину, Н.А. Богданова
Европейская кредитная трансферно-накопительная система. Принципы оценивания…… **204**

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

УДК 656.61(477)

ПЕРСПЕКТИВНІ ЗАВДАННЯ СУДНОПЛАВСТВА В УКРАЇНІ

В.А. Голіков, д.т.н., професор, проректор з наукової роботи
В.В. Голіков, к.т.н., с.н.с., доцент
Національний університет «Одеська морська академія»

Абстракт. *Наведена технологія наукових досліджень морських та річкових ергатичних транспортних систем за фізичними, логічними та евристичними оцінками навігаційної обстановки. Гарантована безпека судноводіння, яка нормалізує суднову ситуацію, забезпечується алгоритмами управління реалізованими методами та способами сучасної прикладної теорії автоматичного управління, зокрема методами ідентифікації (числення та обсервації).*

Ключові слова: *транспортні стратегії, завдання стратегій, методи і способи вирішення, алгоритми управління, гарантована безпека.*

Судноплавство характеризується рядом умов, гарантоване виконання яких закладено в Транспортній стратегії України до 2030 року. Стратегія є складовою європейської програми «Горизонт-2020». Вона орієнтована на соціально - економічні дослідження та перспективну діяльність для розробки політики впровадження і інновацій, вирішення проблем транспорту та задоволення суспільних проблем. Зокрема по лінії підпрограми «Транспортний виклик» на період 2014-2020 р.р. передбачено досягнення чотирьох основних цілей за напрямком «Розумний, екологічно чистий та інтегрований транспорт», а саме: мобільність для зросту; екологічно чисті транспортні засоби; малий бізнес; прискорене впровадження інновацій на транспорті, наприклад, низько вуглецевий та стійкий транспорт; стійка інфраструктура та інноваційні судна; онцепція автономних суден.

Такі завдання вимагають спеціальних досліджень для детермінації процесів та наукових розробок по створенню систем управління, які можуть бути поділені на чотири типа.

До завдань першого типу входять дослідження процесів взаємодії об’єкта управління з зовнішнім середовищем: встановлення меж між транспортним засобом і зовнішнім середовищем, які визначають крайню глибину взаємодії; визначення реальних ресурсів такої взаємодії: вивчення взаємодії системи управління судном, що досліджується, з іншими системами вищого ієрархічного рівня.

Завдання другого типу представляють розробку методів та засобів підсилення інтелектуальних можливостей людського мислення та організації групової взаємодії операторів у процесах судноплавства.

Завдання третього типу характеризуються створенням множини детермінованих моделей процесів маневрування, наприклад, системи гарантованого водіння судна за маршрутом: нові встановлені впливи різних видів взаємодії на поведінку об’єкта управління. Їхнє інтегрування у єдину систему

створює умови переходу до загальних завдань судноплавства, з якими взаємодіє процес маневрування та має суміші структури зв'язків, які визначають місце системи, що досліджується, у ієрархічній структурі вищого рівня.

Завдання четвертого типу пов'язані з необхідністю синтезу моделей прийняття рішень. На етапі виробки і прийняття рішень визначаються принципи взаємодії підсистем низького рівня з системами більш високого рівня для досягнення глобальної мети управління шляхом забезпечення гарантованої (за відповідних умов) безпеки судноплавства.

При розробці таких систем звичайно формується їх структура, функціональні зв'язки та алгоритмічне наповнення елементів для інтелектуальних дій операторів під час управління процесом судноплавства.

З наведених типів завдань у судноплавстві найбільш відпрацьованою є перша група, останні три – вирішені частково або знаходяться у початковій стадії дослідження.

Теоретичною базою вказаних досліджень пропонується прикладна сучасна теорія автоматичного управління (ПСТАУ), в якій простір станів, представлений у скалярному та векторних видах у заданий, текучій та прогнозований момент, відображає метричний простір, де кожний елемент визначає стан системи або процесу.

Центральну частину ПСТАУ визначає теорія оптимального, гарантованого та субоптимального управління «у великому» динамічними системами детермінованими та стохастичними процесами. При цьому, оптимальне використання наявних ресурсів (інформаційних, енергетичних, обчислювальних, інтелектуальних та інших) для досягнення поставленої мети в умовах додержання множини обмежень «у великому» та реальному часі вимагає повного (гарантованого) використання апріорної інформації у вигляді моделі процесу або об'єкту що управляється.

Найбільш перспективним напрямком у ПСТАУ є оцінювання параметрів та характеристик за експериментальними даними (параметрична ідентифікація) отримана у режимі реального часу.

При вирішенні завдань ПСТАУ враховуються наступні постулати:

- оптимізація автоматичного управління можлива тільки в процесі функціонування системи у текучий обстановці та виникниній ситуації;
- оптимальне управління «у великому» в умовах неповної апріорної інформації не може бути забезпечено без резервування та структурного забезпечення надійності;
- створення реальних систем управління вимагає встановлення інформаційних та енергетичних закономірностей й обмежень;
- закономірності та обмеження сформульовані лише на змістовному рівні звужують «могутність алгоритмів», які абстрактна теорія нерідко припускає безмежним;
- інформаційні обмеження стосуються об'ємів апріорної текучої інформації, статичним характеристикам параметрів руху, «шумів», збурень;

- енергетичні обмеження стосуються як процесів що управляються, а також потужності керуючих впливів, які повинні бути мінімально-неминучими;
- обмеження, пов'язані з обліковою продуктивністю менш фундаментальні та строгі, але грають важливу роль при прийнятті рішень для формування сценарію поведінки в системах штучного інтелекту;
- багатомірні розподілення ймовірностей рекомендуєтьсявикористовувати у загальному вигляді як проміжний апарат аналізу та синтезу ПСТАУ, а тому експериментальне визначення законів розподілу абсолютно неприпустимо;
- класичний шлях при завданні стандартних збурень фактично не забезпечує оптимальність;
- проектувальник систем управління не має повної інформації для прийняття рішень в усіх ситуаціях, які можуть мати місце у експлуатації.

Детермінована постановка завдань управління витікає із принципу декомпозиції (аналізу), якій для усіх систем дає рішення у вигляді з'єднання системи оцінювання або оптимального управління синтезованої для детермінованих умов. Причому на кожному кроці (етапі) функціонування система повинна вказувати алгоритми досягнення поставленої мети.

Висновки та рекомендації. Найближчим часом стратегія Євросоюзу та України направлена на створення нових та поліпшення існуючих енергетичних транспортних систем, які за фізичними ознаками, логічними та евристичними показниками формують гарантовано безпечне управління судновими системами.

Застосування системного підходу до детермінованих фізичних моделей, поширена параметризація та ідентифікація процесів руху з використанням методу «стиснення» дає визначення алгоритмів протидії збуренням за допомогою методів та способів ПСТАУ з подальшою верифікацією методом «обсервації».

Гарантоване управління судноплавством передбачає надійне виконання евристичних, логічних та фізичних умов судноводіння по інформації ситуації на судні незалежно від навігаційної обстановки.

УДК 629.56.064.5+620.9+629.5

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІБРИДНИХ СУДНОВИХ КОМБІНОВАНИХ ПРОПУЛЬСИВНИХ КОМПЛЕКСІВ ЗА РІЗНИМИ КРИТЕРІЯМИ СТРАТЕГІЙ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

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

Анотація. *На основі класифікації топологій схемних рішень суднових енергетичних установок (СЕУ) комбінованих пропульсивних комплексів (КПК), для механічних, електричних та гібридних типів двигунів визначено блок-схеми стратегій управління для критерію мінімального споживання енергії. Зміна технічної складової традиційного підходу до побудови систем електропостачання гіб-*

ридних КПК застосовується принцип модифікації структури СЕУ з інтеграцією додаткового статичного джерела живлення як динамічного резерву, що дозволило відповідати сучасним вимогам щодо енергоефективності, рівнів вібрації, шуму та ефектів деградації, що виробляються для СЕУ КПК, у всіх областях енергії для передачі енергії до гвинтів. Моделювання енергетичної передачі енергії до гвинтів у MatLab/Simulink здійснюється за допомогою блоків оптимізації та визначення ідентифікаційних маркерів.

Результатом є визначення основних переваг та недоліків СЕУ КПК залежно від топології систем розподілу енергії. Відповідно до обраної структури системи розподілу електроенергії були отримані принципи передачі електроенергії у СЕУ КПК та енергетичних системах та їх стратегій управління з точки зору підвищення ефективності та усунення цих недоліків. І, нарешті, було поліпшено математичний апарат для досліджень процесів передачі енергії з точки зору розробки методів проектування та управління гібридними СЕУ КПК з метою зменшення споживання палива, викидів у навколишнє середовище та підвищення рівня ремонтопридатності, гнучкості та рівня комфорту.

Оригінальність запропонованої методології полягає у вдосконаленні впровадження СЕУ КПК шляхом розробки методів ідентифікації маркерів деградаційних ефектів, які впливають на процеси в СЕУ КПК, та у реалізації цих методів у розрахункових та інформаційних системах.

Метод передбачає ітеративні параметри оптимізації СЕУ КПК, він може бути використаний як засіб інтелектуального дизайну, який є результатом застосування покращеної продуктивності СЕУ КПК.

Ключові слова: *експертна система, система підтримки прийняття рішення, проектування, суднова енергетична установка, комбінований пропульсивний комплекс, підрулюючий пристрій.*

Вступ. Розробка прибережного шельфу (добуток природних копалин, будівництво вітряних та приливних електростанцій, пелагічне рибальство тощо) передбачає розвиток високотехнологічних наукомістких галузей морської індустрії, які передбачають будівництво та експлуатацію суден для забезпечення розвідувально-бурових, підйомно-транспортних та вантажно-розвантажувальних робіт в різних експлуатаційних умовах (так званий офшорний флот). Подібні судна обладнаються інноваційними КПК із СЕУ, які будуються за принципом єдиних електроенергетичних систем.

Проблеми підвищення енергоефективності, викликані дефіцитом енергоресурсів і прагненням до поліпшення екологічних показників СЕУ КПК, лежать в основі вимог, встановлених Міжнародною морською організацією (*International Maritime Organization*) в Додатку VI до Міжнародної конвенції по запобіганню забруднення з суден (МАРПОЛ) щодо конструктивного коефіцієнту енергоефективності (ККЕЕ) (англ. *Energy Efficiency Design Index* – *EEDI*) та експлуатаційного коефіцієнту енергоефективності (ЕКЕЕ) (англ. *Energy Efficiency Operational Index* – *EEOI*) у рамках розробки і виконання плану управління енергоефективністю судна (ПУЕЕС) (англ. *Ship Energy Efficiency Management Plan* – *SEEMP*) в процесі підвищення ефективності функціонування та експлуатації.

Таким чином, можна сформулювати актуальну науково-технічну проблему у галузі розвитку транспорту, транспортних технологій і відповідної інфраструктури: дослідження, розробка і прогнозування методів удосконалення експлуатаційних характеристик СЕУ КПК, які б забезпечували підвищення ефективності їх функціонування неможливо без встановлення закономірностей змінювання параметрів та впровадження методів і засобів діагностування та прогнозування технічного стану СЕУ КПК в процесі експлуатації.

З іншого боку, розробка стратегій, методів і засобів підвищення ефективності функціонування СЕУ КПК обмежені істотним комплексом суперечливих, конфліктних, а іноді і взаємовиключних факторів і ситуацій: необхідністю аналізу експлуатації СЕУ КПК під час розвідувально-бурових, підйомно-транспортних та вантажно-розвантажувальних робіт в різних експлуатаційних умовах; потребою у аналізі процесів на перетинах енергетичних потоків у СЕУ і КПК з підрулюючими пристроями (ПП) та відсутністю методів реєстрації деградаційних ефектів, які суттєво впливають на ці процеси; необхідністю удосконалення методів обчислювальної гідродинаміки для відстежування деградаційних ефектів на лініях потоків гребних гвинтів та відсутністю фізичних моделей реєстраційних компонентів системи моніторингу деградаційних ефектів на лініях валопроводів; необхідністю синтезу математичних моделей всережимних регуляторів оборотів ПП із одночасним удосконаленням математичного апарату при моделюванні енергетичних процесів в СЕУ КПК в різних експлуатаційних режимах; формулюванням і об'єднанням критеріїв вибору рішень, заснованих на множині як самих СЕУ КПК так і експлуатаційних режимів у яких вони працюють та відсутністю формалізованих фізичних моделей багатофункціональних КПК с урахуванням ситуаційних факторів довкілля і ідентифікаційних чинників експлуатаційних режимів; затребуваністю у стратегіях управління розподілом потужності в СЕУ КПК та відсутністю методології створення математичних моделей суднових електроенергетичних систем (СЕЕС) з багатошинними конструкціями, що враховують гідродинамічні властивості судна з можливістю оцінки їх впливу на енергетичні процеси; розробкою технології реалізації СППР СЕУ КПК та наявністю інтелектуальних, поведінкових і когнітивних обмежень людини, що приймає рішення (ЛПР).

Ефективний розподіл потужностей між альтернативними генеруючими елементами (АГЕ), системою накопичення енергії (СНЕ), судновою електроенергетичною системою (СЕЕС) та іншими складовими СЕУ під час зміни експлуатаційних режимів можливо за рахунок удосконалення стратегії керування гібридними СЕУ КПК за критерієм мінімуму споживання електроенергії або за критерієм максимуму отримання альтернативної енергії із регулюванням ступеню заряду батарей СНЕ.

Це можливо здійснити шляхом синтезу трирівневої багатокритеріальної стратегії управління розподілом енергії у гібридній СЕУ КПК шляхом інтеграції класичної стратегії управління розподілом потужності зі стратегією із контролем за станом СОДГ і ступенем заряду АГЕ СНЕ, яка буде відрізняться від існуючих вищою швидкодію виявлення ризику знеструмлення СЕЕС, більшою надійністю і точністю визначення необхідності зниження навантаження та є повністю інтегрованою із всережимними регуляторами частоти обертання ПП і системою електроживлення.

Метою роботи є розвиток теорії, методології та технології у галузі підвищення ефективності функціонування суднових енергетичних установок комбінованих пропульсивних комплексів.

Для досягнення визначеної мети необхідно буде розв'язати проблему підвищення ефективності гібридних СЕУ КПК методом поєднання критеріїв стратегій управління розподілом енергії.

Матеріали та методи дослідження.

1. Забезпечення динамічних показників якості процесів передачі енергії в умовах різновекторних навантажень.

В залежності від типу КПК використовується той чи інший з трьох відомих способів його динамічного утримання над точкою буріння, в залежності від чого застосовується та чи інша система управління розподілу потужності (*PMS*). СЕУ КПК зазвичай складається з 6÷10 потужних двигунів ПП різноманітних конструкцій в залежності від розташування на судні для позиціонування, які живляться від 4÷6 високовольтних СОДГ.

СОДГ підключаються до шин як найменш двох головних розподільних щитів (ГРЩ), з'єднаних між собою за допомогою інтегрального вимикача. Функції *PMS* реалізовані в трьох незалежних системах управління, а саме: система динамічного позиціонування (англ. *Dynamic Positioning – DP*), свердління постійного струму (англ. *drilling DC power*) і системи управління даними (англ. *Data Management Systems – DMS*).

У таких проектах функції управління живленням кожної системи працюють самостійно і мають спеціальні входи для датчиків з основних електричних мереж [1-6].

Системи розраховують загальну потужність, враховуючі загальне навантаження. Якщо загальне завантаження системи перевищує певні межі, встановлені заздалегідь, вони зменшуються. Система також знизить навантаження, якщо навантаження на будь-який окремий СОДГ перевищить попередньо встановлену межу. Така структура дозволяє не перевищувати навантаження на окремий СОДГ навіть під час впливу зворотної потужності від будь-якого СОДГ або відмови компонента датчика.

У разі перевантаження, системи *DP* будуть зменшувати потребу потужності в заздалегідь визначених межах, знижуючи тим самим навантаження на ГРЩ, а система *DMS* видає сигнал на запуск резерву, щоб збільшити основну пропускну здатність ГРЩ.

На сучасному етапі технічної експлуатації подібних систем стоять наступні проблеми:

– дотримання систем *DP* вимогам менеджменту якості (англ. *Failure modes and effects analysis – FMEA*), з якими стикаються на етапі експлуатації [7, 8];

– уніфікація *PMS* у комбінації функцій по відношенню до інших подібних [9, 10];

– незалежність складових систем *PMS* одна від одної навіть до рівня датчиків [11-13];

– не тільки зменшення потужності в розрахунку на загальне розрахункове навантаження, але також і навантаження окремого СОДГ [14-16];

– відповідність системи умовам збільшення навантаження з точки зору достатності для забезпечення нормальної роботи в залежності від будь-якої ненормального режиму і не перевантажування суднової електроенергетичної системи (СЕЕС) взагалі [17-21].

2. Визначення критеріїв застосування стратегій управління енергоспоживанням.

Система керування (СК) гібридним ДЕПК розподіляє потужність між СГЕ, СНЕ і СЕЕС відповідно до обраної стратегії управління енергоспоживанням:

– із контролем за станом СОДГ (англ. *State machine control strategy – SMCS*);

– з *PI* управлінням (класична) та регулюванням ступеню заряду батарей (англ. *State-of-Charge – SOC*) СНЕ (англ. *Classical PI control strategy with SOC's regulation – CPICS*);

– із контролем частоти і стану СОДГ та регулюванням ступеню заряду батарей СНЕ (англ. *Frequency decoupling and state machine control strategy with SOC's regulation – FDSMCS*);

– за критерієм мінімуму споживання електроенергії (англ. *Equivalent consumption minimization strategy – ECMS*);

– за критерієм отримання максимуму альтернативної енергії та регулюванням ступеню заряду батарей СНЕ (англ. *External energy maximization strategy with SOC's regulation – EEMS*).

Основне призначення СГЕ як АДЕ у наведеному на рис. 1 гібридному ДЕПК – ввід в дію СЕЕС після знеструмлення і підтримка потужності у маневрових режимах роботи судна, одним з яких є режим *DP*. В залежності від обраної стратегії управління енергоспоживанням, СК регулює потужність кожного джерела енергії у відповідності до заданих вихідної напруги і максимального струму СГЕ, СНЕ і силових перетворювачів (ППН, ІН).

Недоліками наведеної функціональної схеми гібридного ДЕПК є:

– неузгодженість параметрів СОДГ з іншими компонентами, що призводить до нерівномірного регулювання магнітних потоків і амплітуд напруг, що викликає додаткове підвищення пульсацій напруги на виході конвертерів і виникнення зрівняльних струмів при синхронній роботі;

– підвищений рівень гармонік в струмі споживачів енергії;

– знижена надійність, економічність, підвищені габарити і маса, які виникають за рахунок застосування елементів підвищеної потужності і комплектів обладнання до них;

– відсутність можливості симетрування трифазної системи напруг живлення при нерівномірному завантаженні фаз.

Аналіз рис. 1 дозволяє зробити висновок, що управління гібридним ДЕПК є дуже складними процесом, який потребує урахування великої кількості чинників енергетичних та експлуатаційних складових. Наприклад, такий компонент гібридного ДЕПК, як СНЕ, базується на застосуванні літій-іонних акумуляторних батарей (ЛІАБ, англ. *Lithium-ion batteries – LIB*) [22].

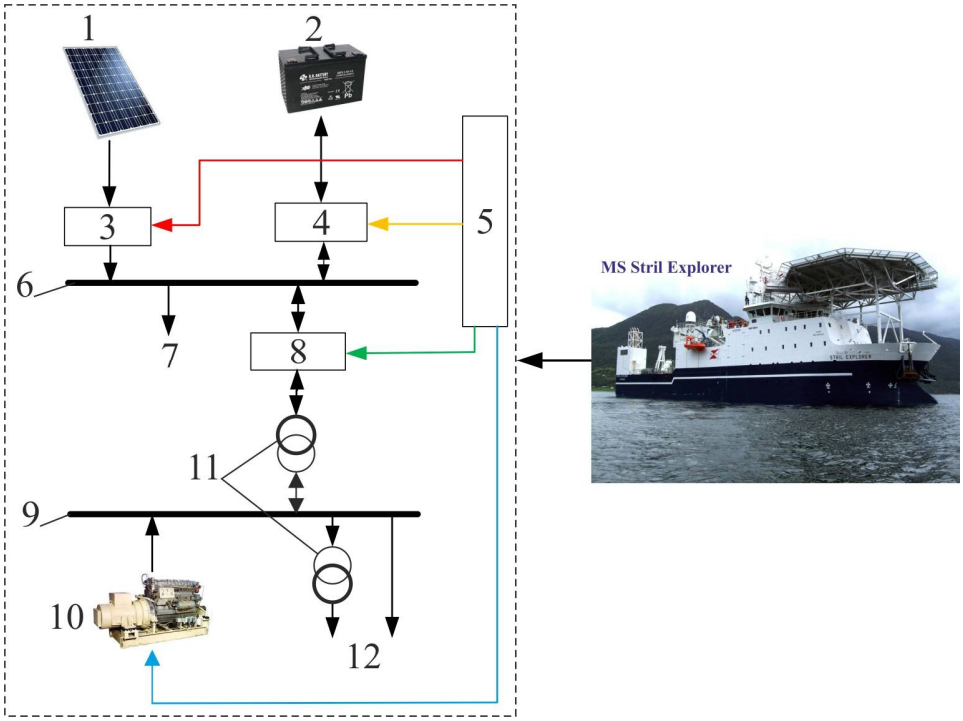


Рисунок 1 – Структурна функціональна схема гібридного ДЕПК: 1 – сонячні генеруючі елементи (СГЕ, англ. англ. *photovoltaic* (*PV*) *generation system – PVGS*); 2 – система накопичення енергії (СНЕ, англ. *ESS*); 3, 4 – перетворювач (конвертер) постійної напруги (ППН, англ. *DC/DC converter*); 5 – система керування (СК) гібридним ДЕПК; 6 – ланка постійного струму (ЛПС, англ. *DC-link*); 7 – до споживачів постійного струму, наприклад – гальмівних опорів (англ. *resistor back unit – RBU*); 8 – інвертор напруги (ІН, англ. *voltage source inverter – VSI*) або струму (ІС, англ. *current source inverter – CSI*), 9 – головний розподільний щит високої напруги (ГРЩ ВН, англ. *high voltage switchboard – HVSB*); 10 – суднова електроенергетична система (СЕЕС, англ. *ships power plant – SPP*) з середньо–обертовими дизель–генераторами (СОДГ, англ. *medium speed engine – MSE*); 11 – трансформатори напруги, 12 – до споживачів змінного струму, зокрема – гребних електродвигунів (ГЕД, англ. *propulsion electric motor – PEM*), підрулюючих пристроїв (ПП, англ. *thruster – THR*), головного розподільного щиту низької напруги (ГРЩ НН, англ. *low voltage switchboard – LVSB*).

Різноманіття режимів СЕУ КПК при застосуванні ЛІАБ визначає не тільки більшу номенклатуру вироблених ємностей і типорозмірів акумуляторів, а й широкі діапазони напруг (від семи до декількох сотень вольт) батарей на їх основі, необхідних для реалізації певних потужних, енергетичних і експлуатаційних характеристик СНЕ [23, 24].

При наявності небезпечних зовнішніх впливів на СНЕ їх конструктивне виконання ускладняється, також як і в разі потужних батарей (особливо для гібридних ДЕПК), які потребують додаткового повітряного або рідинного охолодження [25].

На Рисунок 2 представлена структурна функціональна схема гібридного ДЕПК з фрагментацією СНЕ.

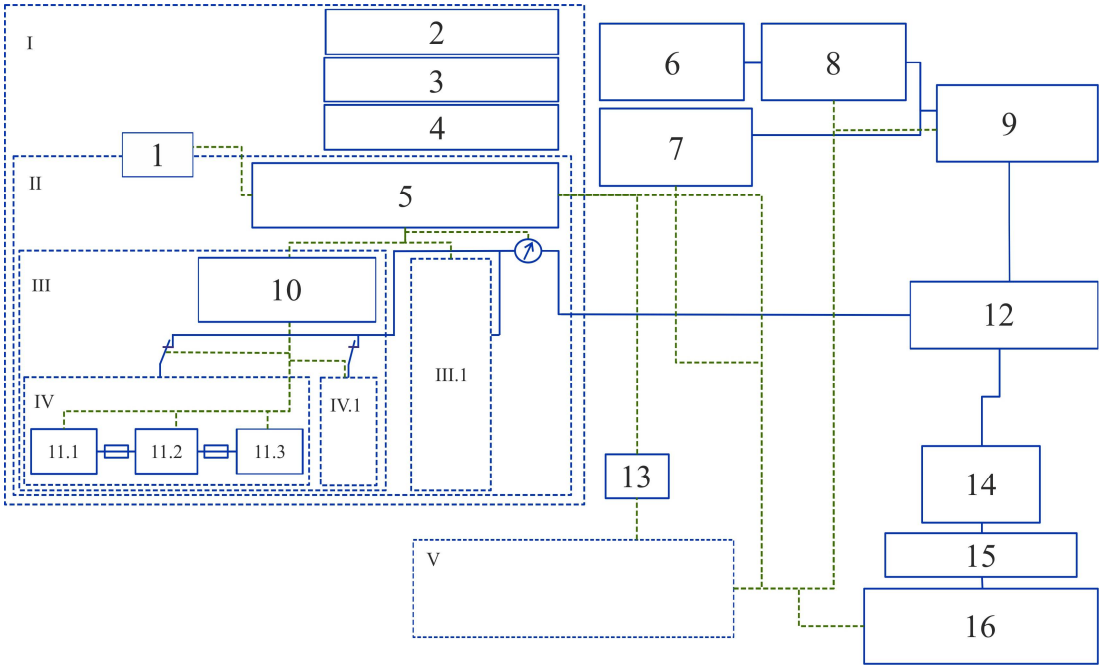


Рисунок 2 – Структурна функціональна схема гібридного ДЕПК з фрагментацією СНЕ: I – акумуляторне приміщення з системою кондиціонування (2), вентиляції (3) і пожежогасіння (4); II – СНЕ з пристроєм температурного контролю (1) і селективною СК (англ. *Battery Management System – BMS*) акумуляторними модульними збірками (АМЗ – 5); III – АМЗ з системою контролю напруги і температури (10) ; IV – акумуляторний модуль (АМ) з паралельно-послідовним підключенням акумуляторних батарей (АБ – 11); V – система управління розподіленням електроенергії (СРЕЕ, *PMS*); 6 – берегова мережа живлення; 7 – СОДГ; 8 – розподільний щит (РЩ) живлення з берегу; 9 – автоматичний зарядний пристрій (АЗП, англ. charger, *AC/DC converter*); 12 – ЛПС з ППН; 13 – СК гібридним ДЕПК; 14 – ІН або ІС; 15 – ГРЩ ВН; 16 – СЕЕС зі споживачами змінного струму, зокрема – ГЕД, ПП, ГРЩ НН.

При проектуванні гібридних ДЕПК загальними вимогами для всіх ЛІАБ є забезпечення безпеки і зручності експлуатації, а також досягнення при циклічному режимі роботи повного розряду всіх АБ, а не робота за графіком найбільш слабкого елемента. Це досягається введенням до складу СНЕ селективної СК (англ. *Battery Management System – BMS*) акумуляторними модульними збірками (АМЗ), що здійснює моніторинг стану і захист батареї від виникнення небезпечних режимів роботи і надає інформацію про її основні параметри [26-28].

З огляду на високу потужність і великий запас енергії, а також пожежонебезпечність застосовуваного в ЛІАБ електроліту, основним завданням СК АМЗ можна вважати захист АБ при виникненні небезпечних режимів роботи. До них, перш за все, відносяться струмові перевантаження і короткі замикання силових ланцюгів, перегрів АБ, перезарядка і надмірний розряд ЛІАБ.

Захист від виникнення небезпечних режимів роботи здійснюється шляхом нівелювання розбалансу напруг ЛІАБ і формування керуючих сигналів (КС) для зміни режиму роботи зовнішніх пристроїв або для відключення АБ від зовнішніх силових ланцюгів за допомогою комутаційної апаратури, яка конструктивно розміщується як у складі АБ, так і поза ними [29, 30].

З огляду на вищесказане, можна зробити висновок, що розвиток ДЕПК потребує додаткових досліджень в області удосконалення енергетичних процесів, пов'язаних із застосуванням у ДЕПК альтернативних джерел енергії. Останні потребують розробки сучасних локальних СК с точки зору їх інтеграції у СК гібридними ДЕПК.

3. Методика створення математичних моделей електроенергетичних систем з багатошинними конструкціями.

Залежно від точки підключення, просторовий вектор споживаного ГЕД (АД або СД) струму буде обертатися в *d*, *q*-координатах з частотою, що визначається фазою навантаження, яка в свою чергу, залежить від різниці імпедансу в точці підключення і найближчої високовольтної шини СОДГ (Рисунок 3).

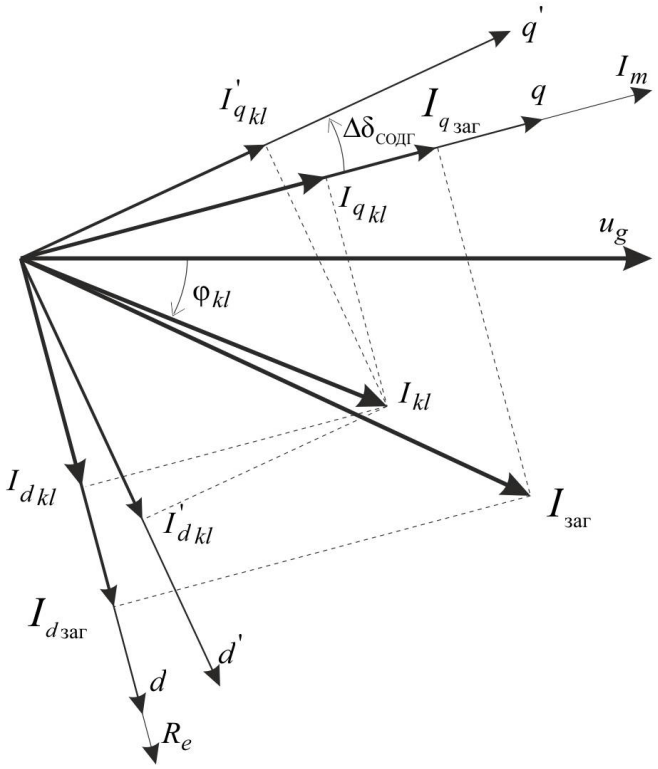


Рисунок 3 – Векторна діаграма для ділянки *kl* (*k*, *l* – натуральне число) високовольтної шини із підключеними до неї АД и СОДГ: u_g – напруга на шинах, в. о.; $I_{заг}$ – загальний споживаний струм АД, в. о.; $\Delta\delta_{СОДГ}$ – кут навантаження; φ_{kl} – фаза струму статору АД.

Рівняння моделі одного СОДГ, підключеного до шин, можна описати системою рівнянь:

$$\begin{cases} \dfrac{d\overline{\Psi}}{dt} = (W(n) + FX^{-1})\overline{\Psi} + Nu_g + gu_f \\ \dfrac{dn}{dt} = \dfrac{1}{t}(t_{m_содг} - \overline{\Psi}^t(M^tKM)X^{-1}\overline{\Psi}) \\ \Delta\dfrac{d\delta_{СОДГ}}{dt} = \omega_N(n - n_1), \end{cases} \quad (1)$$

де: $\overline{\Psi}$ – вектор потокозчеплення обмотки статору; u_f – напруга збудження, в. о.; n – частота обертання, [с$^{-1}$] валу генератору, в. о.; ω_N – номінальна частота обертання, [рад/с]; r_{ss} – опір обмотки статору АД, в. о.; r_{lk} – опір шини між точками lk, в. о.; t_d, t_q – повздовжня і поперечна складові постійної часу демпферної обмотки СОДГ, с; t_f – постійна часу обмотки збудження, с; x_d, x_q – повздовжня і поперечна складові значення реактивного опору розсіяння обмоток статору, в. о.; $k_{\mu d}$, $k_{\mu q}$, $k_{\mu f}$ – повздовжня і поперечна складові значення коефіцієнту насичення демпферної і статорної обмоток СОДГ і обмотки збудження; μ_d, μ_f – коефіцієнти взаємоіндукції між обмоткою статору і демпферною, між обмоткою збудження и демпферною.

$$W(n)=\begin{bmatrix}0 & \omega_N n & 0 & 0 & 0\\ -\omega_N n & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix};\quad N=\begin{bmatrix}\omega_N & 0\\ 0 & \omega_N\\ 0 & 0\\ 0 & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix}; \tag{2}$$

$$F=\begin{bmatrix}\omega_N(r_{ss}+r_{kl}) & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & \omega_N(r_{ss}+r_{kl}) & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & -1/t_d & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & -1/t_q & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1/t_f\end{bmatrix}; \tag{3}$$

$$X=\begin{bmatrix}-x_d & 0 & 1 & 0 & 1\\ 0 & -x_q & 0 & 1 & 0\\ -(1-k_{\mu d})x_d & 0 & 1 & 0 & \mu_d\\ 0 & -(1-k_{\mu q})x_d & 0 & 1 & 0\\ -(1-k_{\mu f})x_d & 0 & \mu_f & 0 & 1\end{bmatrix};\ g=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 0 & \dfrac{1}{t_f}\end{bmatrix}^t. \tag{4}$$

Тоді, із виразу (1), вектор потокозчеплення ψ СОДГ зв'язаний з величинами, що характеризують обмотку статору виразом:

$$h(\overline{\Psi})=\overline{\Psi}_s^t K i_s=\overline{\Psi}^t(M^t K M)X^{-1}\overline{\Psi}, \tag{5}$$

$$\text{де } K=\begin{bmatrix}0 & 1\\ -1 & 0\end{bmatrix};\quad M=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix};\quad M^T K M=\begin{bmatrix}0 & 1 & 0 & 0 & 0\\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}.$$

Спільне рішення виразів (1), (2), (3), (4) дозволяє визначити постійну інтегрування, що характеризують уставки ПІД-регуляторів СОДГ при їх паралельній роботі. Регулятори налаштовуються так, що один з регуляторів контролює частоту і напругу, а інший на постачання активної і реактивної потужнос-

тей з уставками, взятими щодо потужності першого генератора. Таким способом досягається рівномірний розподіл навантаження:

$$c = x_d(\mu_f(\mu_d + k_{\mu_d} - 1) - \mu_d + 1 - k_{\mu_d} + k_{\mu_f}(k_{\mu_q} - 1)).$$

Значення струму статору i_s, активної (P) и реактивної (Q) потужностей знаходяться із рівняння:

$$\begin{cases} i_s = MX^{-1}\overline{\Psi} \\ P = u_g^t i_s = u_g^t MX^{-1}\overline{\Psi} \\ Q = -u_g^t K i_s = -u_g^t KMX^{-1}\overline{\Psi}. \end{cases} \quad (6)$$

У разі збільшення загального навантаження, підключений на паралельну роботу генератор в початковий момент, сумірний з постійними часу СОДГ, може автоматично «взяти на себе» весь надлишок затребуваної споживачами потужності. Це пов'язано з тим, що, решта генераторів, що працюють в сталому режимі, будуть поставляти постійні потужності в залежності від уставок, що може привести до несподіваної неузгодженості навантаження між генераторами.

Щоб уникнути такого неузгодженості, в залежності від споживаного струму і з розрахунку розбіжності між потужністю конкретного генератора і підключеного, блок розподілу навантаження, шляхом впливу на ПІД-регулятори СОДГ по частоті обертання і напрузі, усуне неузгодженість, що виникне.

4. Удосконалення системи контролю та управління енергетичними процесами

Для захисту СНЕ від перезарядження і перерозрядження локальна СК здійснює вимір напруги кожного елементу в ЛІАБ. При цьому вимірювальні ланцюги усіх акумуляторів повинні бути гальванічно розв'язані і розраховані на роботу при напрузі, відповідній максимальній напрузі СНЕ (Рисунок 2). Для більшості застосувань точність вимірювання напруги ЛІАБ повинна бути не гірше ± 20 мВ. При формуванні СК за рівнем напруги ЛІАБ необхідно враховувати падіння напруги на їхньому внутрішньому опорі і температуру.

Поелементний контроль температури ЛІАБ необхідний також для захисту СНЕ від перегрівання. Останнім часом для цих цілей часто застосовуються датчики температури з цифровим або аналоговим виходом, відносно прості у використанні, що забезпечують точність вимірювання ± (1 – 2)°С. Терморезистори або термопари продовжують використовуватися для ряду спеціальних застосувань, пов'язаних з роботою СНЕ в екстремальних умовах або з обмеженнями у використанні імпортної елементної бази.

Для вимірювання струму в СНЕ поряд з шунтами використовуються датчики струму холловського типу, широка номенклатура яких дозволяє вимірювати струми в діапазоні від 10 до 1000 А з точністю порядку ± 2%. Крім підрахунку зарядної і розрядної ємностей ЛІАБ, величина струму необхідна для розрахунку коригувальних поправок до виміряних значень напруги ЛІАБ.

Датчики струму також можуть бути використані для захисту від струмових перевантажень силових ланцюгів СНЕ поряд з плавкими вставками або запобіжниками, що самовідновлюються і захищають ЛІАБ тільки від струмів КЗ і не ефективні при відносно невеликих (1,5 – 2-кратних) струмових перевантаженнях.

Найбільш складним, з точки зору реалізації, завданням є забезпечення працездатності СНЕ при відмовах (КЗ або обрив) всередині ЛІАБ. Обрив в ЛІАБ найбільш небезпечний при їх послідовному з'єднанні в СНЕ, коротке замикання – при їх паралельному з'єднанні.

При паралельному з'єднанні ЛІАБ додатково для захисту від наслідків внутрішніх КЗ послідовно з кожним з них встановлюється плавка вставка.

Для збереження працездатності СНЕ при відмові одного з ЛІАБ при їх послідовному з'єднанні необхідно вивести його з силового ланцюга, одночасно зберігаючи її цілісність. Для цього використовуються електромеханічні або електронні байпасні пристрої, які управляються локальною СК, які встановлюються безпосередньо на ЛІАБ для відводу через них тепла, що виділяється [31].

Важливою функцією локальної СК є апаратне вирівнювання ступеню зарядженості (нівелювання розбалансом напруг) одиничних ЛІАБ в СНЕ. Причиною розбалансу напруг є відмінність у ступені зарядженості АБ, що зумовлено відмінностями в швидкостях їх саморозряду, який визначається як струмами витоку через зовнішні і внутрішні електричні ланцюги АБ, так і електрохімічними процесами, що протікають на їх електродах.

Наслідком розбалансу напруг є робота СНЕ по «гіршій» (найбільш розрядженій внутрішній) ЛІАБ, навіть якщо вона має найбільшу номінальну ємність серед усіх АБ в СНЕ.

Апаратні методи нівелювання розбалансу напруг, що є складовими СППР при проектуванні СЕУ КПК, можна розділити на наступні:

– найбільш простий в реалізації пасивний метод, коли ЛІАБ з підвищеною напругою розряджається за допомогою резистора, що підключається паралельно їй;

– активні методи, що забезпечують вирівнювання напруг АБ шляхом перерозподілу енергії між ними;

– системні методи, що забезпечують індивідуальний (незалежний) режим заряду для кожній ЛІАБ.

Найбільш простим, але досить ефективним системним методом нівелювання розбалансу в ЛІАБ великої та надвеликої ємності є їх заряд багатоканальними автоматичними зарядними пристроями (АЗП, англ. *charger*, *AC/DC converter*) (Рисунок 1).

Для низьковольтних портативних ЛІАБ добре зарекомендували себе схемотехнічні рішення, що забезпечують автоматичну перекомутацію ЛІАБ з послідовної схеми на паралельну при підключенні до неї спеціалізованого АЗП [32, 33].

В активних методах реалізуються трансформаторні схеми перерозподілу енергії в ЛІАБ або використовується підзаряд «відстаючих» АБ від одного або

декількох джерел постійного струму, живлення яких здійснюється з виходу АБ або від зовнішнього джерела енергії (наприклад, АЗП, СГЕ, іншого джерела поновлюваної енергії). Такі пристрої, що забезпечують великі перетікаючи струми, дозволяють не тільки нівелювати розбаланс напруг в АБ, а й забезпечувати їх повний розряд, а не працювати за графіком «гіршої» ЛІАБ.

Для зручності експлуатації АБ інформація про її стан може передаватися в інтегровану СК гібридним ДЕПК по стандартному цифровому каналу, виводитися на дисплей або відображатися за допомогою світлодіодів, використовуючи інтуїтивно зрозумілу «світлофорну» колірну символіку.

Високовольтні високоємнісні АБ будуються за модульним принципом виходячи з вимог забезпечення електробезпеки при монтажі та ремонті, а також можливості їх транспортування і монтажу з мінімальним використанням підйомно-транспортних механізмів (ПТМ). У них використовуються СК також побудовані за модульним принципом з 2 – 3 рівнями керування.

При побудові потужних СНЕ для гібридних ДЕПК на перший план виходять вимоги безпеки при їх монтажі, експлуатації, технічного обслуговування і ремонту. Для резервних АБ важливою вимогою є тривале збереження технічних характеристик в режимі очікування підключення до навантаження, гарантований перехід і забезпечення заданого режиму розряду по команді, час надходження якої є невизначеним. Час перебування батареї в режимі очікування може бути від кількох місяців до десяти і більше років. Високо-енерго-ємнисні АБ можуть бути побудовані по послідовно-паралельній або паралельно-послідовній схемах [34-36].

Заданий термін експлуатації і безперебійність роботи ЛІАБ досягаються: шляхом застосування комплектуючих виробів і матеріалів з відповідними термінами служби; за рахунок структурного резервування в АБ; за рахунок використання АМЗ і безперервного моніторингу їх стану (Рисунок 2), що дозволяє проводити необхідні регламентні і ремонтно-відновлювальні роботи на окремих підсистемах ЛІАБ без виведення всієї батареї з режиму очікування в найкоротші терміни.

Алгоритм роботи АБ передбачає переклад із заданою періодичністю частини акумуляторних секцій в режим тестування, в якому вони підключаються до одного з штатних навантажень. В процесі тестування проводиться розряд номінальним струмом протягом 0,5 години.

За величиною напруги на кожному ЛІАБ в кінці розряду робиться висновок про зниження їх номінальної ємності і можливості подальшої експлуатації як окремих ЛІАБ, так і АМЗ в цілому. За результатами тестування і наявної інформації про роботу АМЗ в режимі очікування приймається рішення про проведення ремонтно-відновлювальних робіт на несправних секціях. Несправні АМЗ відключаються від вихідних шин СНЕ. Всі справні АМЗ після закінчення тестового розряду підключаються на заряд від АЗП до напруги 4,2 В на будь-якому ЛІАБ. Подальший заряд для вирівнювання напруг на окремих ЛІАБ проводиться за допомогою внутрішніх пристроїв підзарядки зі складу СНЕ.

При паралельному з'єднанні ЛІАБ в силовому ланцюзі кожного з них повинен бути передбачений елемент захисту від перевантаження по струму (наприклад, плавка вставка), що захищає АМЗ від короткого замикання всередині окремих ЛІАБ, а локальна СК повинна забезпечувати контроль їх стану.

5. Методологія синтезу багатокритеріальних стратегій управління розподілом потужності

Пропонується використання у гібридній СЕЕС СЕУ КПК додаткового АДЕ, котрий складається з двошарових електрохімічних конденсаторів (англ. *Electric double-layer capacitor – EDLC*). Блок-схема класичної стратегії управління гібридною СЕУ КПК із використанням *EDLC* за критерієм мінімуму споживання електроенергії показано на Рисунок 4.

На підставі розробленого методу удосконалено стратегію управління СЕУ КПК за критерієм мінімуму споживання електроенергії (англ. *Equivalent consumption minimization strategy – ECMS*) шляхом введення критерію отримання максимуму альтернативної енергії та регулювання ступеню заряду батарей СНЕ (англ. *External energy maximization strategy with SOC's regulation – EEMS*) із використанням АДЕ, щоб звести до мінімуму споживання палива.

Дотримання інших критеріїв, таких як шум, вібрація, викиди у довкілля або технічне обслуговування СОДГ в першу чергу залежить від робочої точки СОДГ і АДЕ [37] і визначається настроюванням системи керування розподіленням електроенергії. Таким чином, аналогічні функції витрат в залежності від режиму роботи СОДГ можуть бути отримані за цими критеріями, а також і загальна оптимальна потужність СЕУ КПК може бути визначена з виваженою функцією витрат за кількома критеріями.

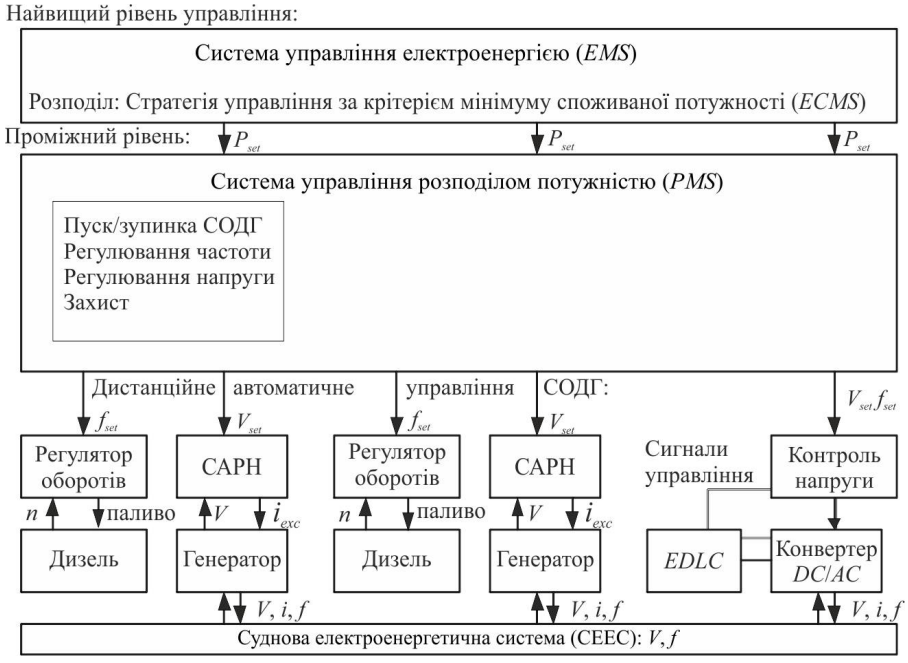


Рисунок 4 – Блок-схема управління гібридною СЕУ КПК за критерієм мінімуму споживання електроенергії: САРН – система автоматичного регулювання напруги (англ. *Automatic Voltage Regulator – AVR*); X_{set} – уставка; P – потужність; f – частота напруги; V – напруга; n – частота обертання СОДГ; i_{exc} – струм збудження генераторів; I – струм СОДГ.

Таким чином, удосконалення стратегії за критерієм отримання максимуму альтернативної енергії та регулювання ступеню заряду батарей СНЕ (англ. *External energy maximization strategy with SOC's regulation – EEMS*) із використанням АДЕ стає перспективним підходом для підвищення ефективності СЕУ КПК в порівнянні з безліччю функцій для майбутніх розробок.

У кінцевому рахунку подальші дослідження повинні рухатися шляхом об'єднання стратегій управління з точки зору комплексного підходу. Блок-схема одного із варіантів удосконаленої стратегії управління інтегрованою системою з гібридним ДЕПК і єдиною СЕЕС на Рисунок 5.

Рисунок 5 – Блок-схема стратегії управління СЕУ КПК за критерієм максимуму альтернативної енергії та регулювання ступеню заряду батарей СНЕ: САРН – система автоматичного регулювання напруги (англ. *Automatic Voltage Regulator – AVR*); X_{set} – уставка; T – упор (момент); F – сила поштовху гвинта; f – частота напруги; V – напруга; n – частота обертання СОДГ; i_{exc} – струм збудження генераторів; i – струм; τ_T – результуюча проекції вектору зусилля на площину руху судна; α_A – кут повороту ПП відносно діаметральної площини судна

Висновки. У рамках вирішення задачі отримали подальший розвиток ресурсозберігаючі екологічно чисті технології експлуатації СЕУ КПК за рахунок застосування альтернативних генеруючих елементів (АГЕ) при проектуванні джерел живлення і підвищення їх швидкодії при зміні експлуатаційних режимів, що дозволило удосконалити стратегії керування гібридними СЕУ КПК з точки зору розподілу потужності між АГЕ, СНЕ, судновою електроенергетичною системою (СЕЕС) та іншими складовими СЕУ відповідно до обраної стратегії управління енергоспоживанням. А саме: у стратегії із контролем за станом

СОДГ (англ. *State machine control strategy – SMCS*); із *PI* управлінням та регулюванням ступеню заряду батарей (англ. *State-of-Charge – SOC*) СНЕ (англ. *Classical PI control strategy with SOC's regulation – CPICS*); із контролем частоти і стану СОДГ та регулюванням ступеню заряду батарей СНЕ (англ. *Frequency decoupling and state machine control strategy with SOC's regulation – FDSMCS*); за критерієм мінімуму споживання електроенергії (англ. *Equivalent consumption minimization strategy – ECMS*); за критерієм отримання максимуму альтернативної енергії та регулюванням ступеню заряду батарей СНЕ (англ. *External energy maximization strategy with SOC's regulation – EEMS*) [38]. Вперше синтезовано трирівневу багатокритеріальну стратегію управління розподілом енергії у гібридній СЕУ КПК, шляхом поєднання класичної стратегії управління розподілом потужності зі стратегією контролю за станом СОДГ і ступенем заряду АГЕ СНЕ, що дозволяє проектувати гнучкі багатофункціональні електроенергетичні системи, які інтегруються у гібридні СЕУ КПК в якості невід'ємної складової, а також проводити параметризацію пропульсивних і енергетичних характеристик СЕУ КПК в залежності від зміни експлуатаційних режимів, гідродинамічних характеристик і умов довкілля. Важливим є можливість ітераційної оптимізації параметрів СЕУ КПК, що дозволяє використовувати розроблений метод як засіб інтелектуального проектування, результатом застосування якого є вдосконалені експлуатаційні характеристики СЕУ КПК. Запропонована стратегія у порівнянні з існуючими системами має вищу швидкодію виявлення ризику знеструмлення СЕЕС, більшу надійність і точність с точки зору визначення необхідності зниження навантаження (в межах 150 мілісекунд) [39]. Нова концепція є повністю інтегрованою системою із всережимними регуляторами частоти обертання ПП і системою електроживлення [40].

Запропонована концепція побудови математичної моделі СЕУ КПК, яка враховує динаміку всіх її об'єктів, в тому числі і судна в режимах передачі потужності від СОДГ на гребні гвинти, підтвердила свою працездатність за допомогою СППР *Ships_CPC* [41].

Дослідження впливу параметрів основних регуляторів системи керування на енергетичні процеси в СЕУ КПК, підтвердило широкі можливості розробки та застосування різних ефективних стратегій функціонування систем стабілізації напруги СОДГ [42].

СППР *Ships_CPC* розроблялася за технологією *Open System*, що означає його можливість реорганізовуватися, перенастроюватися і інтегруватися під технологічні процеси управління енергетичною системою судна будь-якої складності з перспективою на завершення у формі універсальної структури [43, 44].

ЛІТЕРАТУРА

1. Benetazzo F, Ippoliti G, Longhi S, Raspa P. Mint: Advanced control for fault-tolerant dynamic positioning of an offshore supply vessel. Ocean Engineering. 2015;106:472-484. Doi:10.1016/j.oceaneng.2015.07.001.

2. Chen H, Moan T, Verhoeven H. Mint: Effect of DGPS failures on dynamic positioning of mobile drilling units in the North Sea. Accident Analysis & Prevention. 2009;41(6):1164-1171. Doi:10.1016/j.aap.2008.06.010.

3. Du J, Hu X, Krstić M, Sun Y. Mint: Robust dynamic positioning of ships with disturbances under input saturation. Automatica. 2016;73:207-214. Doi:10.1016/j.automatica.2016.06.020.

4. Guo X, Lu H, Yang J, Peng T. Mint: Resonant water motions within a recessing type moonpool in a drilling vessel. Ocean Engineering. 2017;129:228-239. Doi:10.1016/j.oceaneng.2016.11.030.

5. Kim YS, Kim J, Sung HG. Mint: Weather-optimal control of a dynamic positioning vessel using back stepping: simulation and model experiment. IFAC–PapersOnLine. 2016;49(23):232-238. Doi:10.1016/j.ifacol.2016.10.348.

6. Xu S, Wang X, Wang L, Meng S, Li B. Mint: A thrust sensitivity analysis based on a synthesized positioning capability criterion in DPCap/DynCap analysis for marine vessels. Ocean Engineering. 2015;108:164-172. Doi:10.1016/j.oceaneng.2015.08.001.

7. Kiran DR. Failure Modes and Effects Analysis. In: Total Quality Management. Butterworth: Heinemann; 2017. p. 373-389. Doi:10.1016/B978-0-12-811035-5.00026-X.

8. Kritzinger D. Failure Modes and Effects Analysis. In: Aircraft System Safety. Woodhead Publishing; 2017. p. 101-132. Doi:10.1016/B978-0-08-100889-8.00005-2.

9. Indragandhi V, Subramaniyaswamy V, Logesh R. Mint: Resources, configurations, and soft computing techniques for power management and control of PV/wind hybrid system. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017; 69:129-143. Doi:10.1016/j.rser.2016.11.209.

10. Zhang S, Xiong R, Sun F. Mint: Model predictive control for power management in a plug-in hybrid electric vehicle with a hybrid Energy Storage System. Applied Energy. 2017;185 (2):1654-1662. Doi:10.1016/j.apenergy.2015.12.035.

11. Lashway CR, Elsayed AT, Mohammed OA. Mint: Hybrid energy storage management in ship power systems with multiple pulsed loads. Electric Power Systems Research. 2016; 141:50-62. Doi:10.1016/j.epsr.2016.06.031.

12. McCamish B, Meier R, Landford J, Bass RB, Chiu D, Cotilla–Sanchez E. Mint: A backend framework for the efficient management of power system measurements. Electric Power Systems Research. 2016; 140:797-805. Doi:10.1016/j.epsr.2016.05.003.

13. Rozali NEM, Alwi SRW, Manan ZA, Klemeš JJ. Mint: Process Integration for Hybrid Power System supply planning and demand management. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016;66:834-842. Doi:10.1016/j.rser.2016.08.045.

14. Dedes EK, Hudson DA, Turnock SR. Mint: Investigation of Diesel Hybrid systems for fuel oil reduction in slow speed ocean going ships. Energy. 2016; 0114:444-456. Doi:10.1016/j.energy.2016.07.121.

15. Ling-Chin J, Roskilly AP. Mint: Investigating the implications of a new-build hybrid power system for Roll-on/Roll-off cargo ships from a sustainability perspective – A life cycle assessment case study. Applied Energy. 2016; 181:416-434. Doi:10.1016/j.apenergy.2016.08.065.

16. Ortolani F, Mauro S, Dubbioso G. Mint: Investigation of the radial bearing force developed during ship operations. Part 2: Unsteady maneuvers. Ocean Engineering. 2015; 106:424-445. Doi: 10.1016/j.oceaneng.2015.06.058.

17. Akyuz E. Mint: A marine accident analyzing model to evaluate potential operational causes in cargo ships. Safety Science. 2017; 92:17-25. Doi:10.1016/j.ssci.2016.09.010.

18. Bentin M, Zastrau D, Schlaak M, Freye D, Elsner R, Kotzur S. Mint: A New Routing Optimization Tool-influence of Wind and Waves on Fuel Consumption of Ships with and without Wind Assisted Ship Propulsion Systems. Transportation Research Procedia. 2016; 14:153-162. Doi:10.1016/j.trpro.2016.05.051.

19. Maragkogianni A, Papaefthimiou S. Mint: Evaluating the social cost of cruise ships air emissions in major ports of Greece. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2015; 36:10-17. Doi:10.1016/j.trd.2015.02.014.

20. Scherer T, Cohen J. Mint: The Evolution of Machinery Control Systems Support At the Naval Ship Systems Engineering Station. Naval engineers journal. – American Society of Naval Engineers. 2011;2:85-109. Doi:10.1111/j.1559-3584.2011.00321.x.

21. Shih NC, Weng BJ, Lee JY, Hsiao YC. Mint: Development of a 20 kW generic hybrid fuel cell power system for small ships and underwater vehicles. International Journal of Hydrogen Energy. 2014;39(25):13894-13901. Doi:10.1016/j.ijhydene.2014.01.113.

22. Ovrum E, Bergh TF. Mint: Modelling lithium-ion battery hybrid ship crane operation. Applied Energy. 2015;152:162–172. Doi:10.1016/j.apenergy.2015.01.066.

23. Diab F, Lan H, Ali S. Mint: Novel comparison study between the hybrid renewable energy systems on land and on ship. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016;63:452–463. Doi:10.1016/j.rser.2016.05.053.

24. Li CZ. Mint: Fundamentals of renewable energy processes, 2nd ed. Process Safety and Environmental Protection. 2006;84(6):476-483. Doi:10.1205/psep.br.0606.

25. Zhao J, Rao Z, Li Y. Mint: Thermal performance of mini-channel liquid cooled cylinder based battery thermal management for cylindrical lithium-ion power battery. Energy Conversion and Management. 2015;103:157–165. Doi:10.1016/j.enconman.2015.06.056.

26. Ordoñez J, Gago EJ, Girard A. Mint: Processes and technologies for the recycling and recovery of spent Lithium-ion batteries. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016;60:195–205. Doi:10.1016/j.rser.2015.12.363.

27. Wang Q, Jiang B, Li B, Yan Y. Mint: A critical review of thermal management models and solutions of Lithium-ion batteries for the development of pure electric vehicles. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016;64:106–128. Doi:10.1016/j.rser.2016.05.033.

28. Zhou Y, Huang M, Chen Y, Tao Y. Mint: A novel health indicator for on-line Lithium-ion batteries remaining useful life prediction. Journal of Power Sources. 2016;321:1-10. Doi:10.1016/j.jpowsour.2016.04.119.

29. Delucchi MA, Jacobson MZ. Mint: Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs, and policies. Energy Policy. 2011;39(3):1170–1190. Doi:10.1016/j.enpol.2010.11.045.

30. Hassan SR, Zakaria M, Arshad MR, Aziz ZA. Mint: Evaluation of Propulsion System Used in URRG-Autonomous Surface Vessel (ASV). Procedia Engineering. 2012;41:607-613. Doi:10.1016/j.proeng.2012.07.219.

31. Ordoñez J, Gago EJ, Girard A. Mint: Processes and technologies for the recycling and recovery of spent Lithium-ion batteries. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016;60:195–205. Doi:10.1016/j.rser.2015.12.363.

32. Hussein AA, Fardoun AA. Mint: Design considerations and performance evaluation of outdoor PV battery chargers. Renewable Energy. 2015;82: 85-91. Doi:10.1016/j.renene.2014.08.063.

33. Ketsingsoi S, Kumsuwan Y. Mint: An Off-line Battery Charger based on Buck-boost Power Factor Correction Converter for Plug-in Electric Vehicles. Energy Procedia. 2014;56:659-666. Doi:10.1016/j.egypro.2014.07.205.

34. Jaguemont J, Boulon L, Dubé Y. Mint: A comprehensive review of Lithium-ion batteries used in hybrid and electric vehicles at cold temperatures. Applied Energy. 2016;164:99-114. Doi:10.1016/j.apenergy.2015.11.034.

35. Vetter M, Lux S. Mint: Rechargeable Batteries with Special Reference to Lithium–Ion Batteries. Storing Energy. 2016: 205–225. Doi:10.1016/B978-0-12-803440-8.00011-7.

36. Yang N, Zhang X, Shang B, Li G. Mint: Unbalanced discharging and aging due to temperature differences among the cells in a lithium-ion battery pack with parallel combination. Journal of Power Sources. 2016;306:733-741. Doi:10.1016/j.jpowsour.2015.12.079.

37. Budashko VV. Mint: Design of the three-level multicriterial strategy of hybrid marine power plant control for a combined propulsion complex. Electrical engineering & electromechanics. 2017;2:62-72. Doi:10.20998/2074-272X.2017.2.10.

38. Budashko VV, Onishchenko OA, Ungarov DV. Mint: Modernization of hybrid electric-power system for combined propulsion complexes. Electrotechnic and computer systems. 2016;23(99):17–22. Doi: 10.15276/eltecs.23.99.2016.02.

39. Budashko VV. DMI–Models in Modeling of Power Condition in PWM–Propulsion. In: Proceedings of 2nd International Conference on Inductive modeling (ICIM 2008). – Kyiv, Ukraine: Укр. ІНТЕІ; 2008, p. 279–280. Available from: http://www.mgua.irtc.org.ua/attach/ICIM-IWIM/2008/3.5.2%20.pdf. [Accessed: 2018-09-16].

40. Budashko VV, Glazeva OV, Samonov SF. Mint: Conceptualization of research of power hybrid electric power complexes. Technology audit and production reserves. 2016;5-1(31):63–73. Doi: 10.15587/2312-8372.2016.81407.

41. Budashko V. Mint: Formalization of design for physical model of the azimuth thruster with two degrees of freedom by computational fluid dynamics methods. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017;3-7(87):40–49. Doi:10.15587/1729-4061.2017.101298.

42. Budashko VV. Mint: Increasing control's efficiency for the ship's two-mass electric drive. Electrical engineering & electromechanics. 2016;4:34 – 42. Doi:10.20998/2074-272X.2016.4.05.

43. Budashko V, Golikov V. Mint: Theoretical-applied aspects of the composition of regression models for combined propulsion complexes based on data of experimental research. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017;4-3(88):11-20. Doi:10.15587/1729-4061.2017.107244.

44. Budashko V, Nikolskyi V, Onishchenko O, Khniunin S. Mint: Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes. Eastern–European Journal of Enterprise Technologies. 2016;3-8(81):10-21. Doi:10.15587/1729-4061.2016.72543.

УДК 656.62.052.8

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРЕНАЖЕРОВ МАШИННОГО ОТДЕЛЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СУДОВЫХ ИНЖЕНЕРОВ В ЧАСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В.А. Шевченко, к.т.н., доцент
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *В работе предложены направления развития тренажеров машинного отделения в части эксплуатации судовых электроэнергетических установок. Рассмотрены возможности настройки параметров защит генераторов тренажеров двух ведущих производителей на рынке. Определены редактируемые и нередактируемые параметры и предложен перечень настроек для внедрения в будущих поколениях тренажеров машинного отделения. Проанализированы способы синхронизации в современных системах управления электроэнергетическими установками и определены направления по улучшению тренажеров в части изучения процесса синхронизации.*

Ключевые слова: *тренажер машинного отделения, электроэнергетическая установка, защиты генераторов, процесс синхронизации.*

Постановка проблемы. Современное судно представляет собой сложный технический комплекс с высоким уровнем автоматизации управления производственными процессами, базирующимися на таких отраслях техники как механика, электромеханика, гидромеханика и термодинамика.

Этим обусловлена широкопрофильность инженерно-технического персонала морских судов, узаконенная Международной Конвенцией ПДНВ с поправками [1] в стандартах под названием «Спецификация минимальных требований к компетентности», в которых указан необходимый для выполнения обязанностей объем знаний, умений и навыков по каждой функции.

Тренажеры машинного отделения являются неотъемлемым техническим средством обучения при подготовке и оценке компетентности судовых механиков и электромехаников. Одним из методов демонстрации компетентности согласно Кодексу ПДНВ является «Одобренная подготовка на тренажере». Имеющиеся сегодня на рынке тренажеры машинного отделения позволяют обрести ряд навыков эксплуатации судовых систем и механизмов по функции «Судовые механические установки». Однако с практической точки зрения такая подготовка в основном лишь адаптирует обучаемого к встрече с реальными аналогами судовых систем и механизмов, и не позволяет во многих случаях закрепить полученные теоретические и практические знания.

Внедрение на современных судах новых технологий, сложного оборудования, компьютерных и микропроцессорных систем управления и регулирования [2-4] ставит перед судовыми инженерами задачу не только правильного использования судовых систем и механизмов, а и их настройки и поиска неисправностей.

Современные тренажеры машинного отделения за исключением редких случаев [5] не предоставляют возможности изменять параметры работы электрических и электронных устройств управления, а также защитного оборудования большинства систем и, как следствие, не позволяют обрести навыки их наладки. Тем более, для большинства составляющих компетенций, заданных в функциях «Техническое обслуживание и ремонт», «Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления» на уровне управления современные тренажеры либо совсем не приспособлены, либо недостаточно развиты. Это относится, прежде всего, к таким составляющим, как: «Устранение неисправностей электрического и электронного оборудования управления»; «Функциональная проверка электрических и электронных устройств управления, а также защитного оборудования»; «Проверка и наладка оборудования» и др [6-10].

В первую очередь это касается судовой электроэнергетической установки, как одного из наиболее важных судовых объектов с точки зрения безопасности мореплавания, поскольку выход из строя этого объекта ведет к полной неуправляемости судна. В связи с этим основными задачами электроэнергетической установки, являются, прежде всего, обеспечение бесперебойности, требуемых технико-экономических показателей ее устройств и оптимизация режимов ее работы. Поэтому среди задач, необходимых для реализации в тренажере, выделим [11-14]: функциональные испытания и настройка защит генерирующего и иного силового электрооборудования; настройка параметров процесса синхронизации генераторов; настройка параметров процесса распределения ак-

тивной и реактивной нагрузок генераторов; настройка параметров управления процессами пуска и остановки дизель-генераторов.

Основной материал исследования. В данной работе автор проанализировал возможности двух наиболее распространенных полномасштабных тренажеров машинного отделения: Transas ERS 5000 (Model LNG dual fuel engine) и Kongsberg ERS Neptune (Model Container vessel RT-FLEX engine) рис. 1, 2. С учетом того, что большинство задач, необходимых для реализации в тренажерах, для этих моделей являются общими, в дальнейшем в работе принадлежность отдельных проблем к тому или иному тренажеру конкретизироваться не будет.

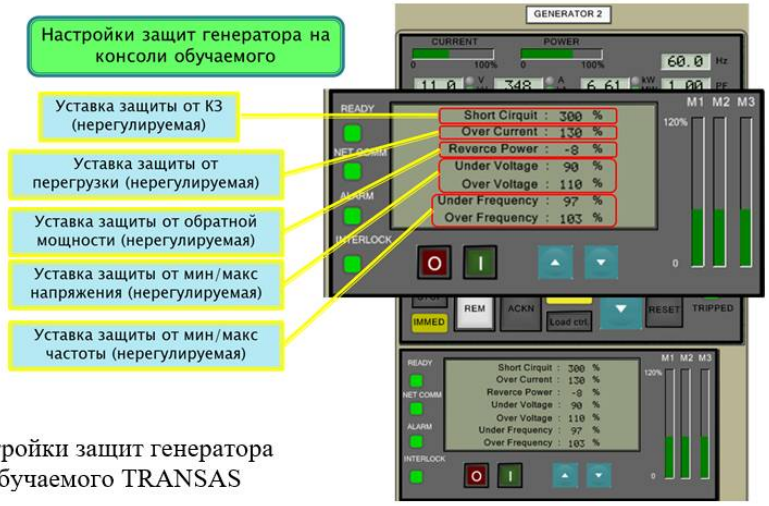


Рисунок 1 – Настройки защит генератора на консоли обучаемого TRANSAS

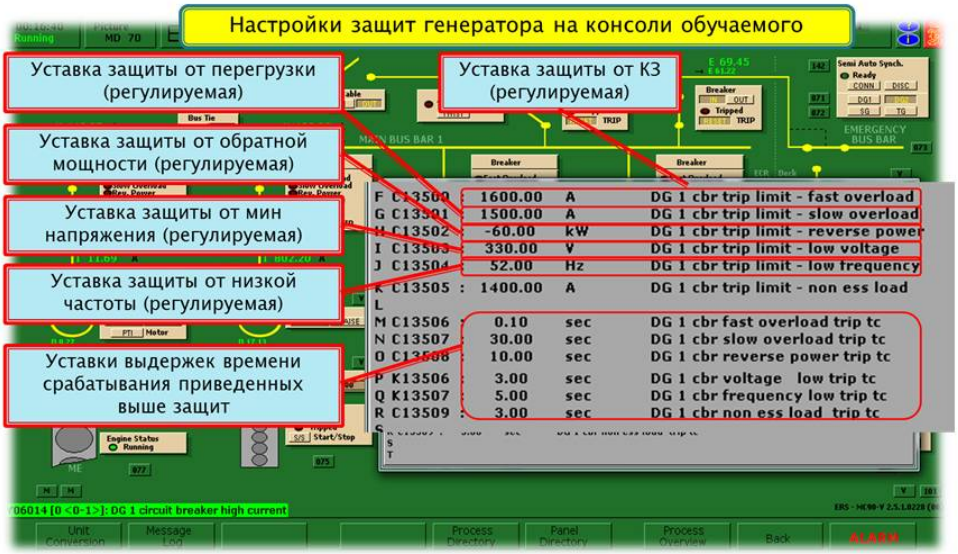


Рисунок 2 – Настройки защит генератора на консоли обучаемого Kongsberg ERS Neptune

Функциональные испытания и настройка защит генерирующего и иного силового электрооборудования могут осуществляться при наличии доступа не только к параметрам устройств защит, но и к параметрам объектов защиты. В современных тренажерах ведущих производителей эти параметры, как правило, либо закрыты полностью, либо доступны только инструктору.

В связи с этим предлагается реализовать возможность настройки следующих параметров, с доступом как для инструктора, так и для оператора: ток (I_{SC}) и выдержка времени (t_{SC}) срабатывания защиты от короткого замыкания генератора; напряжение (U_{UV}) и выдержка времени (t_{UV}) срабатывания защиты по минимальному напряжению; мощность (P_{RP}) и выдержка времени (t_{RP}) срабатывания защиты от обратной мощности; ток (I_{PT}) и выдержка времени (t_{PT}) срабатывания защиты по отключению второстепенных потребителей; токи (I_{OC}) и выдержки времени (t_{OC}) срабатывания защиты от перегрузки по току. В упомянутых тренажерах защита от перегрузки по току реализована лишь для одной точки (как правило, 110% от номинального), что не является корректным, поэтому в дальнейшем для этой защиты предлагается предусмотреть реализацию время-токовой характеристики, рис.3, с возможностью ее настройки применительно к различным значениям термической стойкости электрических машин.

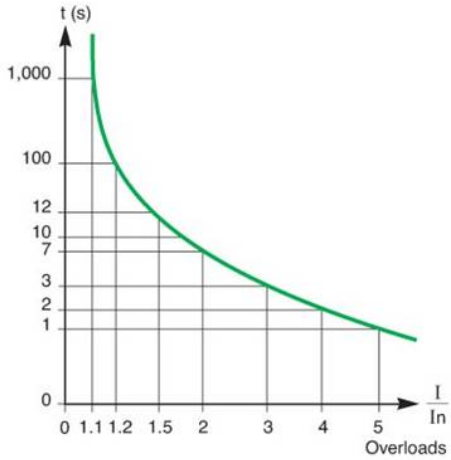


Рисунок 3 – Время-токовая характеристика защиты от перегрузки по току генератора

Не менее важным с точки зрения надежной работы судовой электроэнергетической установки является правильная настройка процесса автоматической синхронизации. В особой мере это касается установок с валогенераторами, где характерны стохастические флуктуации параметров электрической энергии под действием внешних возмущающих факторов, обусловленных изменяющейся нагрузкой станции либо нерегулярной качкой судна, что может значительно затянуть или вовсе сделать невозможной автоматическую синхронизацию при стандартных настройках ее параметров. В работе [5] детально исследованы процессы синхронизации в судовых энергетических установках при стандартных и нестандартных условиях, выделен ряд граничных (эталонных) значений параметров процесса синхронизации и предложен способ и целевая функция настройки $F_{SY} = f(\Delta f_{\max}, \Delta U_{\max}, \Delta f_{\min}, T_{s\min}, T_{s\max}, t_{GB})$ при изменении внешних условий, где $\Delta U_{\max}$ – допустимая разность напряжений синхронизируемого генератора и сети; $\Delta f_{\max}$ – максимальная частота скольжения; $\Delta f_{\min}$ – минимальная частота скольжения; $T_{s\min}$ – заданное по условиям устойчивости, минимальное время синхронизации; $T_{s\max}$ – заданное по условиям быстродействия максимально допустимое время синхронизации; t_{GB} – время включения генераторного автомата.

При изучении процесса синхронизации на тренажерах машинного отделения перед обучаемым целесообразно ставить ряд задач, среди которых следует выделить задачи быстродействия, т.е. задачи выполнения управления в кратчайший срок, задачи управления в предписанное (заданное) время и задачи управления в предписанных условиях. Для этой цели целесообразно реализовывать задачи управления с заданием целевой функции $U = f(K_1, K_2, K_3)$ по таким критериям оптимальности для задач быстродействия как:

$$K_1 = \min_u T,$$

где T – время управления; u – управление синхронизируемым объектом;

для задач управления в заданное время:

$$K_2 = \min_u (T_{set} - T_{act}),$$

где T_{set} – заданное (предписанное) время требуемого управления; T_{act} – фактическое время, затраченное на выполнение управления;

для задач управления в заданных условиях:

$$K_3 = \min_u (\Delta p_{prm} - \Delta p_{act}),$$

где Δp_{prm} – допустимая величина отклонения параметра p_i от допустимого значения p_{prm}; Δp_{act} – фактическое отклонение p_i от p_{prm}.

Исходя из наличия либо отсутствия внешних возмущающих факторов и требований к качеству процесса синхронизации, как правило, применяют два способа автоматической синхронизации: с постоянным углом опережения закрытия генераторного автомата и с постоянным временем опережения закрытия генераторного автомата. При синхронизации с постоянным углом опережения в большинстве современных систем диапазон регулировки фазового угла включения генераторного автомата составляет от +/-0.1 до 20.0°, как показано на рис. 4.

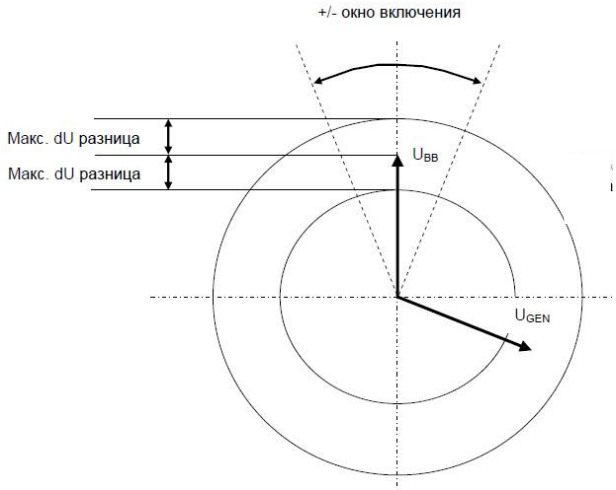


Рисунок 4 – Окно угла включения генераторного автомата

Способ синхронизации с постоянным временем опережения применим, когда важным критерием синхронизации является быстродействие, а также присутствуют флуктуации параметров электрической энергии. При этом для каждого значения частоты скольжения определяется угол α_{CL} (момент времени) подачи импульса на закрытие генераторного автомата согласно выражению:

$$\alpha_{CL} = 360 \cdot t_{GB} \cdot \Delta f.$$

При таком способе автоматической синхронизации важной из соображений устойчивости и быстродействия является настройка максимальной $\Delta f_{\max}$ и минимальной $\Delta f_{\min}$ частот скольжения в условиях широкого диапазона времени срабатывания генераторного автомата.

Выводы. Новые тренажеры САЭЭС должны быть пригодными не только для подготовки эксплуатационников (уровня бакалавра, судового электромеханика/механика), но и для более глубокого изучения объектов и процессов САЭЭС при подготовке магистров и проведении научных исследований. Для этой цели необходимо предусмотреть достоверные модели синхронной и асинхронной машины с возможностью моделирования различных законов управления в генераторном и двигательном режимах.

Апробация отработки большинства предложенных задач была проведена на физических имитационных моделях оборудования судовой электроэнергетической установки в лабораториях Национального университета «Одесская морская академия» и Одесского морского тренажерного центра.

Предложенные направления совершенствования тренажеров машинного отделения позволят значительно расширить область их применения, охватывая не только подготовку пользователей, но и эксплуатационников, наладчиков, а также научных кадров в данной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. The International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers including 2010 Manila Amendments: STCW Convention and STCW Code. – Third consolidated edition, 2011. – 356 p.Гончарук

2. Шевченко В. А. Верификация функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией / В. А. Шевченко // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб., 2015, Вып. 21, с. 70-76.

3. Шевченко В. А. Способ верификации функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией / В. А. Шевченко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науч. -техн. сб., 2015, Вып. 1, с. 296-301.

4. Захарченко В. Н. Решение задач управления судовой электроэнергетической установкой при изменении нагрузки / В. Н. Захарченко, В. А. Шевченко // Судовые энергетические установки: науч. – техн. сб. – 2015. – Вып. 36. Одесса: ОНМА. – С. 74-82.

5. Hikima, T.; Splinter J.; and Oever, H.: Automation & Control with the Use of an Engine Room Simulator, International Conference on Engine Room Simulators 5 (ICERS 5), 106-119, Singapore, 2001.

6. Судовые автоматизированные тепло- и электроэнергетические установки. Учебное пособие. / Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Савельев А.Е., Шевченко В.А; Ин-т последипломного образования «Одесск. мор. тренажерн. центр» - Одесса: ТЭС, 2011 – 394 с.

7. Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления: Учебное пособие / [Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Теплов Ю.И., Шевченко В.А.]. – Одесса: ТЭС, 2016. – 480 с.: ил.

8. Пипченко А.Н. Судовые автоматизированные механические установки: учебное пособие / А.Н. Пипченко, В.В. Пономаренко, В.А. Шевченко. – Одесса: ТЭС, 2015. – 366 с.

9. Пипченко А.Н. Принципы построения и основы наладки контроллеров и систем автоматики: Учебное пособие / Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Шевченко В.А. – Одесса: ТЭС, 2010. – 592 с. ISBN 978-966-2389-15-9

10. Эксплуатация и ремонт одно- и двухтопливных двигателей производства Wartsila в энергетических установках морских транспортных средств: Монография / [Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Шевченко В.А., Табулинский И.Н.]. – Одесса: ТЭС, 2018. – 361 с.

11. Шевченко В. А. Алгоритм быстрой оценки параметров судовых электроэнергетических систем // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2018. – №3(244). – С. 136 – 141.

12. Шевченко В.А. Оптимизация управления электростанцией из условия минимума расхода топлива и с учетом метеоусловий // *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2018. № 4. С. 94–103.

13. Шевченко В. А. Синтез алгоритмов управления вало- и дизель-генераторными установками // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: наук. журнал. — Вип. 1(12). — Херсон: Видавництво ХДМА, 2018. — С. 92 — 97.

14. Шевченко В.А. Способ решения задач управления процессом пуска и остановки дизель-генератора в системах управления судовыми электростанциями // Наукові праці: Науково-методичний журнал. – Вип. 254. – Т. 266. Комп'ютерні технології. – Миколаїв: Вид-во ЧДУ їм. Петра Могили, 2018.

СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

УДК 621.311

ОПТИМИЗАЦИЯ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ПРОЦЕССА ПУСКА СУДОВОГО ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

В.С. Луковцев, к.т.н., доцент
Д.С. Стеблинский, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Поставлена задача разработки эффективного алгоритма предотвращения выхода судовых дизель-генераторов в запредельные скоростные режимы в процессе пуска и разгона до номинальной частоты вращения.*

Ключевые слова. *Аварийный дизель-генератор, алгоритм, теорема Фельдбаума, оптимальное управление, разнос, запредельные обороты*

Обоснование проблемы. На морских судах для сокращения времени запуска дизель-генераторов (ДГ), особенно аварийных, широко используется алгоритм «быстрого пуска», который характерен тем, что пусковая подача топлива обеспечивает разгон первичного двигателя до частоты вращения близкой (95%) к номинальной. Однако при использовании такого алгоритма из-за разрегулирования регулятора частоты вращения или топливной аппаратуры, существует опасность выхода двигателей в разнос, что является для них чрезвычайно опасным [1]. Поэтому для обеспечения безопасного пуска двигателей важно предупредить такой режим до того, как двигатель будет остановлен защитой [2].

Постановка задачи. С этой целью в данной работе ставится задача разработать алгоритм быстрого, но безопасного пуска, предусматривающий профилактическое прерывание подачи топлива в опасные моменты.

Методы решения. В основу такого алгоритма предлагается положить принцип управления, основанный на теореме Фельдбаума об ***n*** интервалах [3], который широко используется для управления рулевыми машинами и в системах самовозбуждения синхронных генераторов. Задачей оптимального управления в этом случае будем считать обеспечение быстрого и безопасного перехода ДГ из состояния «дизель остановлен» в состояние «дизель в работе» за минимальное время с возможно меньшим перерегулированием. В этом случае ДГ не будет развивать запредельные обороты.

Для того чтобы переходный процесс был закончен в минимальное время, величина управляющего воздействия (подача топлива) должна поддерживаться на максимальном уровне в течение всего переходного процесса, а чтобы дизель не попал в запредельную зону оборотов, управление должно быть оптимальным. Такое управление свидетельствует о том, что система будет вести себя как релейная. Поэтому основной задачей управляющего устройства, формирующе-

го оптимальное управление, должно быть кратковременное отключение подачи управляющего воздействия (отключение топлива) в моменты времени, отвечающие условиям безопасного управления (рис. 1).

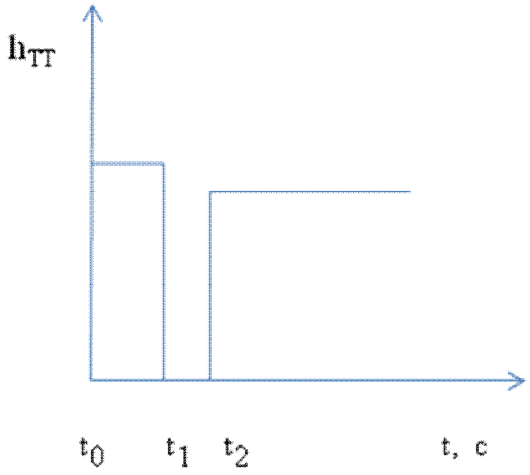


Рисунок 1 – Временная диаграмма подачи топлива $h_{тт}$ при пуске дизель-генератора

Закон управления будет меняться в зависимости от траектории реального пуска и разгона ДГ, которая будет контролироваться по определенным параметрам и в случае необходимости – корректироваться. При опасности выхода ДГ в запредельное состояние управляющий сигнал (подача топлива) будет отключаться, а потом переходить на рабочую подачу.

Выводы. Включение в алгоритм быстрого пуска ДГ операций по коррекции подачи топлива, направленной на недопущение выхода ДГ в разнос, повысит эксплуатационную надежность дизель-генераторов, работающих по алгоритму «быстрого пуска», что особенно важно для аварийных дизель-генераторов.

Математический аппарат теоремы Фельдбаума позволит синтезировать систему дистанционного автоматизированного управления пуском ДГ удовлетворяющую поставленной задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маслов Ю.В., Фурмаков Е.Ф., Гусев В.С. Система автоматизации аварийной защиты быстроходных судовых двигателей //Прикладная математика в инженерных и экономических расчетах: Сборник научных трудов. – СПб.: СПГУВК, 2001. – С. 67-73.

2. Луковцев В.С. Алгоритм противоаварийного управления разгоном главного двигателя при пуске// Судовые энергетические установки: Науч.-техн. Сб.-2002. – Вып. 7. – Одесса: ОГМА. – С. 63-68.

3. Суевалов И.Г. Справочник по расчетам судовых автоматических систем. – Л. Судостроение, 1977. – 376 с.

УДК 532.5:53.08

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕТОНАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛИВ

А.К. Сандлер, доцент
Національний університет "Одеська морська академія"

Анотація: *Для побудови системи всебічного моніторингу параметрів суднової енергетичної установки необхідно здійснювати ефективний контроль властивостей палив та паливних сумішів. Існуючі системи контролю не у повній мірі за своїми специфікаційними та технічними характеристиками відповідають задачам моніторингу. Можливості існуючих відомих систем мають обмеження по глибині використання та компенсації впливу експлуатаційних факторів. Запропоновано нове схемотехнічне рішення пристрою контролю детонаційних властивостей палив. У розробленому пристрої реалізоване інваріантне вимірювання параметрів палив, що впливає на ефективність та безпеку судноплавства.*

Ключові слова: *детонаційні властивості, паливо, пристрій.*

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними задачами

В процесі взаємодії ударної хвилі з циліндричною оболонкою на її поверхні утворюється тиск різної інтенсивності, яка має бути визначена для різних точок поверхні і оцінена з позиції зміни у часі. При вирішенні завдання передбачається, що всі перетини оболонки знаходяться в однакових умовах і процес взаємодії для них протікає однаково. Визначення навантажень на циліндричну оболонку при взаємодії з ударною хвилею зводиться до знаходження тиску в кожній точці її поверхні для різних моментів часу. Крім того, оболонка вважається жорсткою, що дозволяє не враховувати вплив деформації оболонки на розподіл тиску на поверхні оболонки [1, 2].

Аналіз останніх досягнень та публікацій, в яких розпочато розв`язування даної проблеми та висвітлювання нерозв`язаних раніше частин загальної проблеми

Аналіз існуючих пристроїв контролю параметрів ударної хвилі, яка виникає при детонації палива, показав наступне. Можливості більшості використовуваних пристроїв не дозволяють реалізувати ефективний моніторинг поля ударної хвилі. Спільними проблемами для всіх типів пристроїв є проблеми чутливості, швидкодії і стабільності чутливого елемента, що визначають чутливість датчика і точність вимірювань.

Для виявлення причин виниклого дисбалансу були розглянуті конструкції найбільш поширених пристроїв цього класу.

Відомий пристрій, що містить джерело та приймач випромінювання, 16 чотирьохволоконних шин, циліндричну основу з напівсферичною кришкою та детонаційним транслятором (рис. 1) [3].

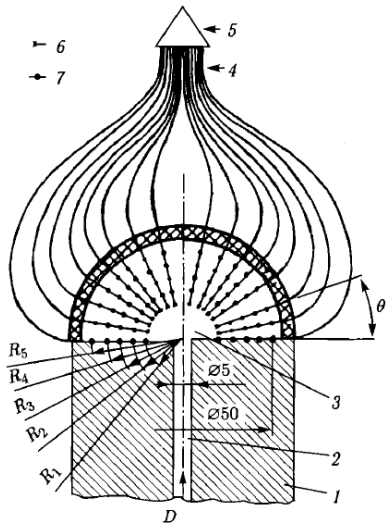


Рисунок 1 - Схема пристрою для зондування детонаційного фронту: 1- основа з циліндричним каналом; 2 – детонаційний транслятор; 3 – середовище що досліджується; 4 – шістнадцять чотирьохволоконних шин; 5 – напрям шин світловодів для закріплення їх на панелі швидкодіючої відеокамери; 6 – увод світлового імпульсу з торця світловоду; 7 – увод світлового імпульсу з бокового вікна світловоду

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням відкритих ділянок волоконними світловодами, що знаходяться під впливом продуктів вибуху:

- необхідність дотримання чистоти поверхонь світловодів для запобігання похибок вимірювання;
- необхідність постійного підтримання геометрії контактних поверхонь світловодів в умовах впливу ударних навантажень та неконтрольованих експлуатаційних факторів;
- складність заміни пошкоджених світловодів;
- необхідність додаткового обладнання (високошвидкісної відеокамери) для опрацювання фоторозгортки зображень з волоконних світловодів.

Найбільш близьким за, за технічною сутністю до задач контролю тиску ударної хвилі, є пристрій, що містить джерело і приймач випромінювання, комунікаційні світловоди та циліндричну оболонку з пластинками, які приклеєні до її поверхні (рис. 2) [3, 4].

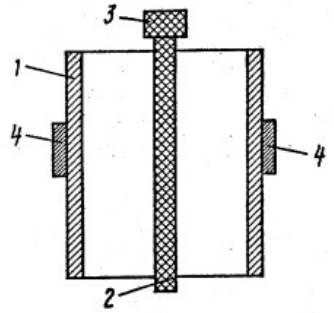


Рисунок 2 - Схема пристрою визначення тиску у фронті ударної хвилі: 1– циліндрична оболонка; 2 – середовище що досліджується; 3 – детонатор; 4 – контрольні пластини

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням відкритого оптичного каналу та пластинок, що приводяться до руху ударною хвилію:

–необхідність дотримання чистоти поверхонь світловодів для запобігання похибок вимірювання;

–необхідність постійного підтримання геометрії оптичного каналу в умовах впливу неконтрольованих експлуатаційних факторів;

–неможливість урахування впливу температури навколишнього середовища на результати вимірювання.

Формулювання мети статі (постановка задачі)

У сформованих реаліях представилася доцільною розробка нового схемотехнічного рішення контролю тиску хвилі. Конструкція пристрою визначалась як така, у якої відсутня необхідність постійної підтримки чистоти оптичних поверхонь та геометрії відкритого оптичного каналу, відсутня необхідність у додатковому обладнанні, присутня можливість компенсації коливань температури зовнішнього середовища та одночасно збережені чутливість та простота схемотехнічних рішень систем відомих типів.

Основною відміною запропонованого приладу є те, що джерело випромінювання та фотоприймач сполучені крізь симетричний розгалужувач, світловод з закріпленою на ньому біметалевою пластиною, мультиплексор/ демультиплексор та шістнадцятигілковий розгалужувач з 16 світловодними котушками з віддзеркалюючим шаром на кінці, які розташовані радіально до основи на чотирьох рівнях та є стислими між основою та зовнішнім циліндром.

Виклад матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Суть роботи пристрою пояснюється кресленням (рис. 3).

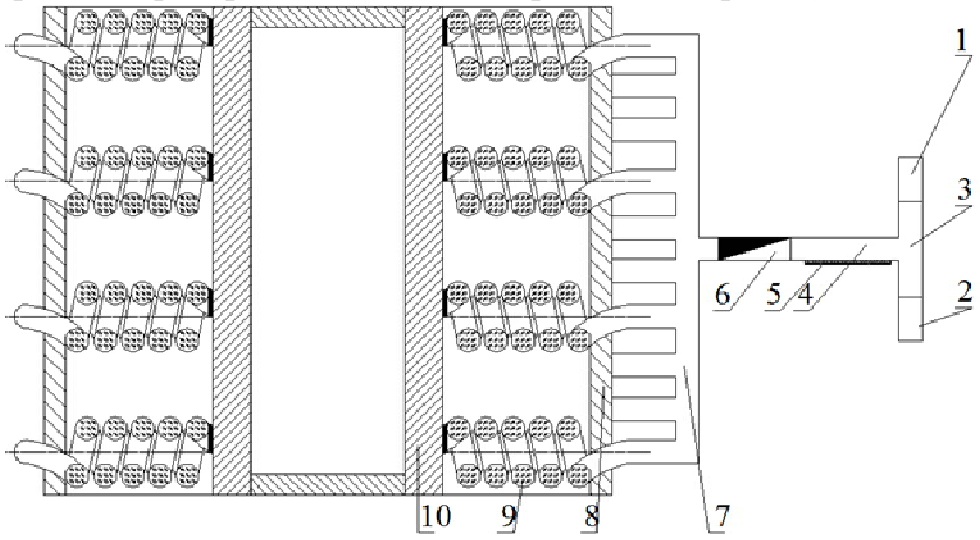


Рисунок 3 - Пристрій визначення тиску у фронті ударної хвилі (розріз у діаметральної площині): 1 – джерело випромінювання; 2 – фотоприймач; 3 – симетричний розгалужувач; 4 – світловод; 5 – біметалева пластина; 6 – мультиплексор/демультиплексор; 7 – шістнадцятигілковий розгалужувач; 8 – зовнішній циліндр; 9 – світловодна котушка з віддзеркалюючим шаром на кінці; 10 – основа з кришками.

Для здійснення роботи пристрою застосовано комбінацію оптикомеханічних елементів.

У статичному режимі (калібрування) у основу завантажується контрольований матеріал та замикається кришка. У блоці реєстрації фіксуються відповідні данні та поправки, що враховують температуру навколишнього середовища.

У динамічному режимі (вимірювання), після генерування в основі ударної хвилі відбувається динамічна деформація основи та світловодних котушок, що стислі між основою та зовнішнім циліндром. Зміна геометрії котушок ініціює порушення умов повного внутрішнього відбивання світла у світловоді, що утворює котушку. Завдяки цьому частка світла випромінюється за межи світловодної котушки. Частка, що залишилась, відбивається від віддзеркалюючого шару та у зворотному напрямку надходить до фотоприймача [8].

Частка випромінювання, що буде зафіксована у такій спосіб від кожної котушки кожного рівня розташування буде пропорційна величині динамічного впливу та дозволить визначити параметри фронту ударної хвилі.

Для компенсації впливу температури навколишнього середовища на елементи пристрою застосовується біметалева пластина, що пропорційно температурі змінює вигин світловода та зменшує заздалегідь внесені втрати випромінювання у світловоді.

Таким чином, відбувається повний цикл вимірювання.

Висновки та перспектива подальшої роботи за даним напрямком

Технічний ефект досягається завдяки тому, що комбінація оптикомеханічних елементів забезпечує [9, 10, 11]:

- відсутність впливу неконтрольованих експлуатаційних та кліматологічних факторів на оптичний канал;
- захищеність чутливих елементів пристрою;
- постійність геометрії оптичного каналу в умовах впливу неконтрольованих експлуатаційних факторів;
- постійне вимірювання у реальному масштабі часу;
- підвищену чутливість та точність приладу.

Використання пристрою, що пропонується, дозволить адекватно и достовірно оцінювати кількісний показник тиску ударної хвилі при визначені властивостей палив для суднових енергетичних установок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дубровин В.М., Бутина Т.А. Моделирование процесса взаимодействия ударной волны с цилиндрической оболочкой. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://engjournal.ru/ catalog/ mathmodel/ solid/ 1233.html.

2. Методы исследования свойств материалов при интенсивных динамических нагрузках/ под общ. редакцией М.В. Жерноклетова. – Саров: ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ", 2005.

3. Андреев, С.Г., Бойко, М.М., Селиванов, В.В. Экспериментальные методы физики взрыва и удара/ Под ред. В.В. Селиванова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 752 с.

4. А.с. 1509656 А1 СССР, МКИЗ G 01L 23/06. Способ определения давления во фронте цилиндрической волны/В.А. Белинин, А.В. Колотилов, В.А. Колотилов, Д.А. Поспелов, В.Д. Яневский (СССР). – № 4280989/24-10; заявлено 10.07.87; опубл. 23.09.89, бюл. № 35. – 2 с.

5. Аш, Ж. Датчики измерительных систем: в 2 книгах. Кн.2. Пер. с франц. – М.: Мир, 1992. – 424 с.

6. Удд, Э. Волоконно-оптические датчики. – М.: Техносфера, 2008. – 520 с.

7. Дорохов, А.Н. Оптические измерения. – Балт. гос. техн. ун-т. СПб.: 2005. – 204 с.

8. Сандлер, А.К., Цюпко, Ю.М. Волоконно-оптичний датчик електростатичного поля. // Автоматизация судовых технических средств. – Одесса: НУ "ОМА". – 2017. – Вып. 23. – С. 84 - 90.

9. Сандлер, А.К., Цюпко, Ю.М. Пристрій визначення тиску у фронті ударної хвилі. Деклараційний патент України № 127439. МПК (2006): G01M 11/00, G01L 23/00 – заявл. 02.04.2018. // Опубл. 25.07.2018, бюл. № 14/2018.

10.Сандлер, А.К., Логишев, И.В. Разработка волоконно-оптических устройств для систем контроля и управления СЭУ. // Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт: матеріали науково-технічної конференції – Одеса: ОНМА. – 2012. – С. 19 - 22.

11.Сандлер, А.К. Волоконно-оптический акселерометр для контроля высокочастотной вибрации судовых газотурбинных установок. //Автоматика-2008: доклади 15 міжнародної конференції з автоматичного управління – 23-26 вересня 2008 р. – Одеса: ОНМА. – С. 504 - 506.

УДК 621.382.2(042)

ЭМУЛЯЦИЯ РАБОТЫ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ФИРМЫ MOTOROLA СЕРИИ M68HC05 ПРИ ПОМОЩИ СОВРЕМЕННОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ФИРМЫ ATMEL

Р.И. Куделькин, аспирант
В.С. Луковцев, к.т.н., доцент
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация: *в статье описан пример замены (эмуляции) широко распространенного микроконтроллера фирмы Motorola M68HC05-C2 используемого в технологическом оборудовании, на комплект Arduino Mega 2560. Предлагаемая замена позволяет восстановить работоспособность дорогостоящего оборудования, не прибегая к покупке целиком оборудования, из-за прекращения выпуска указанного микроконтроллера. Замена возможна силами низкоквалифицированного персонала, не обладающего компетенциями профессиональных системных программистов и электронщиков.*

Ключевые слова: *M68HC05-C2, эмуляция, Arduino, микроконтроллер.*

Фирма Motorola более 20 лет назад начала выпуск 8-битного микроконтроллера M68HC05-C2 [1], который широко используется в различном технологическом оборудовании и в бытовой технике. За это время, было выпущено десятки миллионов соответствующих микросхем. Оборудование, управление которым осуществляется от процессора M68HC05-C2, до сих пор используется во многих технологических процессах и полностью удовлетворяет требованиям заказчика. Это многочисленные станки с программным числовым управлением, блоки контроля за параметрами автоматических линий производств, сложная бытовая техника. Но, в последнее время, при выходе из строя собственно микропроцессоров, владельцы технологического оборудования сталкиваются с проблемой ремонта, т.к. микросхемы давно уже не выпускаются.

Замена, например, станка, из-за неисправного процессора, представляется экономически неоправданным решением. Замена микропроцессора на современный функциональный аналог, с одной стороны, представляется достойным решением, а с другой стороны, требует привлечения высококвалифицированных специалистов, например, системных программистов и специалистов по применению микроконтроллеров, что накладывает определенные организационно-финансовые ограничения на подобные решения.

Функционирование микропроцессора M68HC05-C2 в составе управляющего блока какого-либо оборудования, можно представить в виде «черного ящика», с входными портами, к которым подключены: матричная клавиатура, при помощи которой задаются те, либо иные функциональные действия на выходе «черного ящика»; датчики определяющие границы изменений различных параметров технологического процесса и выходные порты, к которым подключены различные исполнительные устройства, например, реле, электромагнитные клапаны, электродвигатели и сигнализаторы, как это показано на рис. 1.

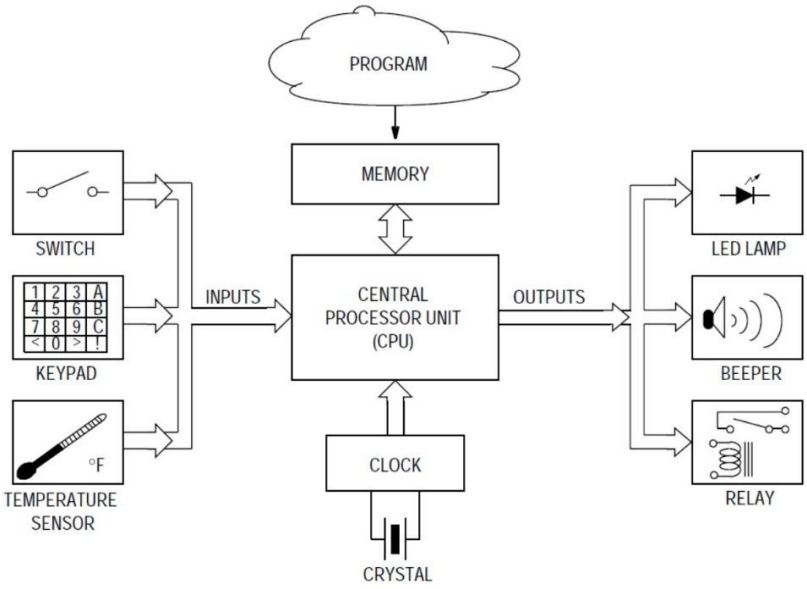


Рисунок 1 – Общая структура микропроцессорной системы на базе M68HC05-C2

Используя широко распространенные микропроцессорные комплекты «Arduino» [2], возможно выполнить практически поконтактную эмуляцию неисправного M68HC05-C2, восстановив работоспособность дорогостоящего оборудования без привлечения высококлассных специалистов.

В представленной работе описывается замена (эмуляция) микропроцессора M68HC05-C2, установленного на плате управления программного автомата, при помощи набора «Arduino Mega 2560» [3].

Входные цепи контроллера представляют собой матричную клавиатуру размерностью 7x2, управление (выбор) соответствующими датчикам осуществляется при помощи аналогового коммутатора LC7821 [4], управляемого соответственно по трехпроводной цифровой шине и выходные цепи, представляющие собой релейные выходы (без возможности плавного изменения уровня сигнала, либо ШИМ). Оригинальным схемотехническим решением является

організація управління восьмью выходными исполнительными устройствами по 6-ти проводной шине.

Аналоговый коммутатор позволяет выбирать один из восьми датчиков, подключенных по дифференциальной схеме (2 канала), либо одновременно, два датчика из шестнадцати. Кнопки с номерами 1-6 представляют собой (логически) блок зависимого переключения. Нажатие на какую-либо кнопку, приводит к отмене предыдущего нажатия на любую из этих шести и включение функции, жестко привязанной к нажимаемой кнопке. Кнопки с номерами 7-14 имеют триггерное функционирование, т.е. функция, привязанная к выбранной кнопке, включается нажатием на эту кнопку и отключается повторным нажатием на эту же кнопку. Никакие другие кнопки на управление триггерными, влияния не оказывают. Также, известно, нажатие на какую из кнопок матрицы приводило к появлению на выходе M68HC05-C2 выходного сигнала логического 0, или 1.

Фрагмент принципиальной схемы с входными и выходными цепями приведен на рис. 2.

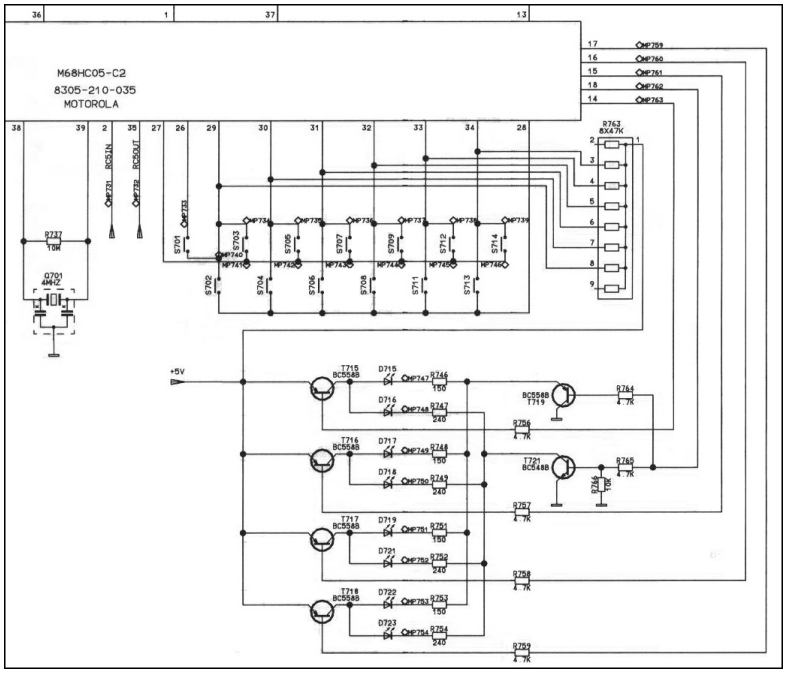


Рисунок 2 – Фрагмент принципиальной схемы с входными и выходными цепями

Выводы. Таким образом, мы имеем полное описание функционирования нашего «черного ящика», для эмуляции его при помощи набора «Arduino Mega 2560». В результате работы получена функционирующая оригинальная плата управления со встроенным комплектом «Arduino». Внутренние функции процессора M68HC05-C2 получены программным путем, стандартными средствами набора «Arduino Mega 2560» [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. M68HC05 Family Understanding Small Microcontrollers. [Электронныйресурс] Nippon Motorola Ltd., 1998. URL: https://www.nxp.com/docs/en/reference-manual/M68HC05TB.pdf

2. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino. Улли Соммер Издательство: БХВ-Петербург ISBN: 978-5-9775-0727-1, 2012г.

3. Азбука электроники. Изучаем Arduino. Юрий Ревич. 224 стр.,2017г. ISBN 978-5-17-102271-6.
4. LC7821/7822/7823 CMOS LSI Analog Function Switch. [Электронныйресурс] SANYO Electric Co., Ltd. Semiconductor Company.
URL:https://pl-1.org/getproductfile.axd?id=1442&filename=LC7821.pdf
5. Exploring Arduino. Tools and Techniques for Engineering Wizardry. Jeremy Blum. Издательство: BHV, 2015 г. ISBN: 978-5-9775-3585-4.

УДК 629.12-8.005

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ТЕРМОДАТЧИКІВ У СУДНОВОМУ УСТАТКУВАННІ

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

Анотація: *розглянуто сучасні типи термодатчиків для суднового обладнання, наведені переваги напівпровідникових термодатчиків и розроблено методику и схему дослідження калібрувальної характеристики датчика.*

Ключові слова: *термодатчик, напівпровідник, калібрувальна характеристика*

На сучасно обладнаних морських суднах не можливо обійтись без використання датчиків температури., від яких залежить нормальне функціонування деталей і механізмів різноманітних суднових систем. Вимірювання і контроль температури різні типи датчиків реалізують по різному.

За принципом дії всі датчики температури діляться на: термоелектричні (термопари); терморезистивні; акустичні; пьезоелектричні; напівпровідникові та ін.

Термопари мають достатньо вагому похибку вимірювання, що неприпустимо для багатьох процесів і апаратів. Прикладом може бути датчик ТСП Метран-246 для контроля температури підшипників з диапазоном вимірювання від -50 до +120 оС з аналоговим сигналом для зчитування.

Терморезистивні датчики обладають підвищеною точністю, чутливістю і працюють із спрощеними приладами зчитування. Такова модель 700-101BAA-B00, котра має початковий опір в 100 Ом і диапазон вимірювань від -70 С° до +500 °С. Виконується він з використанням платинової платівки и никелевих контактів. Широко застосовується в електроніці і суднових автоматах.

Акустичні датчики температури дозволяють вимірювати температуру в закрытых объемах, а також в середовищі, недосяжному для прямого вимірювання. Використовуться такі датчики в медицині і промисловості – там, де проникнення до об” єкту неможливо.

П”єзоелектричні датчики температури працюють за допомогою кварцевого п”єзорезонатора. Принцип роботи – прямий п”єзоэфект, тобто зміна линійних розмірів п”єзоелементу під впливом електричного струму. Під час подачі різнофазного струму з визначеною частотою, п”єзорезонатор коливається

з частотою коливань, залежною від температури. Зная цю залежність, можна легко перетворювати дані про частоту коливань резонатора в температуру.

Напівпровідникові термодатчики широко використовують напівпрвідникові терморезистори, діоди і транзистори. Напівпровідникові терморезистори вигідно відрізняються від дротових приладів не тільки збільшеним власним опором, а і невеликими розмірами. На їх основі создають прилади з підвищеними точністю і швидкодією.

У роботі досліджується температурний датчик на основі власного германію. За результатами визначається калібрувальна характеристика датчика.

Відомо, що опір власного напівпровідника зменшується з підвищенням температури згідно з експоненціальним законом:

$$R_i = R_o \cdot e^{\frac{\Delta E}{2KT}}, \qquad (1.1)$$

де R_0 − питомий опір напівпровідника при нескінченно великій температурі;

ΔE − ширина забороненої зони;

K=8,62.10^{-5} эВ/К − постійна Больцмана;

T − абсолютна температура.

Прологарифмуємо цю залежність:

$$\ln R_i = \ln R_o + \frac{\Delta E}{2K} \cdot \frac{1}{T}\ . \qquad (1.2)$$

Звідси виходить, що в координатах $\ln R_i = f(\frac{1}{T})$, спостерігається лінійна залежність з кутовим коефіцієнтом В (рис.1.1)

$$B = \frac{\Delta E}{2K}. \qquad (1.3)$$

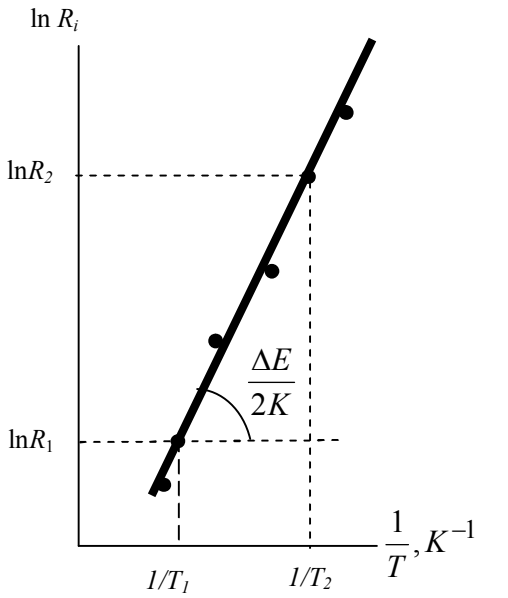


Рисунок 1- Залежність $\ln R_i = f\left(\frac{1}{T}\right)$ для власного напівпровідника

Таким чином, отримавши експериментально залежність опору власного напівпровідника від температури, необхідно перебудувати її в координатах $\ln R_i = f(\frac{1}{T})$, а потім отримані експериментально точки апроксимувати прямою лінією і визначити кутовий коефіцієнт отриманої прямої за допомогою співвідношення:

$$B = \frac{\ln R_2 - \ln R_1}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}}. \qquad (1.4)$$

де $\ln R_1, \ln R_2, \frac{1}{T_1}, \frac{1}{T_2}$ – координати двох експериментальних точок, розташованих на цій прямій (див. рис.1.1).

З вираження (1.2) виходить, що калібрувальна пряма датчика температури на основі власного напівпровідника має вигляд:

$$T_i = \frac{B}{\ln R_i - \ln R_0} - 273, \qquad (1.5)$$

де Ti – вимірювана температура в ^{0}C;

B – кутовий коефіцієнт, визначуваний по (1.2);

$\ln R_0$ – натуральний логарифм опору напівпровідника при нескінченно великій температурі, який визначається експериментально при калібруванні датчика (див. вираз 1.6);

$\ln R_i$ – натуральний логарифм опору напівпровідника при вимірюваній температурі.

Значення коефіцієнта $\ln R_0$ можна визначити усереднюванням експериментальних даних згідно:

$$\ln R_0 = \ln R_i - \frac{B}{T_i}. \qquad (1.6)$$

Надалі, отримавши калібрувальну криву температурного датчика, за значенням виміряного опору датчика можна розрахувати температуру довкілля згідно з конкретними значеннями коефіцієнтів B і $\ln R_0$.

Експериментально залежність $R = (T)$ знімали за допомогою стенда,

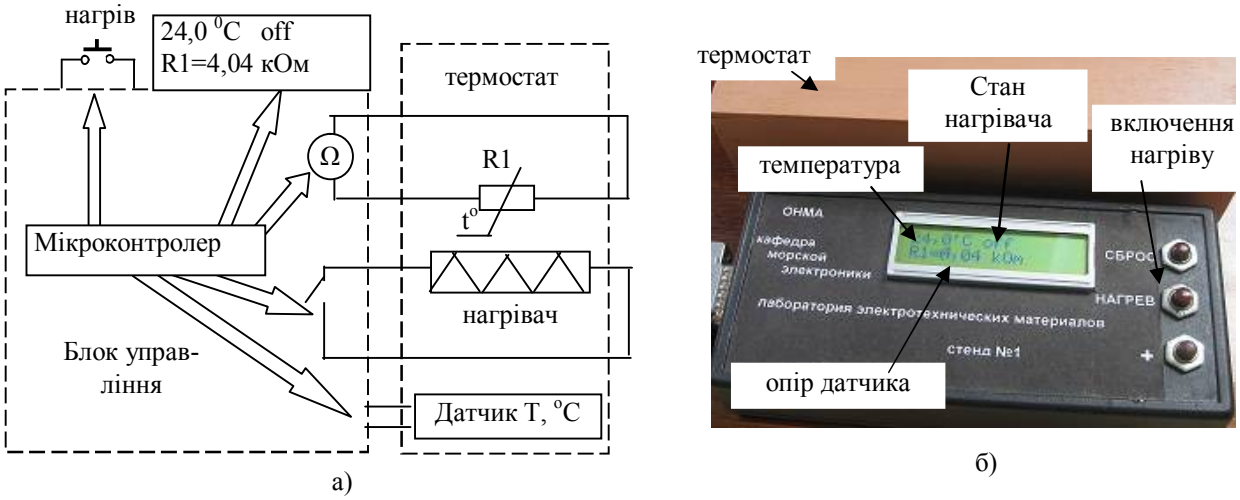


Рисунок 2 – Структурна схема вимірювання (а) та зовнішній вигляд (б) стенду для калібрування датчика температури

структурна схема якого наведена на рис. 1.2, який має систему нагріву термостата, контролю температури в ньому, а також систему виміру опору датчика, які управляються за допомогою мікроконтролера.

Таким чином, в роботі проведено порівняльний аналіз існуючих датчиків температури. Доведені переваги напівпровідникових датчиків, розроблено реальний лабораторний стенд для дослідження калібрувальних характеристик напівпровідникових датчиків на прикладі германієвого датчика.

ЛІТЕРАТУРА

1. Завадский В.А., Дранчук С.Н. Основы электроники. /Учебное пособие – Одесса: ОНМА, 2009. – 172 с.

2. Завадский В.А., Михайлов С.А. Элементная база судовой электронной аппаратуры. /Учебное пособие – Одесса: ОНМА, 2006. – 309 с.

3. Михайлов С.А., Куделькин И.Н. Аналоговая и цифровая электроника / Учеб. пособие. Одесса: НУ «ОМА», 2016, - 278 с.

УДК 629.5.064.5:621.391

РАСПРЕДЕЛЕНО - ЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ СЭУ С НАЛИЧИЕМ РЕЗЕРВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ

В.С. Михайленко, к.т.н., доцент
О.А. Магда, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Анотація: *приводится описание комбинированной системы управления и мониторинга параметрами объектов СЭУ. Применение данной системы позволит повысить эффективность и надежность процессов измерения и контроля.*

Ключові слова: *система управления, объекты СЭУ, централизованный контролер.*

Недостаточное развитие судовых систем централизованного резервного управления (централизованных контроллеров и серверов) приводит к необходимости частого использования систем дистанционного или местного управления в машинном отделении судна, эффективное качество функционирования которых, во много определяется квалификацией и опытом вахтенного офицера. Однако известно, что в силу влияния «человеческого фактора», большинство аварий на объектах СЭУ и других судовых системах, происходят из-за ошибок человека-оператора действующего, как правило, в дистанционном режиме управления [1].

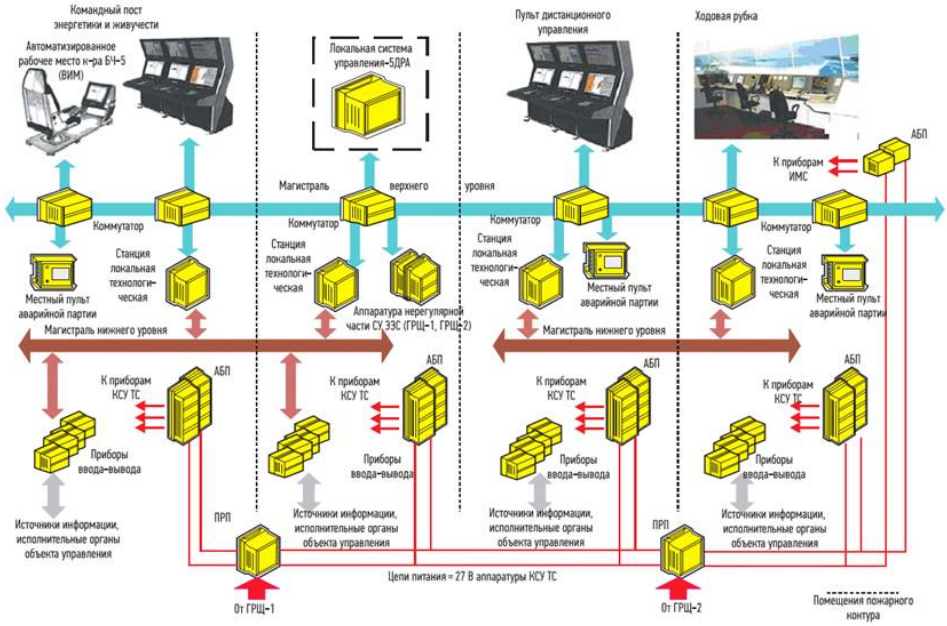


Рисунок 1 - Структурная схема судовой информационно-управляющей системы.

Следует отметить, что использование технологических принципов создания и внедрения комбинированной или распределено-централизованной структуры управления и мониторинга параметров объектов СЭУ с использованием интеллектуальных датчиков и приборов, а также средств поддержки принятия решений (рис. 1) позволяет повысить эффективность работы САУ СЭУ,

уменьшить технико-экономические потери, связанные с ошибками операторов и заложенными на стадии проектирования неэффективными математическими моделями и методами управления, повысить надежность системы управления в целом, снизить стоимость обслуживания и ремонта оборудования СЭУ, а также связанные с этим потери времени на простои судна на рейде или в порту из-за ремонта и настройки технических средств контроля и управления. В предлагаемой структуре (рис. 2) присутствует централизованный программируемый логический контроллер (ЦПЛК), в обязанности которого входит контроль работы контроллеров (ПЛК) нижнего уровня, автоматическое обновление их программного обеспечение с новыми параметрами алгоритмов управления в случае недопустимых показателей качества переходных процессов, а также управление объектами нижнего уровня в случае выхода из строя основного или резервного контроллеров. Для обеспечения эффективной работы системы резервирования может быть использована комбинация принципов горячего резервирования замещением и голосования с подключением к контроллеру (ПЛК) нескольких датчиков одного типа [2, 3].

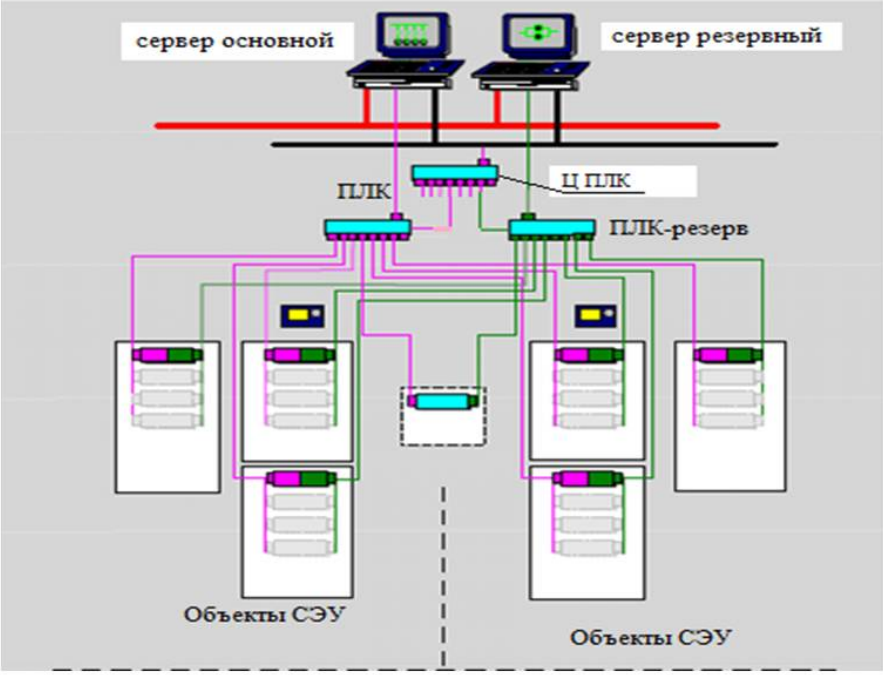


Рисунок 2 – Структурная схема распределено - централизованной системы управления объектами СЭУ с наличием резервных информационных каналов.

Висновки. Для повышения эффективности работы судна и уменьшения технико-экономических потерь, связанных с ошибками операторов возможно использование комбинированной или распределено-централизованной структуры управления и мониторинга параметров объектов СЭУ с использованием интеллектуальных датчиков и приборов, а также средств поддержки принятия решений. Также внедрение судовых систем централизованного резервного управления повышает надежность систем управления. Реализация предложенных задач осуществляется с помощью многоуровневого управления посредством применения ПЛК с возможностью автоматического обновления их про-

граммного обеспечения с новыми параметрами алгоритмов управления в случае недопустимых показателей качества переходных процессов, а также возможностью управления объектами нижнего уровня в случае выхода из строя основного или резервного контроллеров.

ЛІТЕРАТУРА

1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. — М.: Горячая линия-Телеком, 2009. — 608 с.

2.Sunder C., Zoitl A., Rainbauer M., Favre-Bulle B. Hierarchical Control Modelling Architecture for Modular Distributed Automation Systems // 2006 IEEE International Conference on Industrial Informatics, Aug. 2006. P. 12-17.

3. Хазарадзе Т.О., Куликов А.И. Построение масштабных АСУ ТП: опыт решения проблемы // Мир компьютерной автоматизации. 2002. №5. - С. 37 – 45

УДК 629.5.07

АНАЛІЗ СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЙ НА МОРІ. ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ A-SUITE В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ

Р. Ю. Харченко, ст. викладач
О. О. Орловська, курсант
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Нові інформаційні технології зачіпають всі галузі, що володіють великим науково-технічним та інноваційним потенціалом. Морська індустрія в цьому сенсі - не виняток. Для того, щоб судноплавство залишалося ефективним і забезпечило собі перспективи для подальшого розвитку відповідно до вимог часу, потрібна сучасна трансформація традиційних бізнес-процесів. Програмні рішення нового покоління допоможуть перетворити морську галузь і уможливлять її адаптацію до нових реалій.*

Ключові слова: *інформаційні технології, штучний інтелект, моніторинг, динаміка, вимірювання частоти*

На сьогоднішній день багато процесів у морському судноплавстві фрагментовані і накладають на екіпаж судна додаткове адміністративне навантаження. Йдеться про складання добових донесень, оновлення паперових карт, ведення переговорів з береговими службами і таке інше праці - яке тепер може взяти на себе, наприклад, штучний інтелект. Однак самі по собі розробка і впровадження нових технологій не вирішать цю проблему: галузь потребує як технологічних, так і структурних змін, в першу чергу - зміни культури ведення щоденної операційної діяльності на фундаментальному рівні.

Грамотна еволюція морського судноплавства, що враховує широке впровадження цифрових технологій в сучасній економіці і промисловості, дозволить зробити судна більш безпечними, екологічно чистими і ефективними. Експерти сходяться на думці, що галузь повинна перейти до впровадження загальної «розумної» екосистеми для забезпечення взаємодії та підтримки прийняття рішень: єдиної платформи для масштабного управління рухом флоту. З її до-

помогою будуть впорядковані потоки інформації між різними, до того розрізненими елементами даної екосистеми: екіпажем на борту судна, службою управління флотом, портовими операторами, персоналом служби руху суден і навчальними центрами.

Єдине інформаційне середовище для моряків.

Сотні компаній по всьому світу займаються морськими перевезеннями вантажів. Кожна з них щодня здійснює не тільки моніторинг місцезнаходження своїх суден, але і постійно відстежує такі дані як: швидкість і напрямок руху судна, метеорологічні умови в регіоні, де воно знаходиться, стан вантажу на борту, режим роботи двигуна та інших елементів судна, і багато іншого. Судноплавним компаніям стає все більш очевидним, що сьогодні для підвищення ефективності управління своїм флотом необхідне використання централізованих систем управління і моніторингу, пов'язаних в єдину морську екосистему.

Компанія Транзас, як один з провідних світових виробників високотехнологічних рішень для морської галузі, вже сьогодні пропонує дієві інструменти для вирішення подібних завдань. Ключовим призначенням єдиної хмарної платформи для управління операціями в рамках морської екосистеми THESIS (Transas Harmonized EcoSystem of Integrated Solutions) є забезпечення надійного, стійкого і безпечного обміну інформацією між різними учасниками морського судноплавства [1]. Ідея платформи полягає в наданні доступу до інформації всім учасникам галузі, що дозволяє зацікавленим сторонам працювати з одними і тими ж даними, на якій би ділянці операційного процесу вони не діяли. Особлива увага при цьому приділяється забезпеченню доступу до даних виключно відповідно до рівня допуску персоналу і в залежності від його оперативного підпорядкування.

Автоматичний збір даних дозволяє мінімізувати ризик помилки, уникнути дублювання дій і усунути застарілі або неефективні канали зв'язку. В результаті формується загальна «картина з високою роздільною здатністю», яка якісно перетворює роботу капітанів суден, менеджерів берегових служб управління флотом, служб планування розвитку портів, постачальників послуг навчання, операторів служби управління рухом суден (СУРС) - внаслідок чого підвищується безпека на морі і знижуються витрати на експлуатацію суден.

Три стовпи A-Suite

У лютому 2018 року Транзас вперше представив ринку свою нову розробку - пакет додатків A-Suite, створений на основі THESIS. Це рішення вперше в морській індустрії пропонує ринку набір реальних інструментів для навігації, створених на базі штучного інтелекту, і відповідають потребам сучасних суден, що працюють у все більш автоматизованому цифровому світі.

У пакеті A-Suite використовуються методи машинного навчання для виключення ризиків виникнення помилки в результаті впливу людського фактора при управлінні судами на містку, в операційних центрах управління флотом або центрах служби управління рухом суден. Алгоритми виявляють аномалії в поведінці операторів на будь-якій ділянці кола оперативного підпорядкування і

б'ють на сполох до того, як обраний спосіб дій або короткочасний недолік уваги приведуть до незворотних наслідків [1].

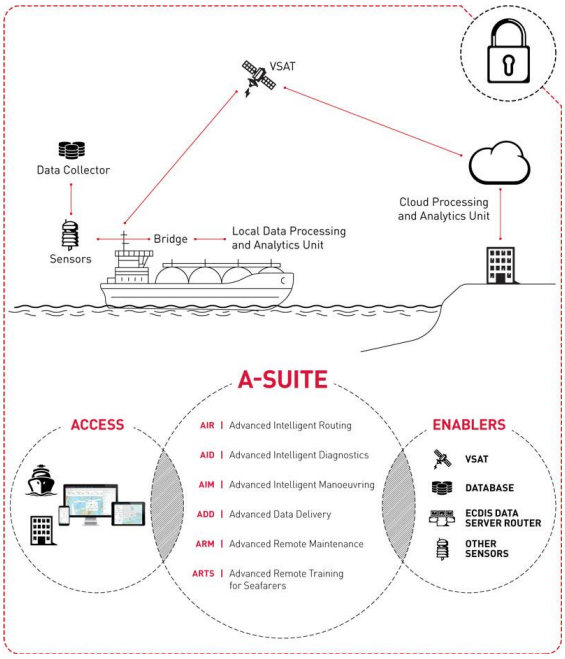


Рисунок 1 – Запропоноване рішення для системи управління судном

На даний момент доступні три основних модуля A-Suite: «розширене інтелектуальне маневрування» (AIM – Advanced Intelligent Maneuvering), «Розширена інтелектуальна діагностика» (AID – Advanced Intelligent Diagnostics) і «Розширена інтелектуальна маршрутизація» (AIR – Advanced Intelligent Routing) див.рис.1.

Три елемента A-Suite доповнені ще двома сервісами. Advanced Data Delivery (ADD) забезпечує оновлення спеціальних електронних карт (SENC), зведень погоди і інших попереджень з безпеки судноплавства, а також створює контрольний журнал про навігаційний статус судна для берегових служб. Advanced Remote Maintenance (ARM) забезпечує діагностику та аналітику продуктивності обладнання ходового містка і супутникового зв'язку. В тому числі, він створює в хмарі Транзас резервні копії ключового програмного забезпечення разом з даними конфігурації і параметрами для швидкого відновлення роботи системи в разі її збою.

Крім того, пакет A-Suite оснащений рішенням для дистанційного навчання Advanced Remote Training for Seafarers (ARTS) з інтерактивним доступом до навчальних програм спеціалізованої підготовки по роботі з ЕКНІС (Електронна Картографічна Навігаційно-Інформаційна Система), відповідно до вимог SOLAS (International Convention for the Safety of Lifeat Sea), ISM (Information Security Management) і ПДНВ (Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти).

Завдяки хмарним технологіям, додатки A-Suite доступні як на борту судна, так і на березі. Так як в морі можливі збої в підключенні, в суднову установку вбудований сервер управління попередньою обробкою даних: таким чином забезпечується безперервність роботи системи без постійного підключення до

хмари. Інформаційна безпека передачі даних в архітектурі мережі THESIS забезпечується зашифрованими каналами доставки даних. Оскільки в основі A-Suite лежить програмне ядро аналогічне ЕК-НІС компанії Транзас, то додатки мають прямий доступ в реальному часі до всіх даних і різних датчиків на ходовому містку. Такий рівень інтеграції і доступності даних дозволяє A-Suite робити висновки, які неможливі при використанні автономних незалежних рішень.

Таким чином, пакет додатків A-Suite, будучи набором інтелектуальних інструментів підтримки прийняття рішень в загальному середовищі, надає максимально повний набір даних з широкого діапазону вхідних джерел. На українському і глобальному ринку з'являються дієві інструменти, які сприяють все більшій автоматизації навігаційних процесів, забезпечують більш глибокий аналіз реальної ситуації на судні і сприяють функціонуванню надійної системи управління флотом. Такий підхід робить сучасне судноплавство ефективним і безпечним, а значить створює всі передумови для розвитку нової ери судноплавства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Смарт-технологии на море [Электронный ресурс] https://spbit.ru/it_class/cl160743/
2. Transas A-Suite внедряет технологии искусственного интеллекта в морское судоходство [Электронный ресурс] http://www.morvesti.ru/analitics/detail.php?ID=71816

УДК 681.121

ВПЛИВ ТИСКУ РІДИНИ НА ПОКАЗНИКИ ТЕНЗОМЕТРИЧНОГО ВИТРАТОМІРУ

В.І. Цацко, к.ф-м.н.
Т.О. Гаур
Ю.С. Бабій
Одеський національний морський університет

Анотація. *Розглянутий витратомір рідини, в якому для підвищення надійності та точності вимірювання було запропоновано вимірювання витрат рідини за різницею статичних тисків в двох різних перетинах труби. Встановлений вплив геометричних розмірів та фізичних властивостей рідини на величину похибки. Розглянуті питання впливу тиску рідини на показники тензометричного витратоміру при швидкостях потоку, що відповідають системам подачі забортної води, палива,мастила, завантаження нафтопродуктів. Наведені рекомендації по вибору форми вимірювального трубопроводу у різних системах.*

Ключові слова: *рідина, витратомір, тензометрія, паливо, забортна вода, нафтопродукти.*

Постановка проблеми. Відомі індукційний, тепловий та інші витратоміри рідини, недоліками яких є необхідність встановлення в потоці рідини тих чи інших елементів вимірювання. Це призводить до погрішності вимірювань протягом зростання часу перебування цих елементів в рідині та зменшує надійність.

Аналіз останніх наукових досліджень. В роботі [1] для підвищення надійності та точності вимірювання було запропоновано вимірювання витрат рідини за різницею статичних тисків в двох різних перетинах труби. Ця мета досягалися тим, що в тензометричному витратомірі, який утримує вимірювальну дільницю трубопроводу, перший та другий тензорезистори, що встановлені на верхній зовнішній стороні у відповідних перетинах, та тензометричний підсилювач, який виходами з'єднаний зі входами реєстратора, тензорезистори з'єднані у напівміст, а два перетини труби виконані з забезпеченням співвідношення

$$\frac{r_{i1}}{r_{i2}} = \frac{h_1}{h_2}, \qquad (1)$$

де r_{i1}, r_{i2} - внутрішні радіуси двох перетинів трубопроводу;

h_1, h_2 - товщини стінок трубопроводу в двох перетинах.

На рис. 1 зображений такий витратомір.

Тензометричний витратомір містить тензометричний підсилювач 1, до виходу якого підключений реєстратор 2, два тензорезистори, з'єднані в напівміст і встановлені зверху перпендикулярно осі на двох різних перетинах 3 і 4 горизонтально розташованої труби. Труби 3 і 4 виготовлені із забезпеченням співвідношення (1).

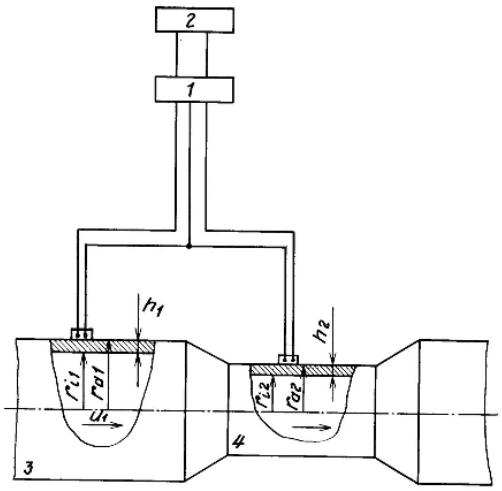


Рисунок 1 - Тензометричний витратомір

При цьому різниця статичних тисків в перетинах 3 та 4:

$$p_1 - p_2 = v_1^2 \frac{\rho}{2}\left(\frac{r_{i1}^4}{r_{i2}^4} - 1\right), \qquad (2)$$

де v_1 - швидкості течії рідини в перетині 3;

ρ - щільність рідини.

На вході тензометричного підсилювача буде величина, яка пропорційна квадрату витрат рідини.

$$\Delta R \equiv Q^2 / K^2, \qquad (3)$$

де $K = \pi r_{i1} r_{i1}^2 \sqrt{\frac{r_{a1}^2 - r_{i1}^2}{\rho\left(r_{i1}^4 - r_{i2}^4\right)}}$.

Однак, як було показано в роботах [2, 3], при малих швидкостях потоку показники витратоміру внаслідок наявності тертя, залежать як від геометричних розмірів вимірювального трубопроводу, так і від швидкості потоку, в'язкості рідини.

Була запропонована наступна схема системи вимірювання витрат рідини.

Схема працює наступним чином. У блоці зрівняння-перемикання почергове відбувається вимірювання різниці сигналів, що отримуються від тензорезисторів 1 і 2 та 1 і 3. У випадку, коли різниця сигналів між тензорезисторами 1 і 2 значно перевищує ту, що спостерігається між тензорезисторами 1 і 3, впливом гідравлічного тертя можна знехтувати і вимірювання витрат рідини проводяться аналогічно устрою, що наведений раніше. Сигнал підсилюється і перетворюється у форму, що є зручною для передачі в приймач від передавача бездротовим радіозв'язком. Реєстратор перетворює отримані дані в показники витрат згідно з різницею гідростатичних тисків в трубопроводах різного діаметру. В зворотному випадку, коли різниця сигналів між тензорезисторами 1 і 3 значно перевищує ту, що спостерігається між тензорезисторами 1 і 2, то вимірювання витрат рідини проводяться за допомогою виразу (3).

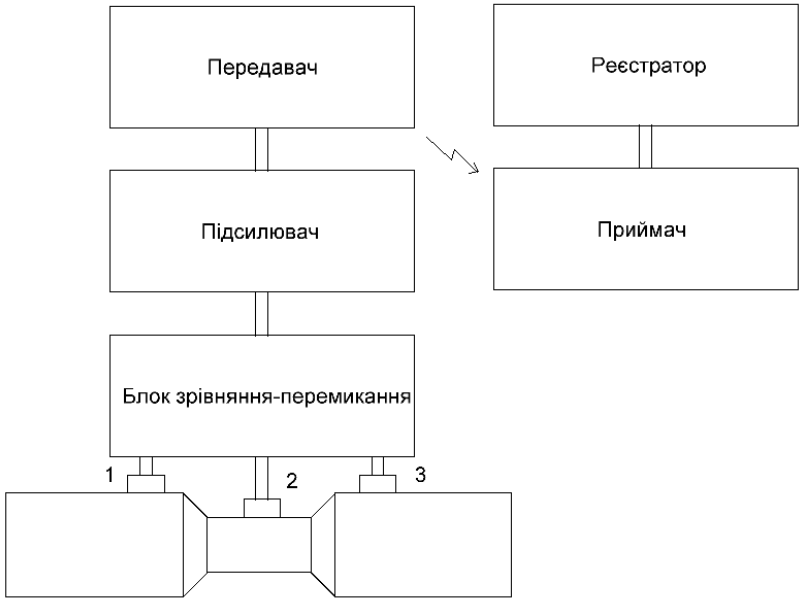


Рисунок 2 – Запропонована схема вимірювання витрат рідини

В роботах [2, 3] не враховувалась залежність в'язкості рідини від її тиску.

Метою даної роботи є оцінка впливу величини тиску на показники витратоміру.

Встановлено, що при великих швидкостях потоку, які характерні для систем подачі забортної води, похибка, що викликана впливом тиску на в'язкість

рідини, може бути врахована при обробці результатів вимірювань, після чого її впливом на показники витратоміру можна знехтувати.

Встановлено, що при малих та швидкостях потоку, характерних для систем подачі палива, мастила, вигідно використовувати циліндричний вимірювальний трубопровід з деякою оптимальною відстанню між тензорезисторами.

При середній швидкості потоку, яка характерна для систем завантаження нафтопродуктів, доцільне використовувати схему вимірювання, наведену на рис.2.

Висновки. Проведений аналіз впливу тиску рідини на показники тензометричного витратоміру. Запропоновані форми вимірювальних трубопроводів для систем з різною швидкістю потоку: систем подачі забортної води, палива, мастила, завантаження нафтопродуктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тензометрический расходомер //Патент России № 2037796.19.06.1995.//Петросов Д.С., Гурюшкина Н.Г. , Коршунова О.Н. Ильясафов А.Д.

2. Нікіфоров В.І., Цацко В.І., Гаур Т.О. Вплив властивостей рідини на показання тензометричного витратоміру рідини./Materials of the XIII international scientific and practical conference/ Modern European science – 2018, June 30 – July 7, 2018, Volume 8, Sheffield, Science and Education Ltd, 2018, pp. 20-22.

3. Антохов О.Д., Цацко В.І. Вплив геометричних розмірів вимірювального трубопроводу на показання тензометричного витратоміру рідини./Материали XVI Международна научна практична конференція Найновите постижения на европейската наука – 2018, 15-22 июни 2018 г. Volume 10, София, Бял ГРАД-БГ ОДД». 2018, с. 34-36.

УДК 629.5.048

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ СУДНОВИХ ПРИМІЩЕНЬ

С. А. Михайлов, д.т.н., професор
Р. Ю. Харченко, старший викладач
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Пропонується комплексне використання апарату адаптивних, нечітких та нейронечітких мереж при визначенні та регулюванні оптимальних значень параметрів регуляторів в системах управління мікрокліматом суднових приміщень.*

Ключові слова*: нейроконтролер, гібридна мережа; фазифікація, база знань, система підтримки прийняття рішень.*

Актуальність. Випробування та аналіз стану внутрішньосуднової атмосфери, особливо на суднах необмеженого району плавання, оснащених різними системами вентиляції і кондиціювання, що проводяться різними фахівцями з метою обстеження ефективності їх роботи, показують значне відхилення параметрів мікроклімату від нормованих і незадоволеність екіпажу підвищеною або зниженою температурою повітря в каютах (до 50%), підвищеною вологістю або

сухістю повітря (15-40%), недоліком свіжого повітря (30-40%) тощо. Причинами зазначених недоліків є недосконаліть систем мікроклімату і застосовуваний в даний час у вітчизняній і зарубіжній практиці проектування підхід щодо забезпечення "середнього рівня комфорту", який не враховує індивідуальних характеристик людини. Особливо гостро питання постає у зв'язку зі збільшенням психологічного «мозкового» навантаження на відповідальний персонал через стрімкий розвиток автоматизації суден і, відповідно, зменшення чисельності екіпажів з пропорційно зростаючим ступенем відповідальності. Дослідження показують що переважна більшість аварійних ситуацій і надзвичайних подій на суднах відбувається через перевтому екіпажу і втрату уваги, на що безпосередній вплив надає якість повітряного середовища навколо людини, не кажучи вже про загальновідомий вплив клімату на продуктивність праці.

Морське судно, як транспортний засіб, є складним об'єктом управління і схильне частому впливу зовнішніх та внутрішніх збурень в силу специфіки своєї роботи. Працездатність екіпажу судна і ефективне вирішення поставлених перед ним завдань багато в чому визначається умовами і параметрами мікроклімату в приміщеннях і каютах судна. Успішна експлуатація суден, стан здоров'я членів екіпажу і пасажирів, збереження вантажу та різні техніко-економічні показники багато в чому визначаються ефективністю роботи суднової системи комфортного мікроклімату (ССКМ) - однієї з найбільш головних функціональних систем забезпечення життєздатності суден в цілому. Мікроклімат повітряного середовища в приміщеннях суден формується в умовах цілодобової дії на організм людини динамічного комплексу природних, виробничих і побутових чинників з параметрами, які досягають екстремальних значень. Підвищення ефективності роботи центральних і зональних ССКМ пов'язано з вирішенням великої кількості взаємозалежних, а іноді суперечливих наукових і практичних завдань, пов'язаних зі зменшенням енергоспоживання і одночасним збільшенням точності і якості процесу управління параметрами температури і вологості повітря в приміщеннях судна [1-2].

Аналіз сучасного стану розвитку електроніки і інтелектуальних технологій дозволяє зробити висновок, що ще зовсім недавно звучав досить фантастично, про те, що в найближчому майбутньому судном буде управляти мережа нейронів штучного інтелекту без участі людини. Впровадження спеціальних алгоритмів в електронні системи управління на судах дозволить знайти оптимальний варіант маршруту, прорахувати найефективніший режим проходження судна з урахуванням метеорологічних умов і витрати палива, створити оптимальні умови для роботи екіпажу [3].

Авторами пропонується розглянути до застосування при експлуатації ССМК апарат гібридних інтелектуальних мереж (ГІМ). На мою думку вони є потенційно потужним інструментом вирішення складних проблем, які не під силу окремим підходам. Наприклад саме гібридні мережі та їх бази даних забезпечують повноту бази знань [4].

Виходячи з вищесказаного і враховуючи загальносвітову тенденцію провідних суднобудівників по створенню повністю автоматизованих «розумних» су-

ден із застосуванням штучного інтелекту для постійного моніторингу всіх систем судна і своєчасне попередження і ліквідацію поломок і несправностей, актуальність теми ледь може викликати питання.

В архітектуру таких гібридних систем інтегровані, в залежності від поставленого завдання, різні інтелектуальні модулі - нейронні мережі, генетичні алгоритми, нечіткі контролери, системи підтримки прийняття рішень, адаптивні системи та інші складові так званого «штучного інтелекту». У коло завдань штучного інтелекту входить постійний моніторинг всіх систем судна і своєчасне попередження і ліквідація поломок і несправностей. Нейронна мережа зможе розрахувати ймовірність несправності ССКМ і розробити варіанти її запобігання [5].

Ці системи успішно реалізують досвід і знання експертів (нечіткі регулятори), а також мають здатність до самонавчання (нейро-регулятори). Спільне або комбіноване застосування даних напрямків й стало поштовхом до виникнення нового наукового напрямку – ГІМ та нейро-нечітких мереж (ННМ). Дослідження даної технології стосовно ідентифікації та адаптації управління параметрів повітряної суміші кліматичних систем суднових приміщень є актуальною науковою задачею.

Розробка алгоритму функціонування адаптивної гібридної системи

Авторами була запропонована структура гібридної адаптивної системи регулювання (рис. 1). Тут *K* - коефіцієнт передачі об'єкту, *T* - постійна часу об'єкту, τ - запізнювання, *n* - порядок об'єкту, *y* - вихідний параметр.

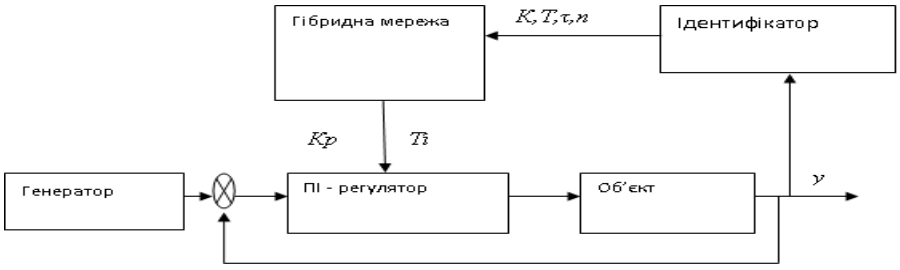


Рисунок 1 – Структура адаптивної АСР

Структура адаптивної настройки ПІ-регулятора заснована на використанні активних частотних методів ідентифікації та визначення оптимальних настройок ПІ-регулятору гібридною мережею. Застосування частотних методів дозволяє забезпечити перешкодозахищеність алгоритму та раціонально організувати активний експеримент на діючій системі щодо підтримки області стійкості. Ідентифікація здійснюється шляхом подання на вхід системи двох синусоїдальних сигналів від генератора на частотах, що розрізняються поміж собою, які належать до суттєвого діапазону. Ідентифікатор знаходить значення параметрів об'єкту та його порядок. Надалі ці значення використовуються оптимізатором у вигляді нейро-нечіткої мережі, що діє за алгоритмом Сугено для пошуку оптимальних значень настройок ПІ-регулятора (K_p ,T_i). Навчання гібридної мережі проводиться з урахуванням думки експертів – наладчиків.

Розробка системи мікроклімату з нейро-нечіткою мережею.

Багато з сучасних мікрокліматичних систем включають невизначені і нелінійні характеристики, складні для моделювання динамічні елемен-

ти, неконтрольовані шуми і перешкоди, безліч зворотних зв'язків та інші фактори, що ускладнюють реалізацію ССКМ. За останні два десятиліття нові методи управління розвивалися на основі сучасної та класичних теорій управління. Як сучасна (зокрема, технології адаптивного і оптимального управління), так і класична теорія управління в значній мірі ґрунтувалися на ідеї лінеаризації систем. Однак, практично прийнятними до впровадження без подальшої адаптації можуть бути тільки моделі з низькою чутливістю по параметрам. Забезпечити належну якість для нелінійних і складних невизначених об'єктів управління досить складно.

Останнім часом в АСР все ширше почали застосовуватися нейронні мережі (НМ). Відомо, що нейронні мережі здібні навчатися на основі співвідношень «вхід-вихід», виробляти успішну апроксимацію і екстраполяцію і вони можуть забезпечити більш прості рішення для складних завдань управління. Крім того, нейронні мережі в своїй основі є нелінійними системами, придатними для вирішення завдань управління, принципово пов'язаних з наявністю нелінійних характеристик. Традиційні методи управління не забезпечують вирішення подібних завдань. Таким чином, останнім часом інтелектуальне управління що реалізує апарат нейронних мереж, стало досить ефективним для вирішення поставлених завдань.

В інженерному контексті інтелектуальне управління повинно мати наступні властивості: здатність до навчання і адаптивність; живучість; простий алгоритм управління і «дружній до користувача» людино-машинний інтерфейс; здатність до включення нових компонентів, що забезпечують найкращі рішення в умовах обмежень, що накладаються технічними засобами і процесами. Можливо, дані переваги нейронних мереж можна вважати найбільш важливими з точки зору теорії управління.

Паралельна архітектура нейронного управління показана на рис. 2, де в якості контролера використовується ПІД-контролер. Прикладом такої схеми нейронного управління є метод навчання помилково зворотного зв'язку, запропонований Кавато (Kawato) та інших в роботах. Нейроконтролери паралельного типу використовуються для настройки керуючого вхідного сигналу u_1, який є вихідним сигналом звичайного контролера. Налаштування виконується таким чином, щоб вихідний сигнал об'єкта управління *y* якомога точніше відповідав заданому опорному сигналу *r*. Завдання нейроконтролера паралельного типу полягає в тому, щоб відкоригувати керуючий вплив u_2 за допомогою сигналу u_1, якщо він не забезпечує очікуваного результату тобто провести адаптацію.

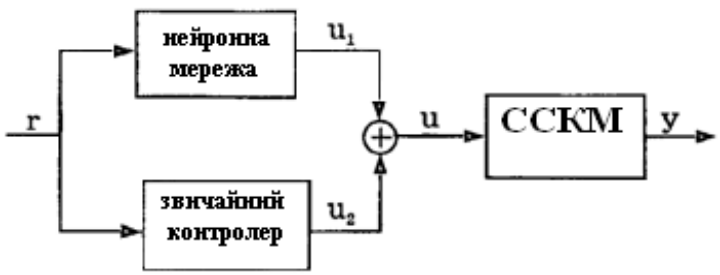


Рисунок 2 – Паралельна схема нейроконтролера

Висновки. Комп'ютерні експерименти в програмі MatLab (Simulink) з варіюванням значень параметрів мікроклімату дозволили зробити висновок, що запропонована інтелектуально структура управління має незаперечні переваги в порівнянні з традиційними методами, основні з яких це можливість оптимального функціонування у різних режимах та підбір оптимальних параметрів атмосфери суднових приміщень з урахуванням індивідуальних особливостей організму людини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Харченко Р. Ю. Методы адаптивного регулирования в системе климатического контроля судна/ Р. Ю. Харченко //Автоматизація суднових технічних засобів, Науково-технічний збірник ОНМА, выпуск 17, 2011. С. 95-106.
2. Вычужанин В. В. Повышение эффективности эксплуатации судовой системы комфортного кондиционирования воздуха при переменных нагрузках: монография/ В. В. Вычужанин // Одесса : ОНМУ, 2009. – 206 с.
3. Михайлов С. А. Гибридные интеллектуальные сети для оптимизации режимов эксплуатации судовых систем комфортного микроклимата/ С. А. Михайлов, Р. Ю. Харченко // Судовые энергетические установки: научно- технический сборник. Вып. 36.– Одесса: НУ «ОМА», 2016. С. 24-32.
4. Харченко Р. Ю. Идентификация объектов в системах адаптивного управления с помощью нейро-нечетких сетей/ Харченко Р. Ю. // Матеріали науково-методичної конференції «Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки». – Одеса: НУ «ОМА», 2016. С. 97-100.
5. Михайлов С. А. Применение гибридных интеллектуальных сетей в судовых системах климат-контроля/ Михайлов С. А., Харченко Р. Ю. // конференция «СИЭТ-2014» МНПК «Современные информационные и электронные технологии», – 2014.– С. 13.

УДК 629.5.073

СУДНОВА СИСТЕМА НІЧНОГО БАЧЕННЯ

Н. С. Харченко, завідуюча лабораторією
А. І.Чулак, курсант
В.В. Заїм, курсант
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Розглянуто суднові системи нічного бачення. Наведено основну теоретичну інформацію. Наведено актуальність використання у сучасному судноплавстві.*

Ключові слова: *суднові системи нічного бачення, актуальність використання у сучасному судноплавстві.*

Системи нічного бачення для суден знаходять широке використання серед силових структур, рятувальників, капітанів маломірних суден, яхт та інших плавзасобів. Застосування таких систем дозволяє убезпечити судно у нічних час та значно підвищити якість проведення рятувальних та оперативно-розшукових операцій. У даній статті розглянемо один з варіантів реалізації такої системи.

Система нічного бачення – NVS (Night vision system) призначена для підвищення безпеки водіння судів в нічних умовах. Її основне завдання полягає в

допомозі судноводіїв уникнути небезпечних зіткнень зі сторонніми об'єктами на поверхні води. Ця система дозволяє виявляти неосвітлені об'єкти і предмети, які можуть не спостерігатися судновими радіолокаційними станціями (РЛС) (малі шлюпки, крижини, колоди, що впав за борт людини та ін.). NVS може застосовуватися і для ідентифікації виявлених по РЛС об'єктів, і для перегляду мертвої зони РЛС. Крім нічний (інфрачервоної) камери, ця система зазвичай має і денну відеокамеру. Денна відеокамера може використовуватися для розгляду окремих об'єктів і для їх зйомки в світлий час доби.

Система нічного бачення надає істотну допомогу на високошвидкісних пасажирських поромах в районах знаходження великої кількості малих прогулянкових і рибальських суден. Установка NVS на цих поромах вимагається, наприклад, Гонконгським морським департаментом. NVS може застосовуватися також на прикордонних кораблях, на пошукових і рятувальних судах, на береговій станції для контролю акваторії порту в нічний час.

Склад системи.

NVS включає електронно-оптичний модуль (інтегровану відеокамеру), блок розвороту відеокамери по азимуту і висоті, електронний блок, панель управління і дисплей (рис.1).

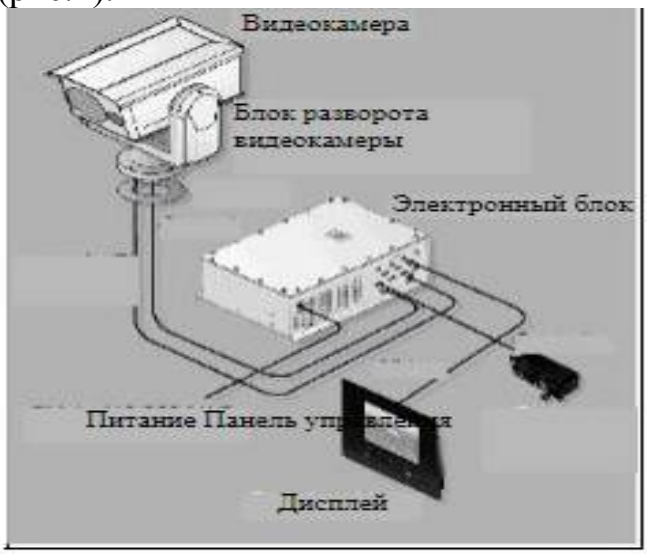


Рисунок 1 – Склад апаратури бортової системи нічного бачення фірми «Sperry-marine».

Електронно-оптичний блок працює в діапазоні видимих і інфрачервоних хвиль, довжиною від 400 нм до 950 нм. Він забезпечений пристроями для очищення і миття скла об'єктива. Поле зору відеокамери в горизонтальній площині складає $20 \div 250^0$, а у вертикальній - $15 \div 200^0$. У відеокамері створюється зображення об'єкта, який потрапив в поле зору системи, і посилюється його яскравість. Потім у вигляді телевізійного сигналу це зображення передається на монітор. Вночі спостереження здійснюють в інфрачервоному режимі відеокамери. У світлий час доби застосовується її денний режим.

Блок розвороту дозволяє змінювати напрямок оптичної осі відеокамери на 360^0 по азимуту, і $\pm 300^0$ по висоті від горизонтального положення. Панель управління має джойстик для ручної зміни напрямку оптичної осі камери по

азимуту і висоті, вмикач системи в роботу, перемикач режимів «автоматичного сканування» по азимуту і «ручного» управління по цій координаті, органи для ручного фокусування, зміни яскравості, контрасту, органи для управління очищенням вікна відеокамери. Кут сканування в автоматичному режимі може вибиратися 10, 20, 300^0 вправо і вліво.

NVS має два монітори: основний - в рульовій рубці, додатковий - в каюті капітана. На них може показуватися лінія відносного руху цілей і відстань найкоротшого зближення з ними. Екран монітора зазвичай становить близько $9 \div 14^0$. На ньому можна показувати мітки дальності через 0.2, 0.1, 0.05 морські милі.

Зовнішній вигляд електронно-оптичного модуля з блоком його розвороту і панелі управління з монітором NVS фірми «TURN Ltd.» представлено на рис.2.

Рисунок 2 – Апаратура NVS фірми «TURN Ltd».

Режими роботи.

Система може працювати в пасивному, активному і активно-імпульсному режимах. Активно-імпульсний режим забезпечує роботу в умовах туману, снігу і дощу. При роботі в активних режимах використовується «підсвічування обстановки» за допомогою спеціального лазера.

ЛІТЕРАТУРА

1. *David L. Adamy*. 4.5 Night-Vision Devices // EW 102: A Second Course in Electronic Warfare. — London, Boston: Horizon House Publications, Inc, 2004. — C. 94. — 274 c.

2. *Ponomarenko V. P., Filachev A. M.* First Generation of Night-Vision Devices and Thermal Imaging Systems // Infrared Techniques and Electro-optics: A History 1946-2006. — SPIE Press, 2007. — P. 134—135. — 249 p.

3. *Ponomarenko V. P., Filachev A. M.* Second-Generation Electro-Optical Devices // Infrared Techniques and Electro-optics: A History 1946-2006. — SPIE Press, 2007. — P. 136. — 249 p.

УДК 629.5.052.6

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ В СУДОВЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

А.В. Рябцов, к.т.н., доцент,
А.И. Бондаренко, студент
Национальний университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Работа посвящена исследованию возможности использования оптических жидкокристаллических датчиков для измерения температур и усилий (давлений) в устройствах судовой автоматики.*

Ключові слова: *жидкокристаллические оптические преобразователи, датчики температуры, датчики давления.*

В современном мире все большее внимание уделяется повышению эффективности международных морских перевозок при постоянном возрастании их объемов. Совершенствование эксплуатационно-технических характеристик морских и речных судов привело к значительному росту их энерговооруженности. Концентрация электрооборудования на современном судне достигает такой степени, что уровень электромагнитных помех от работающих аппаратов становится неприемлемым, и требует применения целого комплекса дорогостоящих мер по его снижению. Согласно требованиям международных классификационных сообществ судовая электронная аппаратура и судовые системы передачи информации должны обеспечивать устойчивое функционирование при воздействии наносекундных импульсов напряжения с амплитудой до 2 кВ и длительностью до 5 нс; электростатических разрядов с амплитудой напряжения до 8 кВ, высокочастотных помех в диапазоне до 50 МГц напряжением 1 В, а также электромагнитных полей в диапазоне до 500 МГц с напряженностью поля до 10 В/м. Такие жесткие требования к помехоустойчивости судовых систем приводят к существенному усложнению конструкций и многократному возрастанию стоимости всех устройств и приборов судовой автоматики, что отрицательно сказывается на экономической эффективности функционирования мирового морского флота в целом.

Одним из способов решения данной проблемы является применение на судах оптических датчиков и оптоволоконных линий связи, обладающих невосприимчивостью к электрическим помехам и при этом практически неограниченной пропускной способностью. Это дает возможность исключить сложные и затратные меры по обеспечению электромагнитной совместимости судовых устройств, и кроме того, позволяет многократно увеличить скорость передачи информации, передаваемой по судовым каналам связи.

На современном этапе развития судовой измерительной техники имеется возможность заменить такие традиционные электрические средства сбора информации, как электромеханические датчики, соответствующими оптическими преобразователями, чувствительными к вариациям силы (давления), температуры и многих других физических параметров [1].

В качестве примера можно привести оптическое устройство, представленное на рисунке 1. Это устройство может выполнять функции датчика поперечных сил, давлений и вибраций. В частности, его можно использовать как современную замену для пьезоэлектрического импульсного преобразователя, описанного в [2].

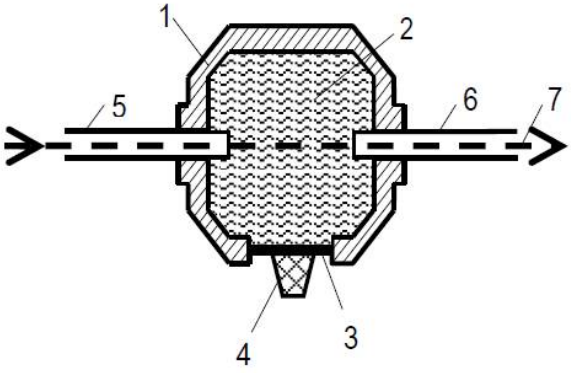


Рисунок 1 – Оптическая чувствительная ЖК ячейка для измерения усилия (давления), вибрации или температуры

Основой устройства на рис. 1 является плотно закрытый полый корпус 1, заполненный специальным оптически-прозрачным веществом 2 с тензочувствительными свойствами. Например, корпус может быть заполнен метоксибензилиденбутиламином (MBBA или "methoxybenziliden-butylamin"), который также известен как нематический жидкий кристалл (НЖК) [3].

В корпусе 1 имеется отверстие, герметично закрытое гибкой пленочной мембраной 3 с выпуклым пелотом 4 в центре для концентрации и выравнивания приложенного усилия (давления).

Как известно, гидродинамические свойства НЖК аналогичны свойствам изотропных жидкостей, т.е. для любых направлений справедливы уравнение неразрывности и уравнение движения Навье-Стокса [3]. Поэтому, согласно теории жидких кристаллов, любые приложенные внешние силы, динамический диапазон которых соответствует жесткости мембраны, будет деформировать молекулы жидких кристаллов, что приведет к отклонению оптической оси НЖК из-за переориентации молекул.

Изменение оптических свойств приведет к модуляции угла поляризации НЖК. Соответственно, это будет влиять на интенсивность и фазу поляризованного оптического излучения, распространяющегося в ЖК от входного волоконно-оптического световода 5 до выходного световода 6 через оптический зазор, заполненный чувствительным ЖК веществом (см. рис.1).

Холестерические жидкие кристаллы (ChLC), такие как «холестерилмиристат» [4], также могут использоваться в качестве оптической среды для этого датчика. Спиральные молекулы CHLC образуют подобие дифракционной решетки и позволяют отражать падающий свет. В этом случае оптическая схема данного устройства должна быть заменена с транспарентной на отражающую.

При фиксированных углах падающего света шаг ***P*** спирали молекулы CHLC, определяющий максимальную длину волны света, распространяющегося в ЖК, может быть выражен как [4]:

$$P = \frac{\lambda_{max}}{n}$$

где λ_{max} - максимум длины волны отраженного света,

n - показатель преломления вещества ChLC.

Исследуемое устройство является оптическим модулятором светового потока. Тест прототипа продемонстрировал возможность его использования для измерения малых сил, давлений и вибрации.

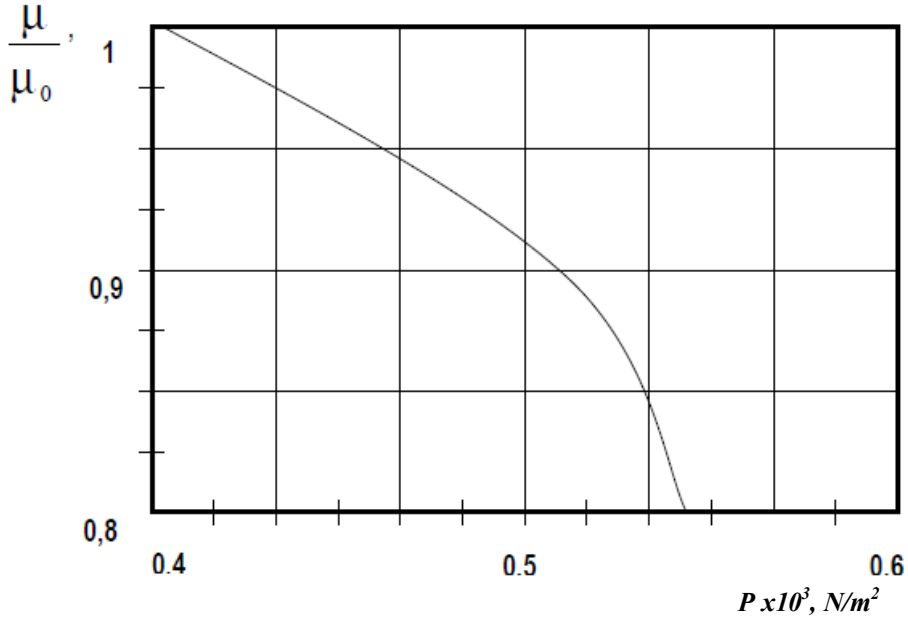


Рисунок 2 - Экспериментальная диаграмма относительного значения интенсивности проходящего света в зависимости от приложенного механического усилия ***P***.

Данное устройство может быть использовано также в качестве датчика температуры. Так как оптический вектор ЖК ChLC и шаг ***P*** спирали, изменяются как функция температуры окружающей среды, то эти изменяющиеся условия интерференции приведут к изменению спектрального максимума отраженного луча света благодаря известному оптическому эффекту «селективного отражения» [4]. Этот эффект, соответственно, будет влиять на интенсивность и фазу светового пучка 7 на выходе датчика 1. Таким образом, регистрируя изменения интенсивности светового потока в выходном световоде 7, можно получить информацию о температуре среды, в которую помещен датчик.

Выводы. Преимущества предлагаемых оптических устройств такого типа состоят в возможности развернуть измерительное оборудование в любой точке судна, в соответствии с длиной используемой волоконно-оптической линии, без применения громоздких и дорогостоящих средств обеспечения помехоустойчивости и защиты от электромагнитных полей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Oleksandr Ryabtsov. Application of Fiber-Optical Modulators as Measuring Devices in Bioinformatics Researches // International Journal “Information models & Analyses”. Vol.3. №2. 2014. p.182-185.
2. Авторское свидетельство № 1181626 СССР, А61 В5/02. Пьезоэлектрический импульсный преобразователь/Джагупов И.Р., Рябцов А.В., Челнокова И.Ю. Одесский политехнический институт. БИ №36. Опубликовано 30.09.85.
3. Чандрасекар С. Жидкие кристаллы. М.: Мир. 1980.
4. Титов В. В., и др. Жидкокристаллические дисплеи: конституция, синтез, свойства жидких кристаллов. – Минск: Микровидеосистема. 1998.

УДК 004.735

ВИКОРИСТАННЯ КОЛЬОРОВИХ ПРАВИЛ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ WIRESHARK ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АНАЛІЗУ ТРАФІКУ В ПРОМИСЛОВИХ МЕРЕЖАХ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ

В.Ф. Шапо, к.т.н., доцент
Національний університет "Одеська морська академія"

Анотація. *У роботі розглянуто можливості та переваги використання кольорових правил в програмній системі аналізу мережного трафіку Wireshark. Зроблено акцент на виділенні трафіку у промислових мережах передавання даних Profinet, що мають дуже велику популярність при побудові сучасних систем промислової автоматизації.*

Ключові слова: *Wireshark, Profinet, кольорові правила, аналіз мережних даних.*

З початку 90-х р.р. 20-го сторіччя в промисловості активно втілюються протоколи і технології передавання даних, найбільш відомими з яких є ASI, ProfiBus, FieldBus, HART, ModBus, CAN, BAC і т. ін.

Однак в зв'язку з розвитком Інтернет і появою принципово нових задач з'явився ряд протоколів і технологій, що базуються на IP-протоколі та IP-адресах. Це дозволяє підвищити якість управління, зменшити час реакції на форсмажорні ситуації і вартість управління і експлуатації подібних систем. Тому в останні роки загальновідомими стали протоколи і технології ProfiNet, ModBus/TCP, Ethernet/IP, EtherCAT та ін., що зберігають сумісність з минулими поколіннями технологій, але дозволяють вирішувати принципово нові задачі. Однією з найбільш популярних у світі стала технологія ProfiNet.

Складність і завантаженість промислових мереж постійно зростає. Для пошуку виникаючих проблем існують програми-аналізатори мережного трафіку, однією з найкращих серед яких є Wireshark [1]. Деякі можливості Wireshark розглянуто в роботах [2, 3, 4]. Для більш чіткого виділення різних типів трафіку або ситуацій під час передавання даних в Wireshark існує можливість застосовувати різні кольори. Встановлені кольорові правила можна подивитись, обравши пункт меню View - Coloring Rules (рис. 1).

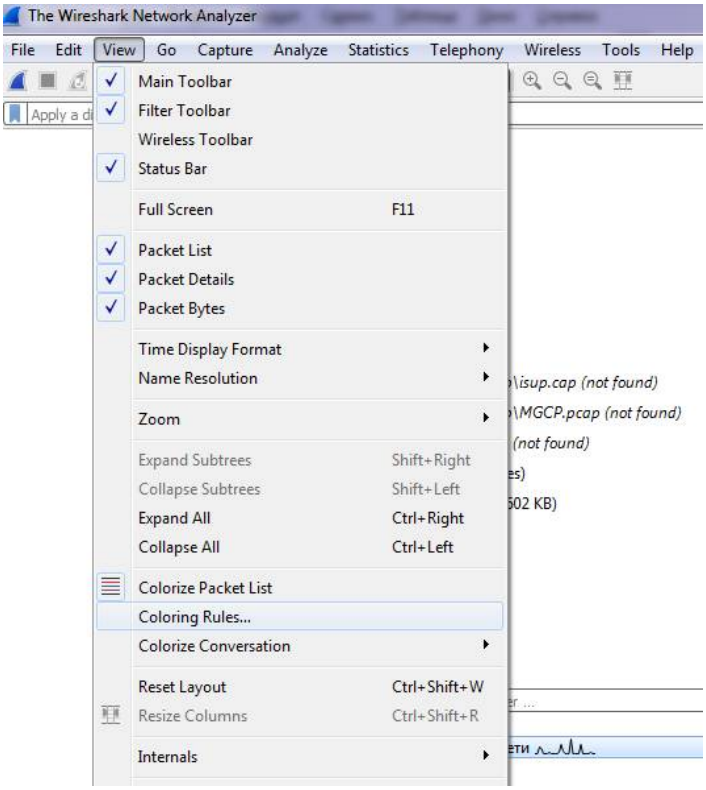


Рисунок 1 – Застосування кольорових правил в Wireshark

Кольорові правила, що використовуються у Wireshark за замовчуванням, представлені на рис. 2. Зовнішній вигляд захопленого файлу з застосуванням стандартних кольорових правил в Wireshark представлений на рис. 3.

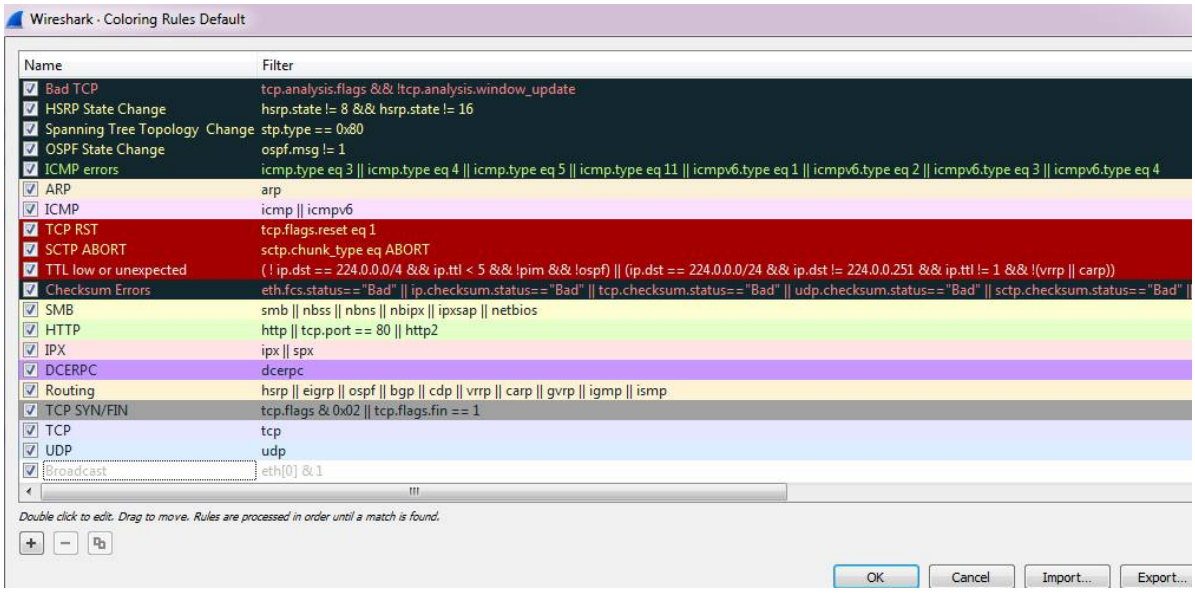


Рисунок 2 – Стандартні кольорові правила в Wireshark

Кольорові правила можуть бути створені користувачем, експортовані у зовнішній текстовий файл (кнопка Export на рис. 2, 4) та у подальшому імпортовані з зовнішнього текстового файлу (кнопка Import на рис. 2, 4). Приклад того, як виглядає подібний файл, наведено нижче.

```
# DO NOT EDIT THIS FILE!  It was created by Wireshark
```

@PN-RT Time@pn_rt.frame_id < 0x0100@[65535,0,65535][0,0,0]
@PN-RT DCP@pn_rt.frame_id > 0xfefc@[65535,64764,0][0,0,0]
@PN-RT Acyclic Low@pn_rt.frame_id > 0xfdff@[65535,43176,0][0,0,0]
@PN-RT Acyclic high@pn_rt.frame_id > 0xfbff@[65535,0,0][0,0,0]
@PN-RT Reply@pn_rt.ds != 0x35@[0,65535,0][65535,0,771]
@PN-RT@eth.type == 0x8892@[0,65535,0][0,0,0]
@VLAN PN-RT@vlan.etype == 0x8892@[0,65535,0][0,514,65535]
@PN IO@pn_io@[0,65535,65535][0,0,0]
@LLDP@lldp@[0,38488,65535][0,0,0]
@Siemens Device@eth.addr[0-2] == 08:00:06@[52428,52428,52428][0,0,0]
@Phönix Device@eth.addr[0-2] == 00:a0:45@[41942,41942,41942][0,0,0]

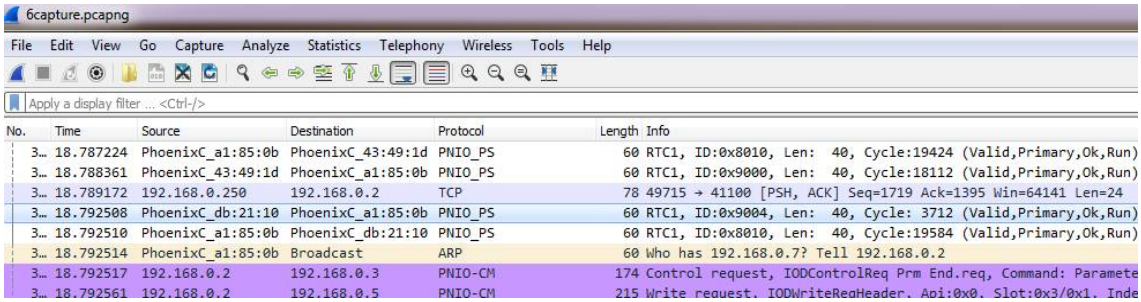


Рисунок 3 – Вигляд захоплених даних файлу з застосуванням стандартних кольорових правил в Wireshark

Після імпортування наведеного вище текстового файлу у Wireshark додаються нові кольорові правила (рис. 4).

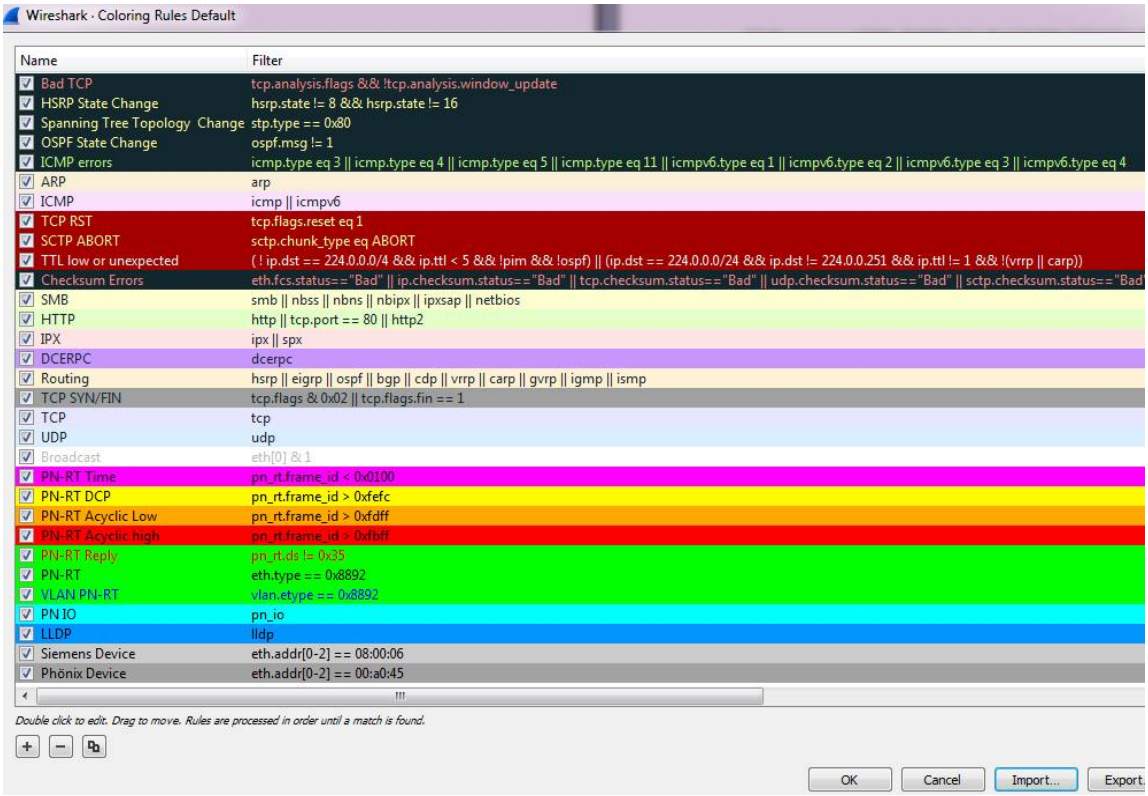


Рисунок 4 – Розширені кольорові правила в Wireshark

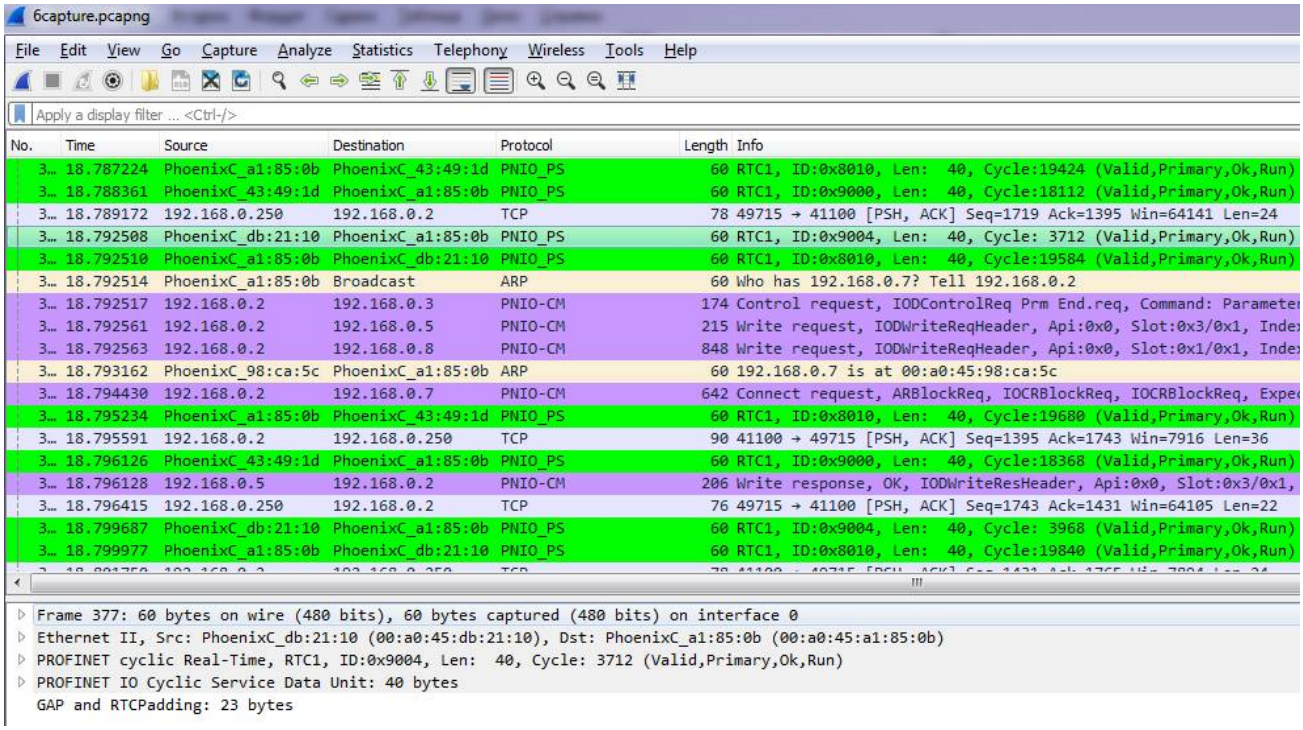


Рисунок 5 – Вигляд захоплених даних з застосуванням розширених кольорових правил в Wireshark

Використання кольорових правил взагалі дозволяє суттєво підвищити якість та швидкість аналізу захоплених даних, що, у свою чергу, дозволяє у коротші терміни виявити, де виникає проблема при передаванні даних у мережі та прийняти необхідні міри для їхньої ліквідації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Wireshark software [Электронний ресурс]: https://www.wireshark.org (дата звернення: 30.11.2018).

2. Шапо В. Ф., Воловщиков В. Ю. Анализ промышленных протоколов передачи данных с использованием программного обеспечения Wireshark // «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології: зб. доповідей Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених / Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. – 263 с.

3. Шапо В. Ф., Воловщиков В. Ю. Використання вільного програмного забезпечення Wireshark для аналізу промислових IP-базованих протоколів передачі даних // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції FOSS LVIV-2018. – Львів, ЛНУ. – 2018. – С. 74-76.

4. V. Shapo. European TEMPUS TATU project and Wireshark software in industrial networks data transfer protocols studying and analyzing. – Pp. 89-96. Volume : 2 Year : 2018 Issue : 3 E-ISSN : 2587-3008 DOI : 10.26900 [Электронний ресурс]: https://ratingacademy.com.tr/ojs/index.php/jsp/article/view/447 (дата звернення: 30.11.2018)

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

УДК 629.12

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

О.В. Кочетков, к.т.н., доцент
Д.Є. Шатилов
Одеській національний морський університет

Анотація. *Для підвищення точності, надійності та ефективності роботи енергетичного обладнання судна за допомогою автоматизації технологічного процесу пропонується застосовувати датчики положення з ультра малим енергоспоживанням на основі ефекту Холла. В сучасних умовах відбувається постійний технологічний розвиток датчиків Холла. Вони відрізняються надійністю, точністю і сталістю даних. Для оцінки відстані, необхідної для спрацьовування датчика, можна скористатися запропонованою математичною моделлю.*

Ключові слова*: автоматизація технологічного процесу, електропривод суднових електроустановок, датчики положення, ультра мале енергоспоживання.*

Для передачі в електричну схему інформації про положення різних рухливих елементів, таких як вали, заслінки, кришки, ротори електродвигунів, у свій час були розроблені спеціалізовані прилади, відомі як датчики положення. Існують датчики, засновані на електромеханічному, ємнісному, індуктивному, ультразвуковому, магнітному або оптичному принципі роботи, а також безліч комбінованих пристроїв. Кожний тип датчиків має конкретні переваги й недоліки й має свою область застосувань. В останні десятиліття список типів датчиків положення поповнився ще одним типом – датчиками на основі ефекту Холла.

Відмітними характеристиками сучасної електроніки є компактність і економічність. І якщо з компактністю в датчиків Холла особливих проблем ніколи не було, то з економічністю донедавна було непросто: у зв'язку з появою економічних електронних приладів, що дозволяють пристрою кілька років працювати від одноелементної літієвої батарейки, навіть невеликий струм споживання звичайного датчика Холла вже вносить відчутний вклад у загальне енергоспоживання системи.

Тому останнім часом провідні виробники електронних компонентів, у тому числі Texas Instruments і Honeywell, представили новий тип датчиків положення на основі ефекту Холла, що відрізняється підвищеною економічністю. Ключовою особливістю цих мікросхем є ультрамалий струм власного споживання, який у сукупності з компактними розмірами й високою чутливістю робить їх ідеальними для компактних додатків з батарейним живленням, наприклад, для бездротових датчиків охоронних систем, пристроїв електроприводу і інших систем.

Для підвищення точності, надійності та ефективності роботи енергетичного обладнання судна за допомогою автоматизації технологічного процесу роботі пропонується застосовувати датчики положення з ультра малим енергоспоживанням на основі ефекту Холла [1]. Їх принцип дії проілюстровано в [2].

В сучасних умовах відбувається постійний технологічний розвиток датчиків Холла. Вони відрізняються надійністю, точністю і сталістю даних. Широке поширення ці прилади отримали в автомобілях та інших транспортних засобах. Вони мають підвищену стійкість до агресивних зовнішніх впливів. Датчики Холла є складовою частиною багатьох пристроїв, за допомогою яких контролюється певний стан техніки.

Датчик Холла до теперішнього часу не зміг остаточно замінити звичайні механічні перемикачі. Однак в будь-якому випадку він має ряд значних переваг. Основними з них є відсутність контактів, забруднень, а також механічних навантажень.

Безперечні переваги датчика Холла - його дешевизна, невибагливість, довговічність і безконтактність. Надійність приладу обумовлена тим, що в ньому відсутні частини, які фізично взаємодіють (труться одна об одну) деталі.

Відносно новою областю застосування дискретних датчиків Холла є пристрої дистанційного моніторингу, у яких вони поступово витісняють традиційно використовувані в даних додатках герметичні електромеханічні контакти (геркони). Наприклад, використання датчика Холла разом із трьохосевим акселерометром у бездротовому дверному датчику DMS-100, що випускається компанією Pandora, дозволяє розпізнати удар, поворот і стан (відкрито/закрито) дверей, люків, кришок, багажників, причепів. Оскільки датчик DMS-100 використовує бездротовий інтерфейс передачі даних і живиться від акумулятора, його можна легко й швидко розмістити у важкодоступних місцях.

Основними перевагами датчиків Холла в порівнянні з герконами є висока надійність, компактність і підвищена чутливість. Крім цього, вимірювальний елемент може визначати не тільки величину, але й полярність магнітного поля, у тому числі – по декільком координатам. Усі ці переваги дозволяють позиціонувати датчики Холла в якості перспективної елементної бази.

У випадку, коли безперервний моніторинг об'єкта не потрібно (наприклад, для систем безпеки), енергоспоживання датчика Холла може бути знижене за рахунок перекладу в переривчастий режим роботи. Наприклад, при контролі дверей або вікна немає необхідності постійно визначати їхній стан, досить це робити кілька раз у секунду, адже швидкість їх переміщення відносно невелика. Завдяки тому, що вимірювальний елемент датчика Холла є практично безінерційним, а сучасна елементна база відрізняється високою швидкодією, для проведення вимірів рівня магнітного поля без шкоди для точності досить усього декількох десятків мікросекунд. Таким чином, якщо мікросхема датчика більшу частину часу буде перебувати в сплячому режимі, при якому споживаний струм знижується до рівня декількох мікроампер, то середнє значення струму, споживаного датчиком, може бути зменшений на кілька порядків.

Наприклад, нехай для проведення вимірів досить 100 мкс і струму 5 мА. Якщо проводити виміри 10 раз у секунду з інтервалом 100 мс, то при струмі споживання в сплячому режимі 5 мкА середній споживаний струм $I_{сер}$ буде розраховано за формулою 1 (рис 1) [2]:

$$I_{сер} = (T_1/T)I_1 + (T_2/T)I_2 \quad (1)$$

де $T_1 = (t_1 - 0)$ – тривалість етапу виміру; $T_2 = (T - t_1)$ – тривалість сплячого режиму, тобто (0,1/100)·5000 + (99,9/100)·5 ≈ 10 мкА.

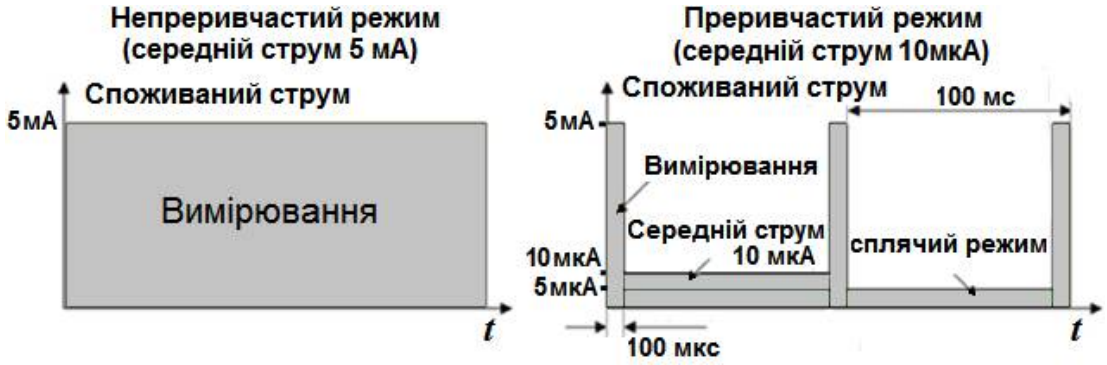


Рисунок 1 – Порівняння енергоспоживання датчиків Холла при різних режимах роботи (в умовному масштабі)

З рис. 1 видно, що переривчастий режим є більш енергоефективним, в 500 раз менше струму 5 мА, який би споживала мікросхема, виконуючи безперервні виміри. Таким чином, використання переривчастого режиму є ефективним засобом зменшення енергоспоживання дискретних датчиків Холла без шкоди для їхньої функціональності, що робить їх ідеальними для широкого кола компактних додатків з автономним (батарейним) живленням.

При напрузі живлення 1,8 В такий режим роботи при типовому значенні струму в режимі вимірів близько 1 мА дозволяє зменшити середній струм мікросхеми до рівня, що не перевищує 0,4 мкА [2].

Мікросхеми SM351 і SM353 нечутливі до полярності зовнішнього магнітного поля й мають двотактні виходи, що дозволяють підключати їх до мікроконтролера без використання зовнішніх елементів. Обидва прилади випускаються в компактних корпусах SOT-23 і можуть працювати в широкому діапазоні живлячих напруг (1,65…5,5 В) і температур (-40…85°С), що дозволяє використовувати їх разом з більшістю найбільш популярних мікроконтролерів.

Висновки. Суднові охоронні системи, системи електроприводу і автоматики, лічильники енергоресурсів, допоміжне електронне встаткування, пристрої автоматики – от далеко не повний перелік додатків, у яких можна використовувати датчики Холла, розглянуті в даній роботі. Ключовими особливостями всієї техніки, у якій можна застосувати ці мікросхеми, є компактність і тверді вимоги до енергоспоживання, адже саме для цих цілей вони й були розроблені.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника. Том 1. ДМК-М.: 2001.128 с.
2. Русу А.П. Интегральные малопотребляющие датчики положения на основе эффекта Холла / електронний Журнал «Новости Электроники» 2018 №7. Режим доступу: https://www.compel.ru/lib/ne/2018/7/6

УДК 621.314

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ИНДЕКСА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ МОРСКОЙ ИНДУСТРИИ

О. В. Глазева, к.т.н., доцент
В. Б. Власов, ст. преподаватель
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Целью применения мощных высоковольтных преобразователей частоты в качестве питания электроприводов в морской индустрии является повышение энергоэффективности и надежности при приемлемых коэффициентах пульсаций токов и напряжения.*

Ключевые слова: *электропривод, преобразователь частоты, надежность, индекс энергоэффективности, электромагнитная совместимость, электромеханическая совместимость.*

В соответствии с Резолюцией ИМО MERC.203 (62) с 1 января 2013 года введены поправки к Приложению VI Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов МАРПОЛ и установлены два основных требования по управлению энергоэффективностью судна (рис.1).

I. Для каждого нового судна валовой вместимостью 400 тонн и более, должны быть определены *требуемый и достигнутый конструктивные коэффициенты энергоэффективности* (EEDI).

II. На каждом новом или существующем судне валовой вместимостью 400 тонн и более, должен иметься и выполняться *Судовой план управления энергоэффективностью судна* (SEEMP).

III.

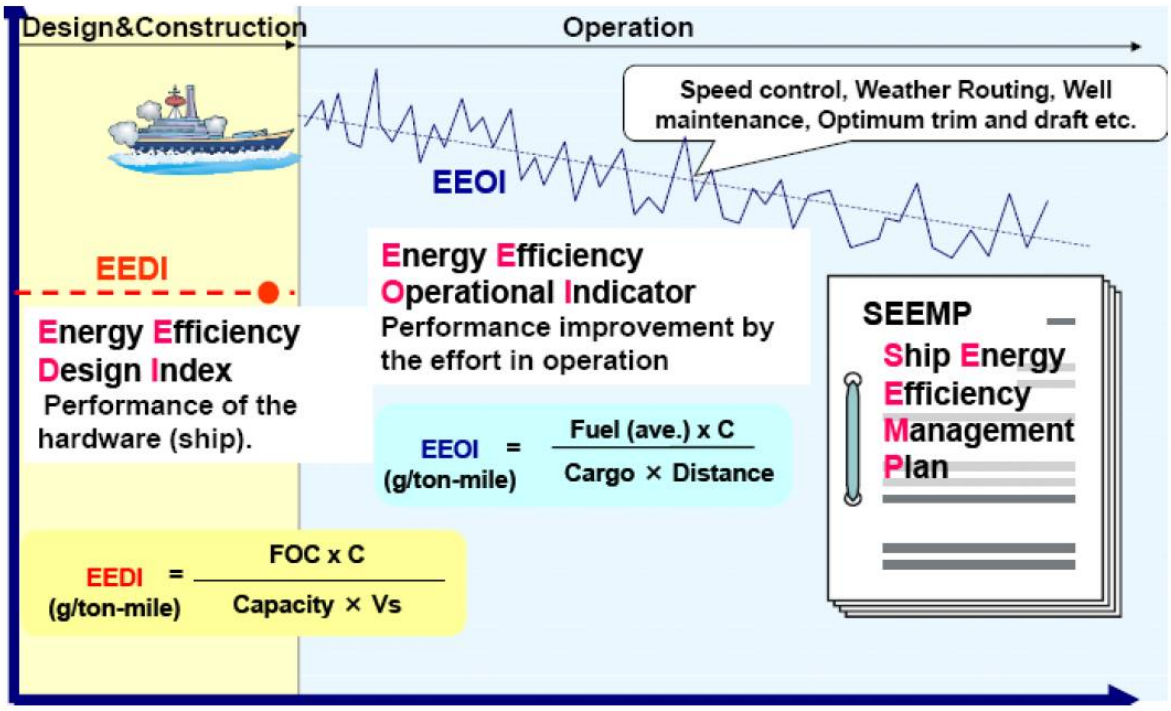


Рисунок 1 – Презентация ИМО по техническим мерам

Судовой план управления энергоэффективностью судна разрабатывается компанией для каждого судна с использованием *эксплуатационного коэффициента энергетической эффективности* (EEOI).

Анализ коэффициентов EEDI и EEOI позволяет применить системный подход к решению энергоэкологической задачи и сформулировать пути снижения этих коэффициентов.

Резолюция MEPC.213(63) приводит пример методов повышения энергоэффективности, к которым относятся [1, 2]:

1. Планирование рейса;
2. Погодное планирование;
3. Временное планирование;
4. Оптимизация скорости судна;
5. Оптимизация развиваемой мощности главного двигателя;
6. Оптимальное управление судном;
7. Обслуживание корпуса;
8. Оптимизация работы судовой энергетической установки;
9. Обслуживание судовой энергетической установки;
10. Утилизация теплоты;
11. Улучшение управления судном;
12. Оптимизация грузовых операций;
13. Управление электроэнергией;
14. Использование альтернативных видов топлива.

Повышение энергоэффективности системы электроснабжения судна направлено на поиск технических решений и возможных способов снижения потерь, которые влияют на весь процесс – от генерации и до потребления энергии.

Одним из таких способов является улучшение качества энергии (КЭ), которое, в частности, определяется амплитудой, частотой и наличием искажения формы сигнала, идущего от системы электроснабжения. Форма волны (напряжения или тока) искажается потребителями, поскольку в настоящее время большинство типовых нагрузок на судах являются нелинейными, например, устройства плавного пуск, частотно-регулируемый электропривод и др.

На сегодняшний день использование преобразователей частоты (ПЧ) является самым экономичным способом плавного автоматического регулирования скорости вращения и производительности электропривода. Это позволяет наиболее эффективно обеспечить:

- энергосберегающие режимы, так как АД получает от сети ровно столько энергии, сколько нужно для оптимальной работы с максимальным КПД;
- стабилизацию параметров.
- надежность эксплуатации агрегатов и их ресурс при снижении затрат на техническое обслуживание и ремонт;

▪ экологичность, электромагнитную совместимость и интеграцию в АСЭУ.

Основные варианты построения ПЧ можно классифицировать схемой, приведенной на рисунке рис.2.

Рисунок 2 – Классификация преобразователей частоты

Внедрение высоковольтного регулируемого электропривода в морской индустрии является одним из основных направлений уменьшения потребления электроэнергии и повышения EEDI и EEOI.

Мощные высоковольтные преобразователи частоты (ВПЧ) применяются в судовой электроэнергетике главным образом в составе электроприводов подруливающих устройств, электродвижения, приводах мощных вентиляторов и насосов.

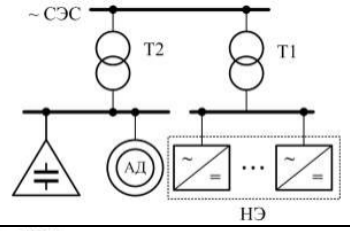
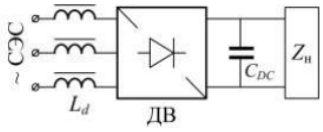
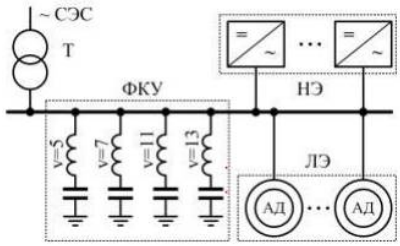
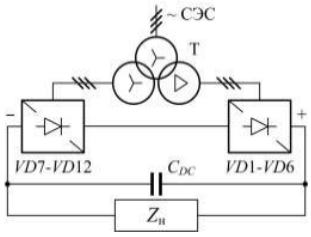
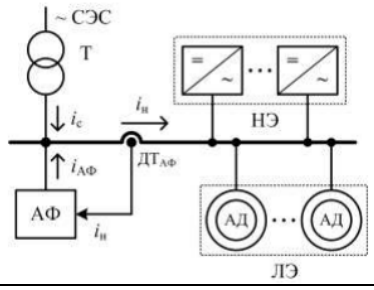
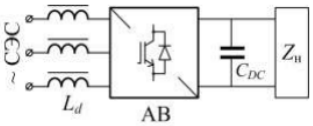
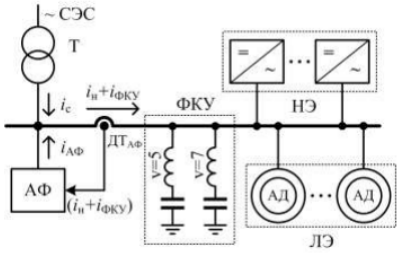
Воздействие силовых преобразователей (СПП), которые входят в состав ВПЧ на электрическую сеть и оборудование, входящее в нее, проявляется в следующих аспектах:

– генерирование в систему электроснабжения (СЭС) гармоник тока и напряжения;

– потребление из сети реактивной мощности.

Электромагнитная совместимость СПП обеспечивается различными способами, к которым относят мероприятия по обеспечению качества питающего напряжения на входе преобразователей и индивидуальную защиту устройств с помощью различного рода фильтров (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Классификация методов обеспечения электромагнитной совместимости СПП с сетью электроснабжения

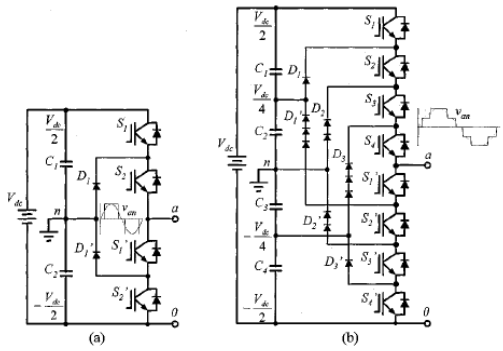
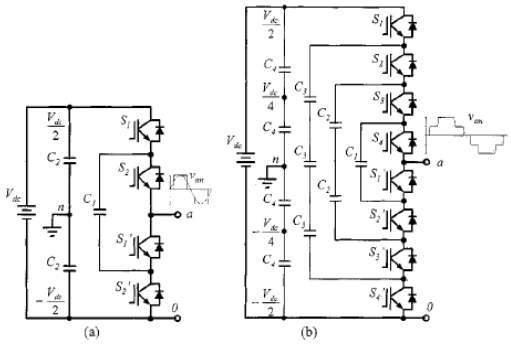
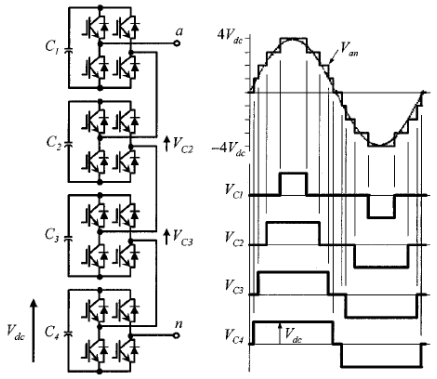
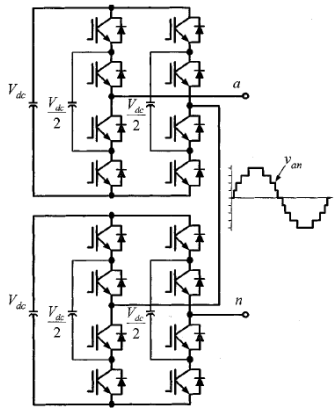
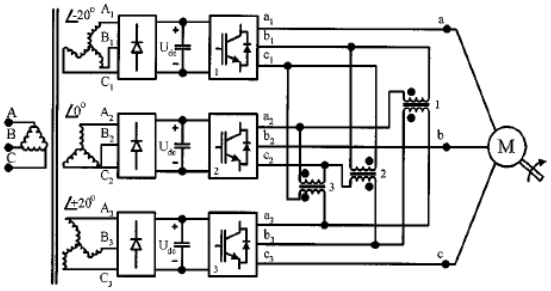
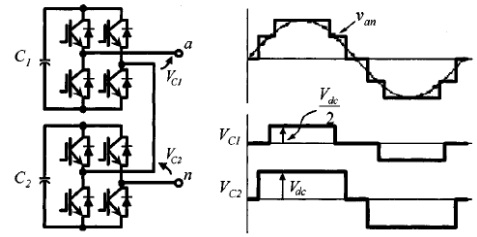
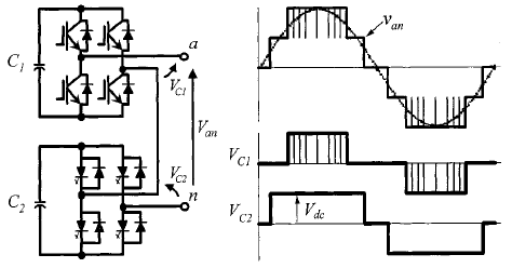
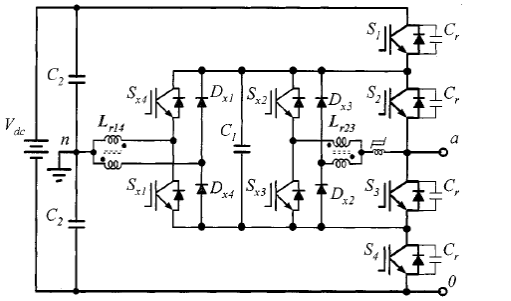
<table>
<tr><th colspan="5">Обеспечение электромагнитной совместимости СПП с СЭС</th></tr>
<tr><th colspan="2">Структурные методы</th><th colspan="3">Системные методы</th></tr>
<tr><td colspan="2">Схемные решения при разработке СПП</td><td colspan="2">Коррекция структуры СЭС (разделение линейных и нелинейных нагрузок)</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Применение сетевых дросселей</td><td> 
</td><td rowspan="3">Включение ФКУ</td><td>Пассивные фильтры</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Повышение фазности выпрямителей</td><td> 
</td><td>Активные фильтры</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Применение активных выпрямителей</td><td> 
</td><td>Гибридные фильтры</td><td> 
</td></tr>
</table>

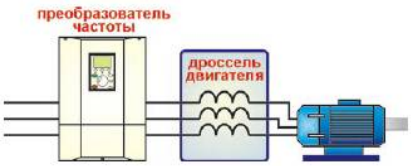
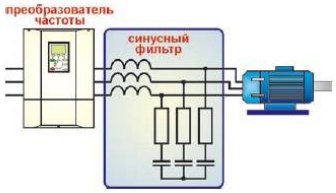
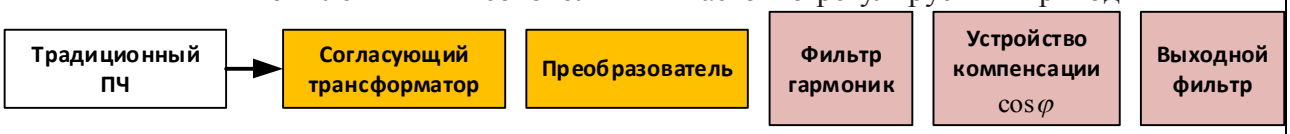
В частотно-регулируемых ЭП переменного тока напряжение питания двигателя заданной амплитуды и частоты формируется посредством переключения силовых ключей автономного инвертора. Топология и принципы управления инверторами в настоящее время определяются современными силовыми полупроводниковыми элементами нового типа (IGBT, GTO, IGCT, SGCT), а также различными видами широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [4]. Несинусоидальное напряжение на выходе инвертора, которое, в зависимости от режима его работы (фазная коммутация, либо ШИМ), может иметь различную форму и гармонический состав, является основной причиной возникновения проблемы электромеханической совместимости в асинхронном ЭП.

Проблема электромеханической совместимости в ЭП является частью проблемы электромагнитной совместимости, относящейся к влиянию ПЧ на качество электромеханического преобразования энергии [8].

Классификация способов обеспечения электромеханической совместимости в асинхронных ЭП приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Классификация способов обеспечения электромеханической совместимости ПЧ с АД

Обеспечение электромеханической совместимости ПЧ с АД	
1	**Схемные решения при разработке преобразователей**
 Топология многоуровневого инвертора с диодными защелками а) трехуровневый б) пятиуровневая	 Топология многоуровневого инвертора с конденсаторами а) трехуровневый б) пятиуровневая
 Топология каскадного инвертора и временная диаграмма получаемого выходного напряжения	 Топология гибридной ячейки смешанного уровня
 Каскадный инвертор с трехфазными ячейками	 Ячейка асимметричного гибридного каскадного инвертора с различными уровнями напряжения
 Ячейка асимметричного каскадного инвертора с различными частотами переключения.	 Схема инвертора с нулевым уровнем напряжения и конденсатором

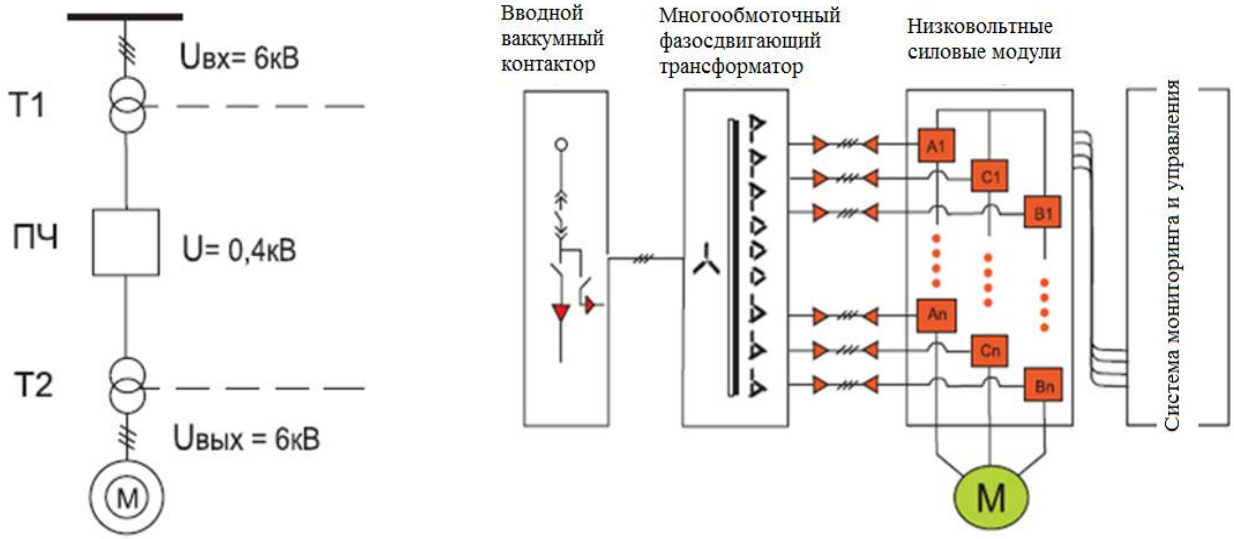
<table>
<tr><td>2</td><td colspan="6">Специальные законы управления ПЧ</td></tr>
<tr><td colspan="7">Многоуровневая модуляция</td></tr>
<tr><td colspan="2">Стандартная частота переключений</td><td>Смешанная частота переключений</td><td colspan="4">ШИМ с высокой частотой переключений</td></tr>
<tr><td>Управление по пространственному вектору</td><td>Селективная блокировка гармоник</td><td>Гибридная многоуровневая модуляция</td><td>ШИМ на основе пространственного вектора</td><td>ШИМ со сдвигом фазы</td><td colspan="2">ШИМ со сдвигом уровня</td></tr>
<tr><td colspan="3">Алгоритм с пропуском резонансных частот</td><td colspan="4">Алгоритм на основе исключения гармоник</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="6">Применение фильтрующих устройств</td></tr>
<tr><td colspan="3">Дроссель звена постоянного тока
</td><td colspan="4">Тормозной резистор
</td></tr>
<tr><td colspan="3">Дроссель двигателя
 
</td><td colspan="4">Выходной синусный фильтр
 
</td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="6">Конструкторские решения при проектировании ПЧ-АД</td></tr>
<tr><td colspan="7">Комплектный высоковольтный частотно-регулируемый привод
 
</td></tr>
<tr><td colspan="3">Специальные конструкторские решения при проектировании преобразователей</td><td colspan="4">Специальные конструкторские решения при проектировании АД</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="5">

Robicon PERFECT HARMONY
225 кВт–120 МВт(SIEMENS)</td><td colspan="4">▪ увеличение воздушного зазора двигателя;</td></tr>
<tr><td colspan="4">▪ использование скоса пазов статора и ротора;</td></tr>
<tr><td colspan="4">▪ выбор определенной формы пазов статора и ротора;</td></tr>
<tr><td colspan="4">▪ увеличение числа фаз обмотки статора;</td></tr>
<tr><td colspan="4">▪ выбор благоприятного соотношения числа пазов статора и ротора.</td></tr>
</table>

На данный момент для управления скоростью вращения высоковольтных двигателей применяется два типа преобразователей:

1. ВПЧ, построенный по двухтрансформаторной схеме с низковольтным звеном постоянного тока (рис.3а).

2. ВПЧ, построенный по схеме с многообмоточным фазосдвигающим трансформатором (рис.3б).



а. б.

Рисунок 3 – Двухтрансформаторная схема ВПЧ (а), схема ВПЧ с многообмоточным трансформатором (б)

Наибольший интерес в плане энергоэффективности представляют высоковольтные многоуровневые (Multilevel) преобразователи частоты (ВМПЧ), которые существенно улучшают качество входного напряжения. Такие преобразователи выпускают фирмы ABB (серия ACS5000 на IGCT), Siemens (серия SINAMICS Perfect Harmony на IGBT), Danfoss (серия VEDADRIVE на IGBT) и другие. Их особенностью является схема построения инвертора с последовательным соединением низковольтных ячеек (рис.4). Использование многозвенной структуры при формировании фазы высоковольтного напряжения и определяет форму выходного сигнала (рис.5).

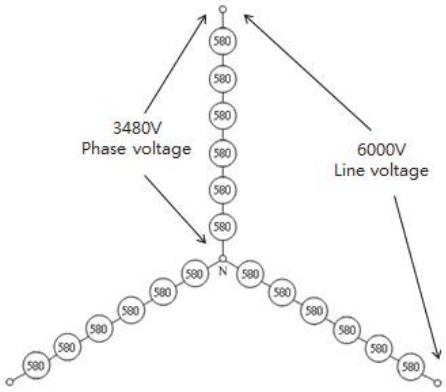
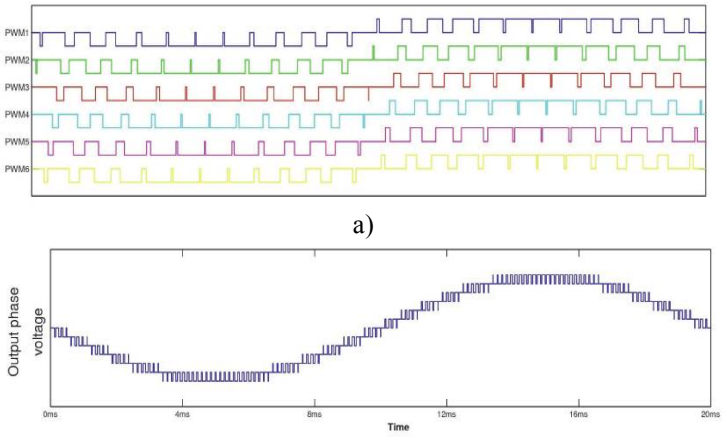


Рисунок 4 – Использование низковольтных ячеек для формирования напряжения свыше 1000 В.



а)

б)

Рисунок 5 – Диаграммы выходных напряжений низковольтных силовых ячеек многоуровневого преобразователя (а) и график формирования выходного высоковольтного напряжения (б)

Интегральным энергетическим критерием оценки качества энергоэффективности многоуровневых преобразователей считается коэффициент гармоник (THD – total harmonic distortion). Так как выходное напряжение преобразователя формируется ступенчато, то это сводит к минимуму эмиссию высших гармоник в питающую сеть, что обеспечивает требования электромагнитной совместимости без применения дополнительных фильтров или активного компенсационного выпрямителя на входе АИН.

Привод SINAMICS Perfect Harmony (Siemens) [10] с многоуровневой топологией ПЧ с взаимозаменяемыми силовыми ячейками помимо понижения уровня гармоник позволяет длительно выдерживать просадки питающего напряжения до -33% без отключения ПЧ, и использовать энергию вращающейся нагрузки для преодоления полного отсутствия напряжения, а также включает технологию сдвига нулевой точки для исключения перекоса фаз в нагрузке.

Еще одно достоинство преобразователей, построенных по многоуровневой топологии – высокая надежность. При выходе из строя одной или нескольких ячеек, ПЧ сохраняет свою работоспособность за счет автоматического шунтирования неисправных модулей и корректировки режима работы оставшихся ячеек системой автоматического управления. Выходная мощность при этом несколько снижается. Совместно с низким уровнем гармоник эти особенности продлевают срок службы электродвигателя, снижая нагрузки на изоляцию и риск выхода из строя подшипников.

Таким образом, многоуровневая схема построения высоковольтных ПЧ является перспективной для применения в составе морских энергетических объектов. Работы в этом направлении позволят значительно улучшить энергетические характеристики электроприводов и судна в целом, увеличить надежность ответственных потребителей, уменьшить расходы на их техническое обслуживание и ремонт, что неизбежно повлияет на повышение эксплуатационного коэффициента энергетической эффективности. Особо существенным, на наш взгляд, является переход на реверсивный электропривод подруливающих устройств с винтом фиксированного шага, что позволит обеспечить более мягкий пуск электродвигателя, повысить КПД, коэффициент мощности и показатели EEOI.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство ИМО по методу расчета конструктивного коэффициента энергетической эффективности для новых судов 2012: резолюция MERC 212 (63).

2. Annex 9 resolution MEPC.213(63) Adopted on 2 March 2012 2012 GUIDELINES FOR THE DEVELOPMENT OF A SHIP ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT PLAN (SEEMP) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre /IndexofIMOResolutions /Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.213(63).pdf

3. Гузеев Б.В., Хакимьянов М.И. Современные промышленные высоковольтные преобразователи частоты для регулирования асинхронных и синхронных двигателей Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2011, № 3, с. 441- 449

4. Pouria Qashqai, Abdolreza Sheikholeslami, Hani Vahedi. A Review on Multilevel Converter Topologies for Electric Transportation Applications. International Journal of Mechatronics, Electrical and Computer Technology (IJMEC) / Vol. 6(19), Jan. 2016, pp. 2698-2708.

5. Б.Ф. Дмитриев, А.Н. Калмыков, С.Я. Галушин. Структуры силовой части многоуровневых преобразователей в составе автономных систем электропитания //VIII Международная (XIX Всероссийская) конференция по автоматизированному электроприводу АЭП-2014, с.76-81.

6. P. Vijayarajan1, A. Shunmugalatha, M. A. Jagabar Sathik. A New Hybrid Multilevel Inverter Topology for Medium and High Voltage Applications. / Applied Mathematics & Information Sciences Appl. Math. Inf. Sci. 11, No. 2, 497-508 (2017) 497

7. Крюков О.В. Анализ структур преобразователей частоты для технологически связанных электроприводных газоперекачивающих агрегатов. / Теория и практика автоматизированного электропривода. ЭСиК. №2(27). 2015, с.11-14.

8. Татаринов, Д.Е. Анализ и методы обеспечения электромеханической совместимости электроприводов переменного тока // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014, Саранск. – 2014. – С. 244-247.

9. Rodriguez, J., Lai, J.S., Peng, F.Z.: Multilevel inverters: a survey of topologies, controls, and applications, In: IEEE Trans. Ind. Electronics, vol. 49, No. 4, 724-738.

10. Высоковольтные преобразователи частоты Robicon PERFECT HARMONY 225кВт – 120МВт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.siemens.kz /assets/images /resheniya /privodnaya_ tehnika /Perfect_harmoni_210x280_preview_.pdf

УДК 621.316.95

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА СУДАХ.

С. Ф. Самонов, к.т.н., доцент,
А. А. Кульбацкий, ст. преподаватель,
В. А. Дубовик, ст. преподаватель
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Последние достижения в совершенствовании технологии аккумуляторных батарей создают перспективы для использования их на судах в качестве основных и аварийных источников энергии. Наиболее безопасными, надежными и долговечными в этом смысле являются «твердотельные» аккумуляторы и батареи.*

Ключевые слова: *судовые литий-ионные батареи, твердотельные батареи.*

Сегодня интерес к всевозможным накопителям энергии вынуждает ученых искать новые концепции устройства и методы производства аккумуляторных батарей (АБ). Это направление энергетики ищет оптимальное решение, отвечающее критериям: компактность, надежность, безопасность, дешевизна и долговечность.

До настоящего времени самыми распространенными на судах есть: щелочные, свинцово-кислотные и, реже, никель-кадмиевые (NiCad) АБ, которые используются в системах аварийного энергоснабжения, для питания стартерных устройств и пропульсивных установок небольшой мощности. Наряду с указанными все более широкое распространение на флоте получают литий-ионные аккумуляторы, отличающиеся высокой плотностью энергии и значительным ресурсом при циклических режимах работы. По сравнению с традиционными свинцово-кислотными эти аккумуляторы обеспечивают экономию до 70% в объеме и весе, а количество циклов заряда/разряда у них в три раза

больше. Еще одно преимущество состоит в том, что емкость литий-ионных АБ не зависит от подключенной нагрузки. Емкость же свинцово-кислотных АБ уменьшается при больших токах разряда. Литий-ионные батареи могут быть разряжены на 80% без сокращения срока службы, тогда как свинцово-кислотные батареи более чувствительны к глубоким разрядам и допускают разряд только до 50% доступной емкости.

Литий-ионные АБ могут быть разряжены и заряжены много раз, но не бесконечно. В процессе эксплуатации у этих АБ появляется естественный дисбаланс накапливаемого заряда между элементами. В результате этого дисбаланса в процессе заряда некоторые элементы быстро достигают максимального уровня заряда, в то время как другие не успевают полностью зарядиться. Последние элементы затем разряжаются быстрее, приводя к преждевременному отключению батареи из-за понижения напряжения. В результате срок службы батареи уменьшается.

Характерным примером использования литий-ионных АБ в качестве основного источника энергии является пропульсивная электроустановка сухогрузного судна, построенного в Китае. Судно оборудовано литий-ионными АБ и блоком конденсаторных батарей общей емкостью 2400 кВт*ч, способными снабжать электроэнергией 2 электродвигателя (ЭД) суммарной мощностью 320 кВт. ЭД имеют прямой привод на гребные винты и позволяют осуществлять различные режимы работы судна. Полный заряд АБ от береговой сети происходит в течение 2-х часов, после чего судно способно осуществить переход из одного порта в другой протяженностью до 80 км с максимальной скоростью до 12,8 км/час. Сухогруз длиной 70,5 м, шириной 13,9 м при осадке 3,3 м имеет грузоподъемность до 2000 тонн [1].

Следует отметить, что кроме важных преимуществ литий-ионным АБ присущи следующие недостатки:

1) литий – это редкоземельный элемент и дорогостоящий материал;
2) аккумуляторы на основе лития могут легко воспламеняться;
3) литий-ионные АБ имеют относительно короткий срок службы.

По сравнению с существующей технологией литий-ионных аккумуляторов, новая твердотельная АБ может изменить будущее хранения энергии [2].

Твердотельные аккумуляторы используют не жидкие, а твердые электролиты и работают по тому же принципу. В «жидкотельных» батареях необходим ощутимый слой жидкости и специальный сепаратор, разделяющий катод и анод, чтобы избежать короткого замыкания. Для твердотельного аккумулятора достаточно куда более тонкого барьера. Сепараторы в литий-ионных аккумуляторах обычно имеют толщину около 20-30 микрон (0.02-0.03 мм), а в твердотельных используются сепараторы в 3-4 микрона – примерно в 7 раз более тонкие [2].

Твердотельные электролиты куда меньше склонны к химическим реакциям, чем жидкость или гель, поэтому они работают намного дольше и не требуют замены через 2-3 года. Использование стеклянного электролита обеспечивает ускоренный процесс зарядки. Кроме того, такие устройства можно будет ис-

пользовать в холодную погоду. Первая полностью твердотельная батарея, созданная в Техасском университете, может работать при температуре -60 градусов [2].

Поскольку риск протечки в твердотельных АБ исключен, такие аккумуляторы считаются более безопасными. Для их производства требуется меньшее количество комплектующих, поэтому их производство обходится дешевле. При этом твердотельные аккумуляторы обладают большей емкостью, уменьшением времени зарядки, чем литий-ионные батареи.

В 2020 году норвежские компании Yara и Kongsberg намерены спустить на воду первый в мире автономный корабль с использованием только электрической энергии без участия человека.

Выводы:

1. Использование твердотельных АБ даст развитие сухогрузным судам с электродвижением, способным экономить топливные ресурсы - нефть и газ, а также при этом не загрязнять окружающую среду – воздух, водные ресурсы.

2. Применение твердотельных аккумуляторов надежно обеспечит судовые потребители электроэнергией в аварийных ситуациях, в особенности на пассажирских судах, так как безопасность, ёмкость, скорость зарядки и разрядки и срок работы батарей являются критически важными.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://ruleoflaw.ru/2017/11/18/kitaj-sozdal-pervyj-v-mire-elektrokorabl/.

2.https://ecotechnica.com.ua/technology/2208-tverdotelnye-litij-ionnye-akkumulyatory-v-3-raza-uvelichat-zapas-khoda-elektromobilej.html.

УДК 629.5.065:629.5.064.3

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ ЧАСТОТНОМУ КЕРУВАННІ НАСОСОМ ГІДРАВЛІЧНОГО КРАНУ

А. І. Шестака, старший викладач
Національний університет "Одеська морська академія"
Л. В. Мельнікова, к.т.н., доцент
Одеський національний політехнічний університет

Анотація. *На основі аналізу можливих режимів роботи палубного крана, а також на підставі розрахунків необхідної потужності насоса був обґрунтований, розроблений і запропонований алгоритм допустимого зниження оборотів двигуна головного насоса, що забезпечує суттєве зниження споживаної потужності без втрат в продуктивності при роботі неповного числа механізмів і під час технологічних пауз.*

Ключові слова: *енергоефективність, гідравлічний палубний кран, насос, частотне керований електропривод, алгоритм.*

Велика кількість суден оснащена палубними кранами для самостійної обробки вантажів. Переважно такі палубні крани є гідравлічними, оскільки вони значно дешевші в капітальних затратах порівняно з електричними. Розгля-

нути питання поліпшення експлуатаційних характеристик електропривода насосів палубного крана шляхом його модернізації із встановленням додаткового обладнання з метою оптимізації енергоспоживання під час завантажувально-розвантажувальних операцій.

Так, **метою роботи** є розробка пропозицій щодо модернізації загальноприйнятої схеми електропривода головного насоса, а також впровадження заходів для відповідного технологічним задачам керування моментом та швидкістю двигуна з урахуванням специфічного навантаження, а саме, гідронасоса.

Вирішення проблеми

1. Застосування гідроприводів в під'ємних машинах і механізмах є досить розповсюдженою практикою, оскільки, наприклад, гідравлічний палубний кран в капітальних витратах є суттєво дешевшим порівняно з аналогічним за функціоналом та вантажепід'ємністю електричним краном: для досить популярних кранів MacGregor гідравлічний приблизно в три рази дешевий від електричного.

2. Керування двигунами сучасного електричного крана здійснюється за допомогою інтелектуальної системи частотно - керованого електропривода [2,3] зі спільною для всіх інверторів шиною постійного струму та з використанням активного двонаправленного випрямляючого модулю. Останнє дає змогу розподілу і використання згенерованої одним з механізмів, що працює в режимі гальмування (спуск вантажу), інверторами інших механізмів при суміщенні робочих рухів або рекуперації "надлишкової" енергії в мережу при відсутності запиту на неї від інших механізмів. Таким чином, електричні крани мають досить гнучкі алгоритми ефективного споживання електроенергії.

3. Управління ж гідравлічним краном позбавлене переваг енергозбереження перш за все за причини архаїчного підходу до керування двигуном головного насоса, власне, за відсутності керування, як такого. Навіть сучасні крани мають лише контакторну схему пуску з переключенням "зірка – трикутник". Надалі швидкість електропривода не регулюється. Швидкості механізмів регулюються гідравлічними засобами з застосуванням схеми "насос регульованого об’єму – гідро двигун постійного об’єму". Це означає, що незалежно від завантаження гідроприводів робочих механізмів, головний насос працює зі швидкістю, близькою до номінальної, створюючи в системі надлишковий тиск, який безперервно скидається через перепускні клапани навіть при роботі всіх механізмів з навантаженням, меншим від номінального, оскільки робоча точка системи "гідронасос – гідромотор" розраховується за умови номінального завантаження та одночасної роботи всіх механізмів. В усіх інших випадках тиск в системі є надлишковим.

4. Необхідно зазначити, що, принаймні, половина часу робочих операцій крана припадає на рухи з порожнім вантажезахватом. Крім того, існують технологічні паузи, що не супроводжуються роботою жодного з механізмів.

Цілком логічним буде запропонувати зниження робочого тиску в системі і подачі принаймні під час "легких" операцій і технологічних пауз шляхом зменшення частоти обертання двигуна головного насосу.

З метою відповідності специфічного саме для насоса характеру навантаження було розроблено відповідну модель блока завдання моменту навантаження.

Результати досліджень

Розглядається гідравлічний кран MacGregor [4] вантажепід'ємністю, в якому для керування та узгодження роботи агрегатів та механізмів, використовується мікропроцесорна система Crane Control System CC3000 (розроблена спеціально для електрогідравлічних кранів MacGregor). Базова схема електропривода головного насоса передбачає, що його двигун постійно працює впродовж роботи крану, споживаючи практично номінальну потужність незалежно від числа одночасно працюючих механізмів та їх навантаження, а також незалежно від того, чи знаходяться в роботі механізми крану, чи має місце технологічна пауза. Гідравлічна схема передбачає включення перепускних клапанів з метою підтримання постійного тиску в гідравлічних ланках механізмів та в загальній живлячій лінії. Таким чином, наявне неекономічне використання електроенергії для роботи двигуна головного насоса при неповному навантаженні і під час технологічних пауз, коли механізми крану вимушено не працюють.

З метою аналізу поведінки гідравлічної системи з керуванням двигуна головного насосу від VFD в динамічних та статичних режимах в середовищі Matlab Simulink була розроблена математична модель системи, наведена на Рис. 4, яка враховує роботу VFD в режимі Sensorless Field-Oriented Control (FOC). В основі розробленої лежить базова модель AC3 - Field-Oriented Control Induction Motor Drive. Налаштування моделі враховували параметри існуючого двигуна.

З метою відповідності специфічного саме для насосу характеру навантаження було розроблено відповідну модель блока завдання моменту навантаження.

Треба зазначити що згідно до наведеного вище алгоритму пуск насоса не буде здійснюватись до номінальної швидкості. Натомість, перший пуск обмежується досягненням швидкості 1245 об/хв., що відповідає завданню 70% номінальної частоти (42 Гц,). Надалі двигун буде дорозганятись до потрібної швидкості у відповідності з підключеними в роботу механізмами. Зрозуміло, цей процес має відбуватися за мінімально можливий проміжок часу. Тому був виконаний попередній аналіз перехідних процесів в режимах розгону та гальмування, який дозволив зробити висновок, що час розгону від нуля до номінальної швидкості може бути заданий на рівні двох секунд (в чотири рази менше, ніж в базовій схемі) без перенавантаження двигуна по моменту. На практиці цей час може бути зменшений, оскільки сам VFD припускає короткочасне перенаватження до 160%, а співвідношення критичного моменту двигуна до номінального складає 2,4. Надалі була досліджена поведінка системи при роботі різних механізмів в перехідних і усталених режимах.

Результати моделювання робочих процесів, наближених до реальних алгоритмів роботи оператора крана, наведені на рис. 1.

З графіків добре видно, що час розгону при підключенні механізмів складає (0,15-0,3) с, що в реальній роботі оператора є цілком припустимим. В той же час максимальне перенавантаження по моменту двигуна (при розгоні насосу з усіма підключеними механізмами) складає не більше 350 Нм (43 % від

номінального), що є цілком припустимим. Перенавантаження ж VFD на цій ділянці складає не більше 65 кВт протягом 0,3 с (43 % від номінального), що цілком покривається можливостями VFD. Слід звернути увагу також на те, що споживана потужність при роботі механізмів повністю відповідає саме потрібній потужності завдяки роботі VFD на проміжних частотах в ланцюгах окремих гідроприводів.

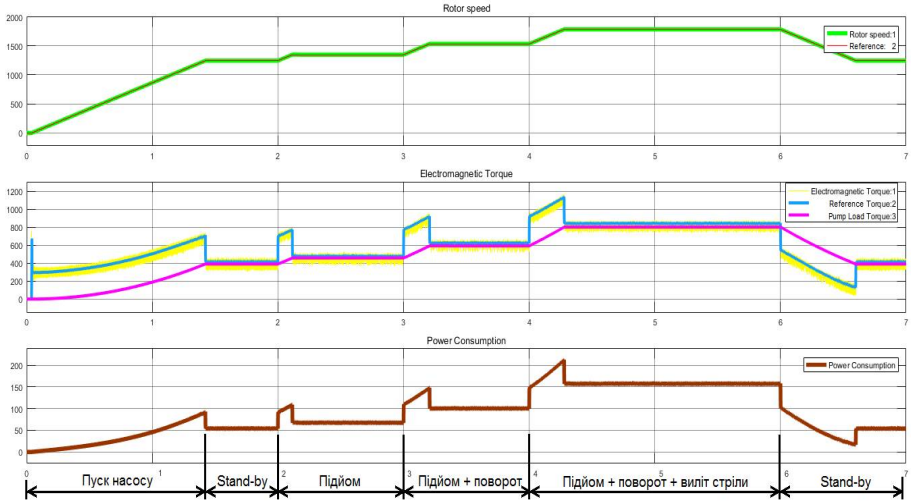


Рисунок 1 - Робота керованого від VFD двигуна головного насосу при підключенні механізмів крана

Висновки

Таким чином, результати моделювання повністю підтвердили доцільність та ефективність запропонованої заміни базової схеми на модернізовану з використанням VFD для зниження енергоспоживання відповідно до числа працюючих механізмів, а також під час технологічних пауз. Крім того, за допомогою моделі була досліджена можливість збільшення інтенсивності перехідних процесів з метою скорочення часу розгону насосу до технологічно припустимих значень, які не затримують роботу оператора крану

ЛІТЕРАТУРА

1. Шестака, А. И. Частотно-регулируемые электроприводы в насосах [Текст] / А.И. Шестака, Л.В. Мельникова, А.Г. Калинин / / Електротехнічні та комп'ютерні системи. – К.: Техніка, 2017. - №25(101). – С. 80-90.

2. Vector Control of Three-Phase AC Machines - System Development in the Practice, [Text] N. P. Quang and J.-A. Dittrich, Springer, 2008.

3. C. Thanga Raj, S. P. Srivastava, and Pramod Agarwal. Energy Efficient Control of Three-Phase Induction Motor - A Review. [Text] // International Journal of Computer and Electrical Engineering, Vol. 1, No. 1, April 2009, ISSN 1793-8198. – P. 61-70.

4. MacGregor Crane GLB3629-2/28.829gr. Instruction Manual. [Text]// MACGREGOR, Dept. C7250, 2011-03-07, Project No.2/10036.08LMW.

5. FR-Family. Frequency inverters. [Text] //Mitsubishi Electric Europe B.V. // 2017-06-29 Revision H – Art. no 206313-H.

6. FR-F800 Inverter. Instruction Manual (detailed). [Text], Mitsubishi Electric Corporation, IB(NA)-0600547ENG-A(1407)MEE.

7. Japanese Smart Energy Products & Technologies. [Text], 2017 - JASE-W – Mitsubishi General-Purpose Inverter – F-34. [Electronic Resource]. – Access Mode - http://www.jase-w.eccj.or.jp/technologies/pdf/factory/F-34.pdf

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

УДК 621.362.2

ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОФАЗНИХ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ В ЗАСОБАХ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

І.П. Малявін, к.т.н, доцент
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Показані принцип роботи та переваги багатофазних імпульсних перетворювачів електричної енергії порівняно з однофазними перетворювачами. Наведено приклад реалізації змішаної системи електроживлення на базі багатофазних імпульсних перетворювачів.*

Ключові слова: *багатофазний (БІП) та однофазний (ОІП) імпульсні перетворювачі.*

Зниження масогабаритних показників, підвищення надійності і економічності радіотехнічних систем, у т.ч. – засобів зв'язку, є одним з серйозних завдань, актуальність вирішення якого відображена в [1]. При цьому зазначені техніко-економічні показники вказаних засобів нерозривно пов'язані з характеристиками пристроїв та засобів їхнього електроживлення. Складовою частиною сучасних засобів електроживлення є імпульсні перетворювачі електричної енергії (ПЕЕ) модульної структури, які виконані з паралельно включених N однотипних перетворювачів постійної напруги (ППН) – силових каналів (СК) – рисунок 1 (N=4). Модульна побудова імпульсних ПЕЕ підвищує їх надійність, коефіцієнт корисної дії (ККД), рівень технологічності.

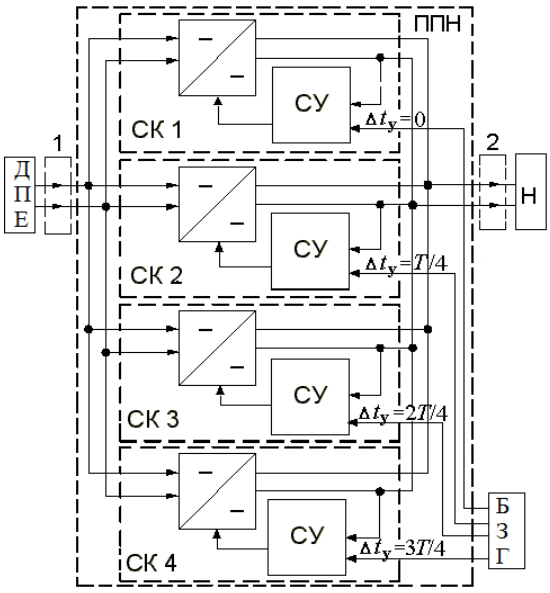


Рисунок 1 – БІП: ДПЕ – джерело первинного електроживлення, Н – навантаження, СУ – схема управління, БЗГ – багатофазний задаючий генератор

При однофазному режимі роботи модульного ППН в однофазному імпульсному перетворювачі (ОІП) СК комутуються одночасно, електричні процеси в однотипних елементах схеми синхронні і синфазні, часовий зсув між ними відсутній: Δt_y=0. При багатофазному [2] режимі роботи – в багатофазному імпульсному перетворювачі (БІП) – електричні процеси в k-x СК синхронні, але не синфазні, і зміщені в часі, наприклад, на інтервал $\Delta t_y=\Delta t_N=T/N$, де T – період перетворення в окремо взятому k-му СК (рис. 1). Підсумовування – у загальних електричних колах (на вході 1 і на виході 2) – зміщених в часі електричних процесів приводить до значного зменшення рівня змінних складових (пульсацій) на вході і виході БІП. Це обумовлює використання згладжуючих фільтрів з меншими значеннями ємності і індуктивності, а, значить, з покращеними масогабаритними показниками.

У якості прикладу на рис. 2 наведено структурну схему змішаної системи електроживлення (СЕЖ), яка виконана як БІП на базі СК різного типа виконання (знижуючого, підвищуючого та інвертуючого типів). Це дозволяє поєднати переваги багатофазного принципу перетворення електричної енергії з розподіленим електроживленням. У децентралізованих СЕЖ джерела вторинного електроживлення розміщуються в одних модулях з радіоапаратурою, тобто живлення окремих навантажень здійснюється від індивідуальних електроживлюючих установок (ЕЖУ). Наближення ЕЖУ до самої апаратури дозволяє поліпшити якість напруги, заощадити кольоровий метал (за рахунок зменшення струму і підвищення напруги при збереженні передаваної потужності), підвищити ККД і надійність ЕЖУ, зменшити взаємні впливи між різною апаратурою.

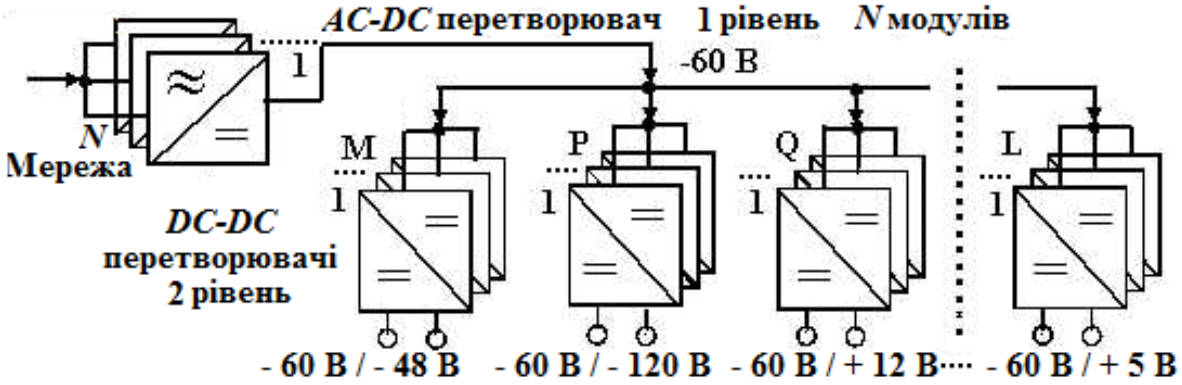


Рисунок 2 – Структурна схема змішаної СЕЖ

В структурній схемі змішаної СЕЖ (рис. 2), на 1-му рівні перетворення знаходиться *AC-DC* перетворювач (випрямляч), що складається з *N* модулів, що перетворює змінну напругу в опорну напругу, наприклад, "-60В". На 2-му рівні знаходяться *DC-DC* перетворювачі різного призначення, що перетворюють вихідну напругу "-60В" в напруги заданої величини і полярності, при цьому кількість модулів – СК (*M, P, Q, L*) для кожного перетворювача може бути різною.

Висновки. Використання БІП у складі засобів електроживлення радіотехнічних систем сприяє підвищенню якості перетворення електричної енергії, а значить – якості функціонування радіосистем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України “Про енергозбереження” Постанова Верховної Ради №74/94-ВР. – Відомості Верховної Ради (ВВР). – 1994. – № 30. – ст. 283. (Із останніми змінами, внесеними згідно із Законом № 2095-VIII (2095-19) від 08.06.2017, ВВР, 2017, N 32, ст. 344).

2. Малявін, І.П. Методика автоматизованого проектування багатофазних імпульсних перетворювачів постійної напруги [Текст] / І.П. Малявін // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 2. – С. 84 – 88.

УДК 629.5.064.5

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

А.О. Дранкова, к.т.н., доцент
М.Й. Муха, к.т.н., доцент
С.С. Міхайков, електромеханік
І.І. Красовський, електромеханік
М.С. Химчак, курсант
А.О. Цибух, курсант
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: *Представлено електромеханічний лабораторний стенд на базі обладнання фірми Mitsubishi Electric, призначеного для дослідження якості електроенергії автономної електромережі. До складу стенду входять двомашинні агрегати з асинхронними машинами різної потужності та перетворювачами частоти, програмовані логічні контролери блочного та модульного типу, графічна панель оператора, давачі температури та тиску, цифровий осцилограф. Наведені результати дослідження якості електроенергії автономної електромережі в пускових режимах асинхронних електроприводів з типовим вентиляторним і насосним навантаженням.*

Ключові слова*: якість електроенергії, двомашинні асинхронні агрегати, програмовані логічні контролери, графічна панель оператора, частотні перетворювачі, давачі температури та тиску, осцилограми.*

Забезпечення якості електроенергії в умовах зростання вимог до енергоефективної роботи суднових електромеханічних комплексів з автономною системою живлення являється актуальним завданням як при побудові систем управління цих комплексів на нових сучасних суднах, так і при проведенні модернізації систем управління [1,2]. Задля дослідження впливу частотокерованого електроприводу на енергоефективність роботи асинхронних двигунів та надання практичних рекомендацій до забезпечення якості електроенергії автономної електромережі у відповідності до вимог морських Класифікаційних Товариств на кафедрі суднової електромеханіки і електротехніки НУ «ОМА» створюється електромеханічний лабораторний стенд [2,3]. Функціональна схема такого лабораторного стенду приведена на рис.1, в якому використане сучасне обладнання фірми Mitsubishi Electric лабораторії електромеханічних систем кафедри, що є сертифікованою лабораторією з систем автоматизації фірми Mitsubishi Electric [4,5].

До складу лабораторного стенду входить наступне обладнання:

1. PLC Q-series.

ПЛК серії MELSEC System Q є найпотужнішими і високопродуктивними ПЛК з модульною структурою і мультипроцесорною технологією фірми Mitsubishi (рис.2). За своїми можливостями вони перевершують добре відомі в усьому світі компактні ПЛК блочного типу серії FX, а також ПЛК модульного типу серії L. Модульна структура контролера дозволяє підібрати оптимальне поєднання процесорних модулів, модулів комунікації, спеціальних модулів і

модулів введення/виводу у відповідності з конкретними вимогами об'єкта автоматизації [6].

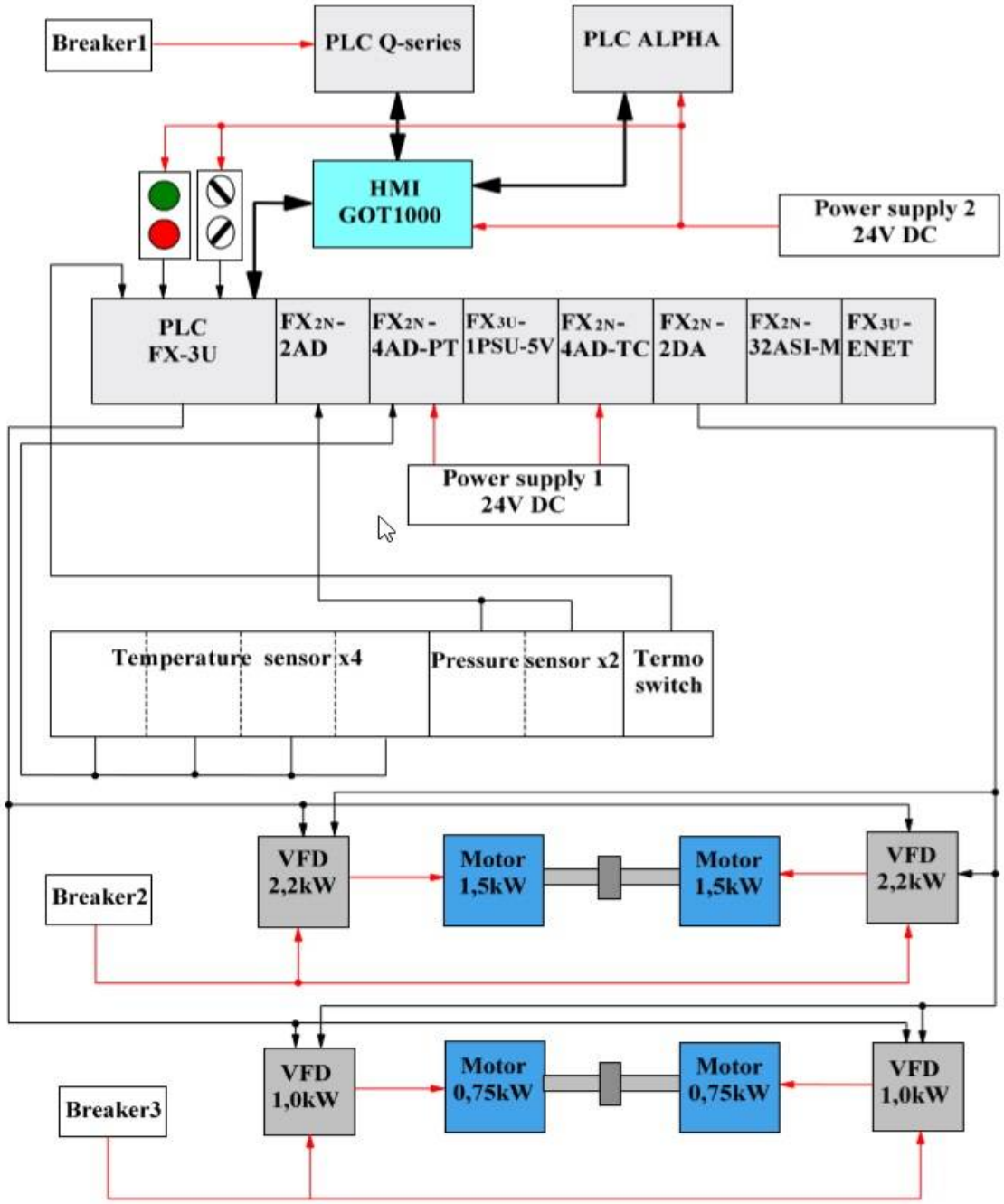


Рисунок 1 – Функціональна схема електромеханічного лабораторного стенду.

2. PLC ALPHA.

Невеликий промисловий програмований контролер ALPHA фірми Mitsubishi, що поєднує в одному корпусі всі необхідні користувачу компоненти: блок живлення, вбудований годинник з календарем, обробку аналогових і цифрових сигналів, маленький дисплей з людино-машинним інтерфейсом (HMI). Мікроконтролери мають 3 модифікації, що розрізняються числом каналів введення/виводу. Це контролери з 6, 8 або 15 каналами цифрового введення і 4, 6 або 9 каналами релейного виводу [7].

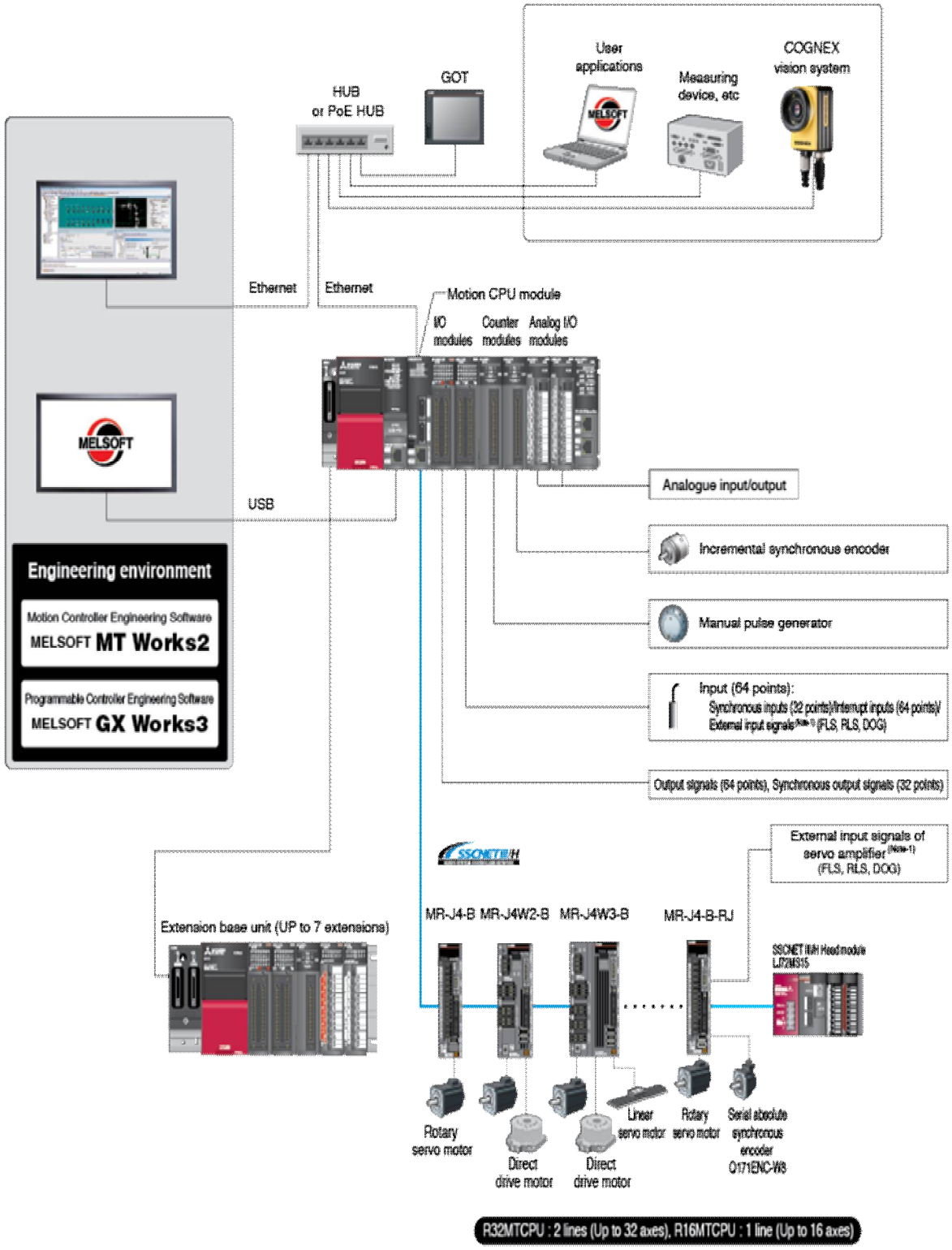


Рисунок 2 – ПЛК серії MELSEC System Q.

3. HMI GOT1000.

Графічні панелі оператора серії GOT1000 є достатньо практичною та наочною серією панелей від фірми Mitsubishi. Їх відрізняє наявність графічного дисплея з великою розв'язною здатністю та сенсорною поверхнею. При товщині панелі всього лише 50мм, це - самі компактні з усіх наявних на ринку панелей

оператора. Зміна стану або введення значень параметрів виконується на них дуже просто. Використаний в серії GOT1000 64-розрядний RISC-процесор скомбіновано з новим розробленим швидкодіючим графічним процесором. Спільно вони забезпечують вражаючу швидкодіючу реакцію панелі на дотик та побудову відповідного зображення.

За допомогою панелі оператора GOT1000 користувач отримує прямий доступ до усіх спеціальних модулів ПЛК серії MELSEC, що надає можливість тестування окремих частин виробничої установки та дозволяє проводити графічний контроль за моніторингом програм. Велика кількість індикаторних приладів, як-то: світлових сигналізаторів, манометрів, аналогових та цифрових вимірювальних інструментів і т.п., може бути представлена у вигляді відповідних графічних об'єктів. Заготовки цілого ряду орієнтованих на практику об'єктів вже зроблені в сумісних з MS Windows® пакетах програмування, що помітно скорочує час створення прикладної програми.

У всіх панелях оператора є вбудований таймер реального часу, парольний захист, а також функції обробки рецептур і аварійних повідомлень. Завдяки підтримці кодування Unicode, GOT1000 дозволяє створювати багатомовні екрани [8].

4. PLC FX3U с модулями розширення.

ПЛК MELSEC серії FX3U є одним із потужних і високопродуктивних в лінійці FX (FX1S, FX3S, FX1N, FX3G). Двох шинна архітектура (шина зліва і шина праворуч базового модуля) контролера дозволяє істотно збільшити його можливості. З правого боку контролера можуть підключатися як розширювальні модулі попереднього покоління (FX0N, FX2N), так і модулі нового покоління серії FX3U. При підключенні модулів FX3U контролер автоматично перемикає свою комутаційну шину на високошвидкісний режим для обміну даними на підвищеній швидкості. Таким чином, використання розширювальних модулів дозволяє збільшувати кількість входів/виходів до 256 (при прямій адресації), а через станції децентралізованого введення/виведення до 384. З лівого боку можуть підключатися тільки високошвидкісні адаптерні модулі FX3U-XXX-ADP, що дозволяють розширювати можливості контролера при роботі з аналоговими сигналами, і/або збільшити кількість додаткових комунікаційних інтерфейсів (RS232/422/485) [9].

До ПЛК FX3U входять наступні модулі розширення:

- FX2N-2AD. 2 аналогові входи струму або напруги;
- FX2N-4AD-PT. 4 аналогові входи для термопар Pt100;
- FX2N-4AD-TC. 4 аналогові входи для термопар К-типу;
- FX2N-2DA. 2 аналогові виходи струму або напруги;

- FX3U-1PSU-5V. Додатковий модуль джерела живлення 5V DC 1A;
- FX2N-32ASI-M. Комунікаційний адаптер для ASI датчиків;
- FX3U-ENET. Комунікаційний модуль для Ethernet.

5. Power supply.

Серія джерел живлення на DIN рейку це вид зовнішніх імпульсних джерел живлення, що виконують вимоги Німецького Інституту Стандартизації, Deutsches Institut für Normung (DIN).

Джерело живлення DR-120-24 від виробника MeanWell є джерелом живлення 24В з універсальним входом від 85 до 264 В AC, потужністю 120Вт/5А. Джерело живлення DR-120-24 стабілізує вихідну напругу. Пристрій живиться від мережі. Прилад має подвійну ізоляцію і не вимагає підключення із заземленням. Електронні компоненти укладені в надійному корпусі. Це запобігає витоку струму. Джерела живлення DR-120-24 оснащені конвекційною системою охолодження, що істотно продовжує термін служби. До переваг даної моделі відносять низьке споживання електроенергії, надійність і функціональність. Коефіцієнт корисної дії становить 84%.

6. Temperature sensors (4 x PT 100). Pressure sensors (2 x Johnson Controls P499RGJS552). Termoswitch.

Температурні датчики з характеристикою PT100 являють собою терморезистор. Опір температурного датчика PT100 змінюється прямо пропорційно його температурі і становить 100 Ом при 0 °С.

Датчики тиску орієнтовані на вимірювання тиску рідин або газів, а також перетворення виміряного тиску в аналоговий сигнал.

Терморегулятор - це пристрій для автоматичного встановлення або підтримання потрібної температури в різних системах автоматизації.

7. VFD Mitsubishi FR-A740-00083-EC (1x2,2 kW), VFD Mitsubishi FR-F840-00052 (1x2,2 kW), VFD Mitsubishi FR-A840-00038 (2x1,5 kW).

Частотні перетворювачі вибрано двох типів: FR-A740 та FR-F840, для дослідження різних законів керування електроприводами. Частотний перетворювач FR-F840 використовується для вентиляторного та насосного типу навантаження з функцією енергоефективного управління [10].

8. Для імітації роботи електроприводів суднових механізмів планується встановлення двох асинхронних машинних агрегатів різної потужності:

- 1,5 кВт – 1,5 кВт;
- 0,75 кВт – 0,75 кВт.

Загальний вигляд лабораторного стенду показано на рис. 4.

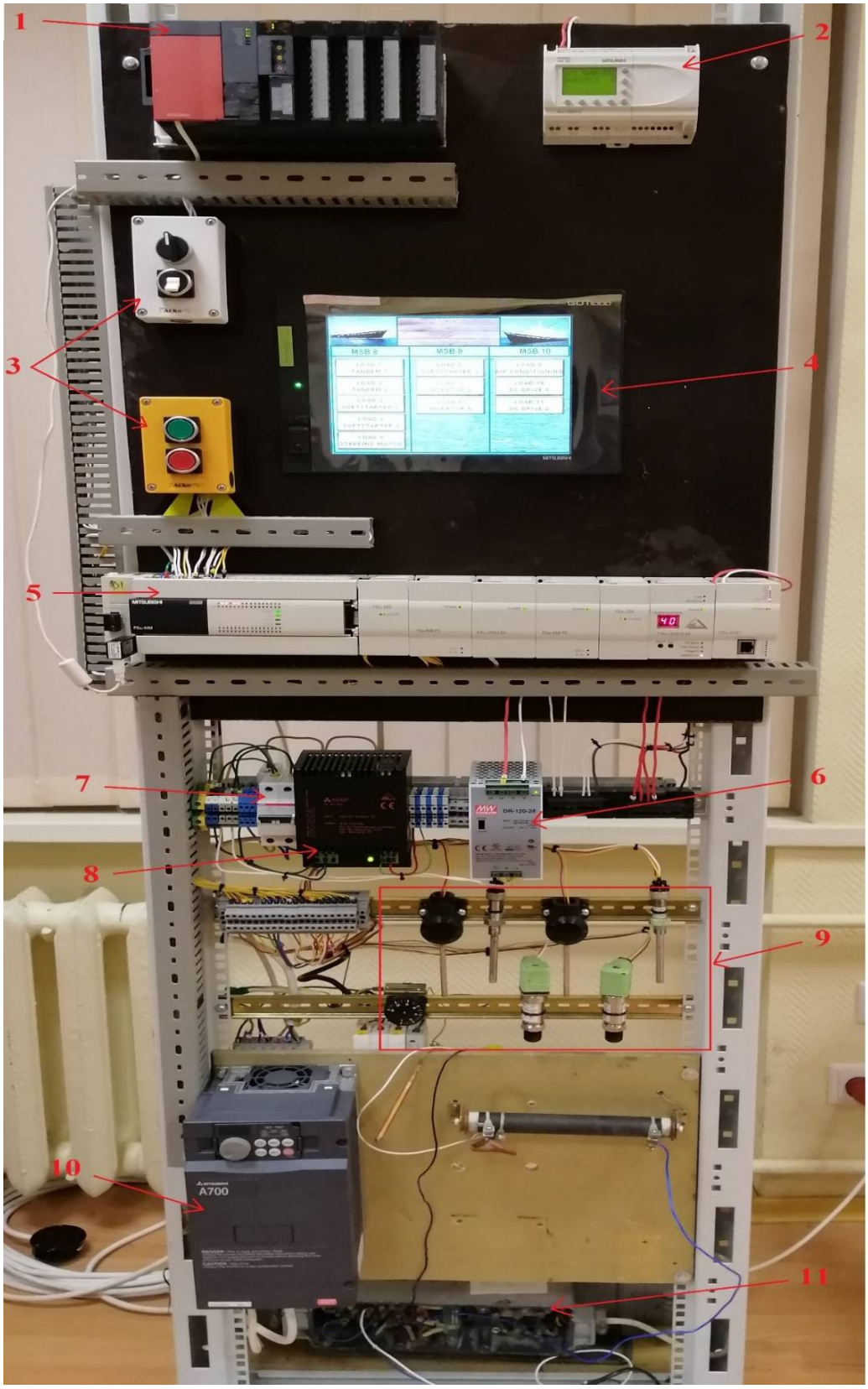
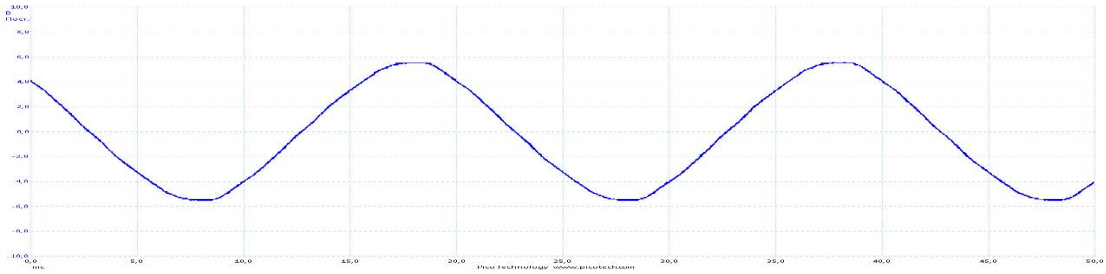
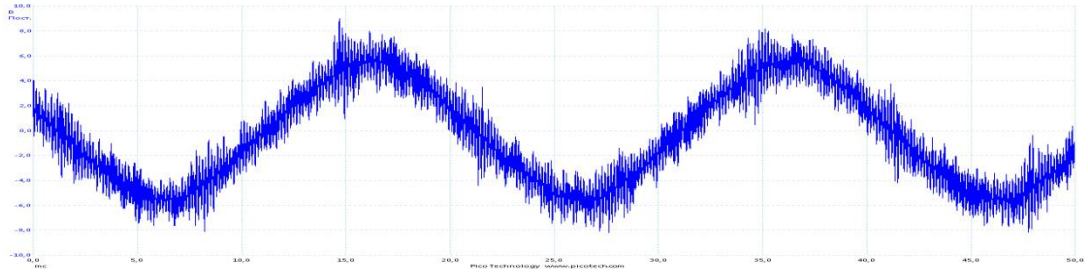


Рисунок 4 – Загальний вигляд електромеханічного лабораторного стенду:
1 – ПЛК серії MELSEC System Q; 2 – ПЛК серії ALPHA; 3 – кнопки управління; 4 – графічна панель оператора серії GOT1000; 5 – ПЛК серії MELSEC FX; 6 та 8 – джерела живлення 24 DC; 7 – автоматичний вимикач; 9 – датчики; 10 – частотний перетворювач FR-A740-00083-EC; 11 – електромашинний підсилювач ЕМП12А А11.

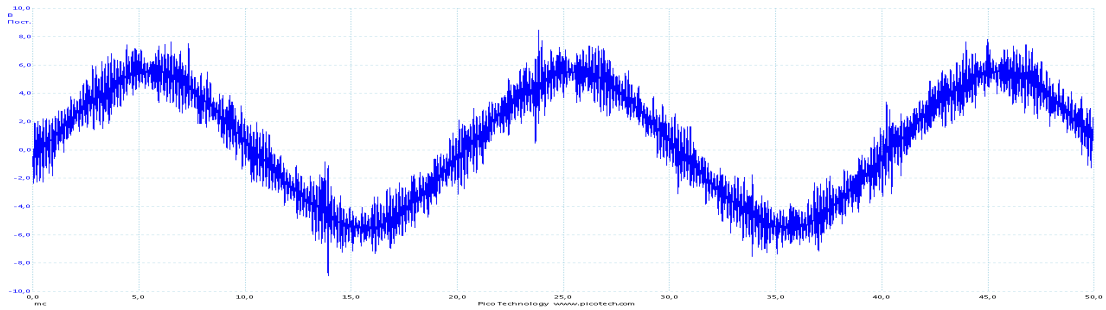
На рис.5 показано осцилограми напруги електромережі при прямому та частотному пусках асинхронного двигуна.



а) – прямий пуск двигуна



б) – частотний пуск двигуна -25 Гц



б) – частотний пуск двигуна -50 Гц

Рисунок 5 – Осцилограми напруги електромережі при пусках двигуна.

Висновки. Електромеханічний лабораторний стенд з використанням сучасного обладнання фірми Mitsubishi Electric дозволяє створювати фізичні моделі суднового електропривода з типовим навантаженням та різними системами управління на базі ПЛК, проводити натурні експерименти для аналізу і оцінки енергоефективності роботи електроприводів та якості електроенергії автономної електромережі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Теплов Ю.И., Шевченко В.А. Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления. Одесса, 2012. – 488 с.: ил.

2. Белов О. А. Судовые электроприводы. Основы теории и динамики переходных процессов. – М.: МОРКНИГА, 2016. – 188 с.

3. Дранкова А.О., М.Й. Муха, С.С. Міхайков, І.І. Красовський. Підвищення якості електроенергії шляхом використання пасивної фільтрації в електромеханічних системах з нелінійним навантаженням // Науково-технічний журнал «Електротехнічні та комп'ютерні системи». – Одеса: Астропрінт, 2018. – №27 (103). – С.118-124.

4. А.О. Дранкова, Н.И. Муха, А.И. Шестака. Лаборатория микроконтроллерного управления и моделирования электромеханических систем// Электротехнические и компьютерные системы. Тема-

тический выпуск: Проблемы автоматизированного электропривода. Научно-технический журнал, №15(91), Издательство «Техника» – Киев. – 2014. – С. 435 - 440.

5. PLC-based ship's electromechanical systems laboratory / M. Mukha, A. Drankova, V. Bousher, A. Shestaka// Proceedings of the 13–th International Conference on the Engine Room Simulators, September, 20-21. – Odessa, Ukraine: National University "Odessa Maritime Academy", 2017. – pp. 183-190.

6. Integrated FA Software GX Works 2 Version 1. Operation Manual. Structured Project; p.252, SN(HA)-080781ENG-K, 09-2011; Mitsubishi Electric Europe B.V., European Business Group, Gothaer Straße 8, D-40880, Ratingen, Germany.

7. Alpha 2. Simple Applications Controllers. Hardware Manual; p.190, Man. No. JY992D97301-H, 03-2008.

8. Graphic Operation Terminal GOT 1000 Series. User's Manual (Extended Functions, Option Function for GT Works 3; P. 864, SH(NA)-080863-ENG-O, 02-2013.

9. MELSEC FX Series. Programmable Controllers FX3U. User's Manual (Hardware Edition); p. 496, Art. No. 168590, 11-2009, JY997D16501, Version G.

10. Mitsubishi Inverters FR-E700. Instruction Manual. FR-E720 SSC EC, FR-E740 SC EC; p. 538, Art. No. 10052011, 05-2011.

УДК 629.5.064.5:502.51

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ З ВПРОВАДЖЕННЯМ СИСТЕМИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ БАЛАСТНИХ ВОД

А.О. Дранкова, к.т.н., доцент
І.І. Красовський, електромеханік
В.Е. Волков, магістр
Д.А. Горбунов, курсант
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *У роботі приведено склад, принцип дії та режими роботи системи знезараження баластних вод GloEn-Patrol™ фірми PANASIA контейнеровоза «Guanzhou Trader» місткістю 1700 контейнерів. Розроблена модель «Суднова електромережа – баластна система» у середовищі MATLAB Simulink. Проведено розрахунок пасивних С-фільтрів для покращення якості електроенергії суднової електромережі. Дана оцінка показників якості електроенергії, а саме коефіцієнтів гармонік та сумарних коефіцієнтів гармонік з напруги та струму суднової електромережі при роботі баластної системи у різних режимах роботи системи знезараження.*

Ключові слова*: показники якості електроенергії, частотний перетворювач, асинхронний двигун, баластний насос, осцилограми напруги та струму, суммарный коэффициент гармонік (THD).*

Згідно Міжнародної Конвенції по контролю суднових баластних вод і опадів та управління ними, яка вступила в силу з вересня 2018 року, всі вантажні судна повинні бути облаштовані системою знезараження баластних вод. Це рішення ІМО було прийнято на підставі зростаючих фактів збитку від появи чужорідних водних організмів у всесвітньому океані. В свою чергу, модернізація вже побудованих суден сучасними системами знезараження баластних вод вносить свої негативні наслідки на якість електроенергії суднової електромережі [1,2].

Система знезараження баластних вод PANASIA's Ballast Water Management System, GloEn-Patrol™ базується на технології механічної грубої очистки забо-

ртної води, а також на технології ультрафіолетової дезінфекції мікроорганізмів [3]. На рис.1 зображено зовнішній вигляд системи знезараження баластних вод, яка включає в себе наступні компоненти:

1. Filter - механічний фільтр, що фільтрує мікроорганізми більш 50мікрон;
2. UV Unit - ультрафіолетова установка, по знезараженню мікроорганізмів менше 50 мікрон;
3. Filter Bypass Value - клапан очищення механічного фільтру;
4. Flow Control Value - клапан регулювання інтенсивності протоку води;
5. BWTS Bypass Value - клапан забору баластної води без системи очищення;
6. Flow meter - датчик контролю протока води;
7. Control panel - панель управління;
8. UV power supply - джерело живлення ультрафіолетової установки;
9. Ballast Pumps - баластні насоси.

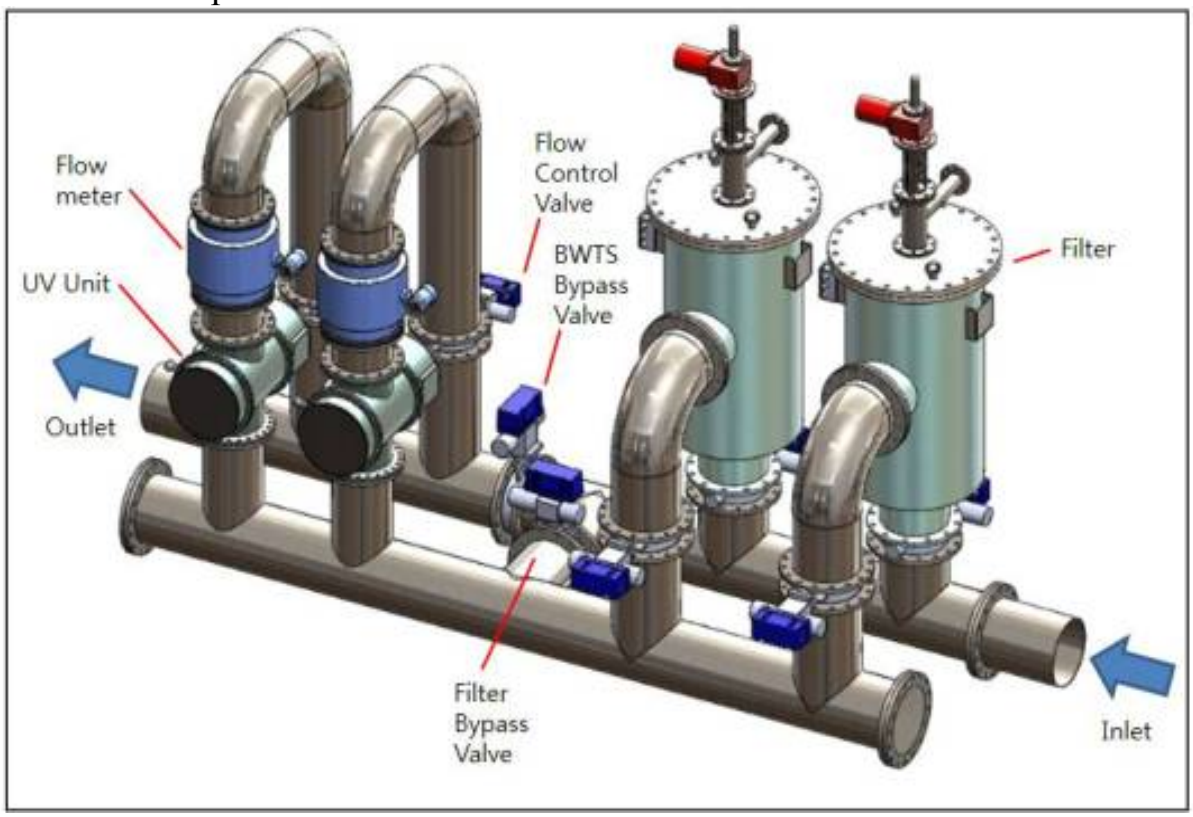


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд системи знезараження баластних вод

Система GloEn-Patrol™ реалізує чотири загальні режими роботи, а саме:

1. Ballast Mode - режим закачування баластної води;
2. De-Ballast Mode - режим викачування баластної води;
3. Bypass Mode - режим закачування або викачування баластної води без використання УФ ламп;
4. Eductor (Stripping) Mode - режим очищення УФ ламп.

На рис.2 зображена загальна схема системи знезараження баластних вод GloEn-Patrol™.

Система GloEn-Patrol™ може бути встановлена на судні будь-якого типу, вона є інваріантною до солоності та температури місцевих забортних вод. Система вимагає мінімальної УФ-інтенсивності для знищення або інактивації організмів. УФ-коефіцієнт пропускання, кут випромінювання і відстань від УФ-джерела впливають на інтенсивність УФ-випромінювання. Також для ефективної роботи системи знезараження, а саме гарантованого знищення мікроорганізмів, важливе значення має швидкість потоку забортних вод. Враховуючи вимоги сучасного суднобудівництва до енергоефективного управління судновими електромеханічними системами пропонується здійснювати частотне управління баластними насосами, а саме з використанням частотного перетворювача FR-F740-03250-NA на 160 кВт фірми Mitsubishi Electric [4].

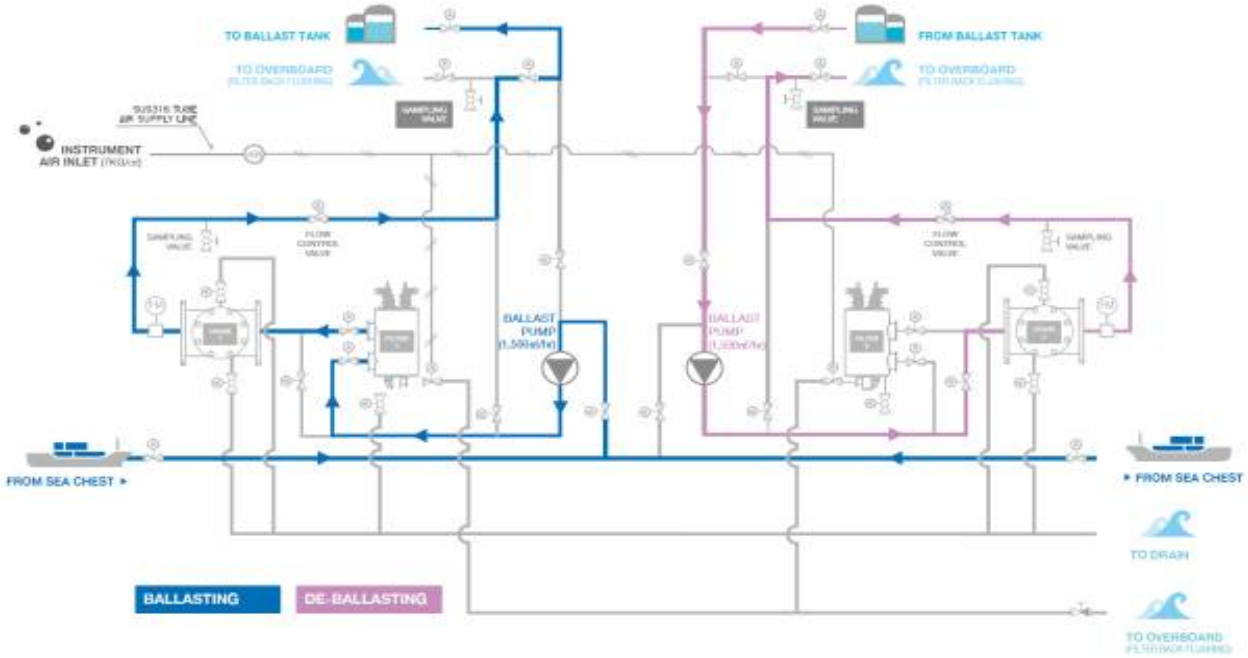


Рисунок 2 – Загальна схема системи знезараження баластних вод.

Для аналізу показників якості електроенергії суднової електромережі була створена комп'ютерна модель «Суднова електромережа – баластна система» у пакеті MATLAB Simulink 16b (рис.3) [5]. До складу комп'ютерної моделі входять наступні блоки:

– трифазне джерело електроживлення з напругою 440 В та частотою 60 Гц;

– трифазний блок індуктивності для задання параметру індуктивності мережі L=0,001 Гн;

– блок перетворювача частоти з векторним управлінням та АД потужністю 132 кВт;

– блоки завдання насосного характеру навантаження;

– блок пасивної фільтрації;

– блок вимірювання імпедансу;

– блоки вимірювання та візуалізації процесів.

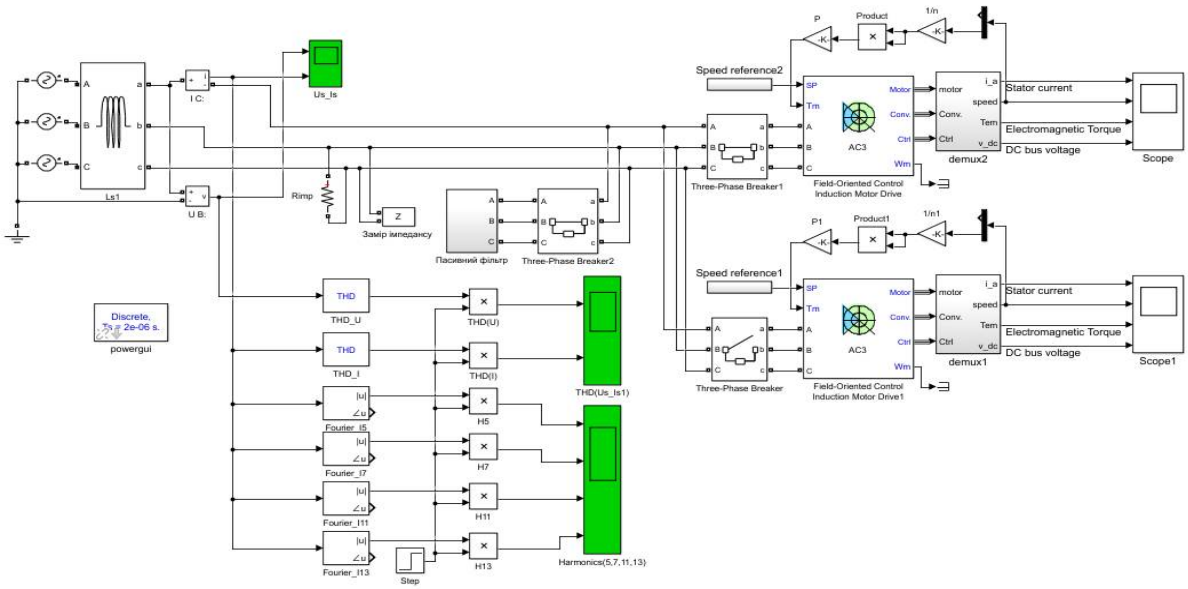


Рисунок 3 – Комп'ютерна модель «Суднова електромережа – баластна система».

При налаштуванні моделі були отримані миттєві характеристики частотного електропривода, а саме струм статора, оберти, електромагнітний момент та напруга ланки постійного струму при 2-х ступеневому регулюванні (рис.4). Аналіз миттєвих характеристик частотного електропривода при ступінчатому змінені швидкості показав спроможність моделі реалізовувати типові режими роботи електропривода насоса баластних вод.

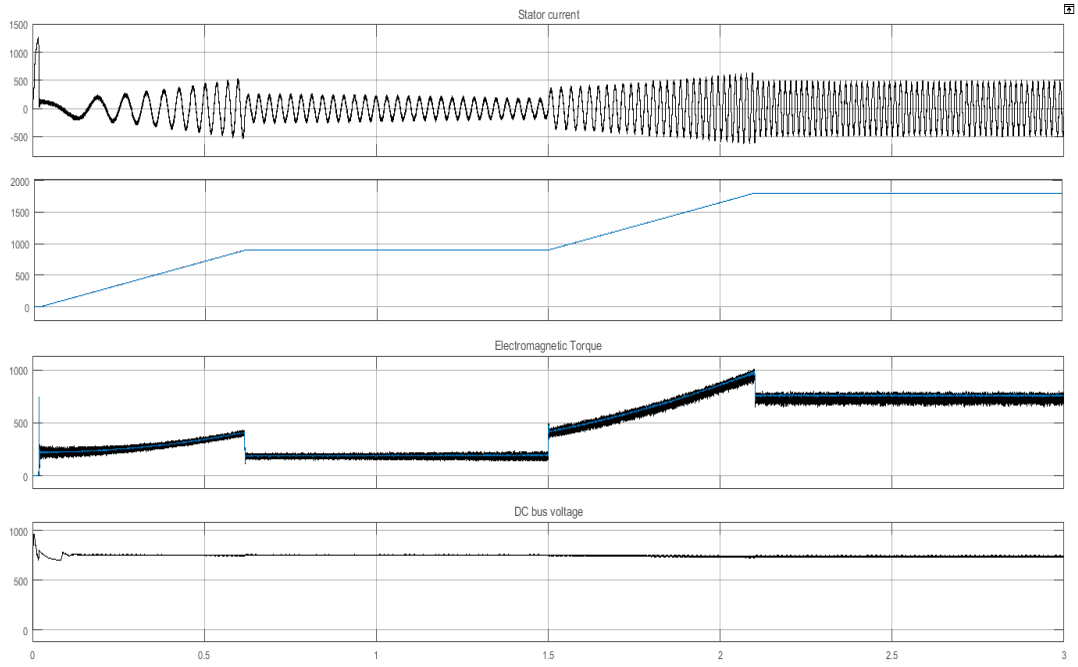


Рисунок 4 – Миттєві характеристики частотного електропривода при ступінчатому змінені швидкості.

При роботі моделі на номінальних обертах 1800 о/хв. отриманні наступні осцилограми напруги (зверху) та струму (знизу) (рис. 5).

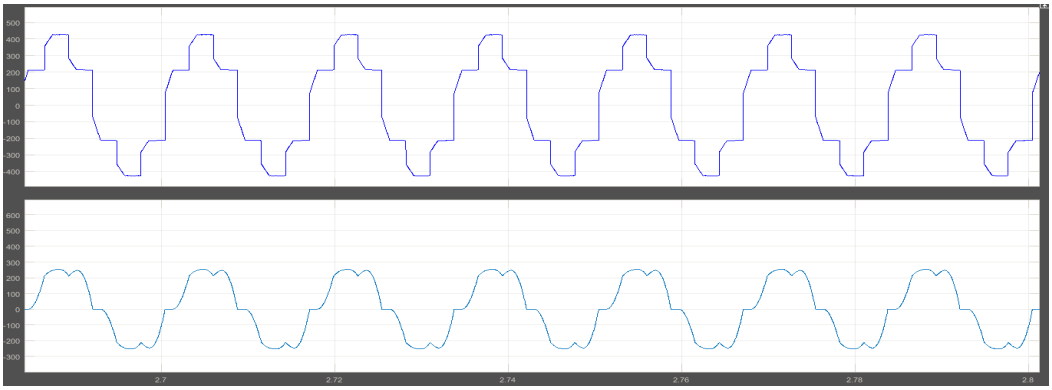


Рисунок 5 – Осцилограми напруги та струму.

Для поліпшення якості електроенергії суднової електромережі використано пасивний фільтр С-типу (рис. 6) для 5-ї, 7-ї, 11-ї, 13-ї гармонік суднової електромережі [6]. Розрахунок проведено з урахуванням наступних параметрів електромережі та фільтра: напруга мережі U= 440 В; частота мережі f = 60 Гц; індуктивність мережі L_S = 1мГн; реактивна потужність фільтра Q_F = 68 кВар; коефіцієнт розподілення гармонік k = 1,3; кратність гармонік n_g = 5,7,11,13 та значеннями їх циклічних частот [7].

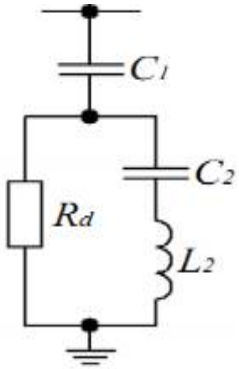


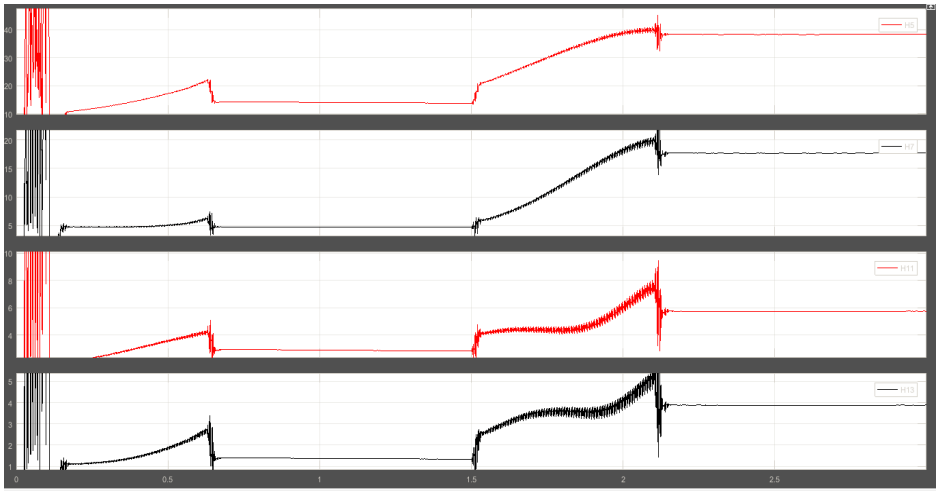
Рисунок 6 – Пасивний фільтр С-типу.

Гармонійний аналіз електромережі показав значне пригнічення непарних гармонік при застосуванні розробленого фільтра С-типу при роботі привода баластного насоса на номінальних обертах (табл. 1).

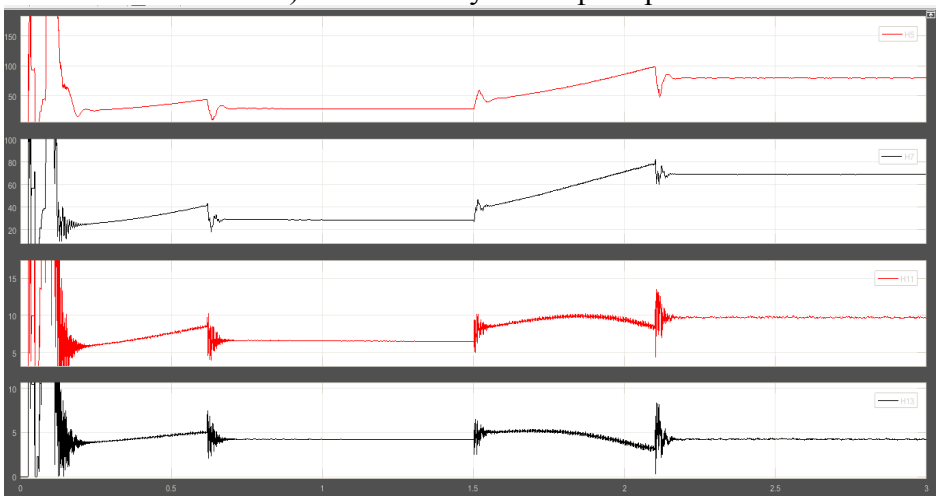
Таблиця 1 – Гармонійний вміст напруги та струму.

№	Частота, Гц	Напруга, вміст, %		Струм, вміст, %	
		без фільтрів	з фільтрами	без фільтрів	з фільтрами
1	60	100	100	100	100
3	180	0,1	0,05	0,27	0,03
5	300	14,63	0,57	19,3	0,22
7	420	7,93	0,69	7,53	0,17
9	540	0,11	0,01	0,08	0,01
11	660	4,25	0,19	2,57	0,04
13	780	4,20	0,14	2,15	0,02

На рис. 7 зображено зміст 5-ї, 7-ї, 11-ї, 13-ї гармонік електромережі при типовій роботі електроприводу баластного насосу на двох швидкостях без застосування фільтрів та з фільтрами.



а) – без застосування фільтрів



б) – з фільтрами

Рисунок 7 – Зміст гармонік при роботі електроприводу баластного насосу.

За допомогою вбудованої функції швидкого перетворення Фур'є (FFT Analysis) розраховані сумарні коефіцієнти гармонік з напруги та струму електромережі (табл.2). Отримані результати підтверджують доцільність використання пасивної фільтрації у всіх режимах роботи баластної системи.

Таблиця 2 – Сумарні коефіцієнти гармонік по напрузі та струму.

THD	Частоти налаштування ПЧ, Гц			
	30		60	
	без фільтрів	з фільтрами	без фільтрів	з фільтрами
$THD_{U,\%}$	25,34	2,35	19,36	1,01
$THD_{I,\%}$	17,67	0,24	21,10	0,30

Висновки. Отриманні результати моделювання демонструють ефективність використання пасивного фільтру С-типу, налаштованого на конкретний судновий електропривод, а саме електропривод насоса баластних вод потужністю 132 кВт з частотним управлінням. Завдяки фільтру вміст вищих гармонік з напруги в середньому зменшується в 25 разів для 5-ї, 11-ї, 13-ї гармонік та 11 разів для 7-ї гармоніки. Пригнічення гармонік струму складає в середньому 75

разів для усіх непарних гармонік. Застосування фільтру С-типу зменшує сумний коефіцієнт гармонік з напруги THD_U до 1% при роботі на першій та до 2,5% при роботі на другій швидкостях. Сумарний коефіцієнт гармонік з струму THD_I теж зменшується до рівня 0,3%. Отримані показники якості суднової електромережі цілком відповідають вимогам морських Класифікаційних Товариств.

ЛІТЕРАТУРА

1. Торский В. Г., Сагайдак А. И., Любченко В. И. Управление балластными водами на судах: учебно-практическое пособие. – Одесса: Астропринт, 2012. – 272 с.

2. Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Теплов Ю.И., Шевченко В.А. Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления. Одесса, 2012. – 488 с.: ил.

3. GloEn-Patrol ™. Ballast Water Management System.Instruction manual. PANASIA CO., LTD. – 2015. – 122 p.

4. Семейство FR. Преобразователи частоты. Mitsubishi Electric Europe B.V. Art. №208363-H, 03-2018. – 136 с.

5. Гоголюк П.Ф. Теорія автоматичного керування: навч. посібник / П.Ф. Гоголюк, Т.М. Гречин. – 2-ге вид., перероб. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 280 с.

6. Дранкова А.О., М.Й. Муха, С.С. Міхайков, І.І. Красовський. Підвищення якості електроенергії шляхом використання пасивної фільтрації в електромеханічних системах з нелінійним навантаженням // Науково-технічний журнал «Електротехнічні та комп'ютерні системи». – Одеса: Астропрінт, 2018. – №27 (103). – С.118-124.

7. Бобало Ю.Я. Математичні моделі та методи аналізу електронних кіл: навч. посібник / Ю.Я. Бобало, Р.І. Желяк, М.Д. Кіселичник, З.О. Колодій, Б.А. Мандзій, В.М. Якубенко; за ред. д-ра техн. Наук, проф. Ю.Я. Бобало та д-ра техн. Наук, проф. Б.А. Мандзія. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 320 с.

СУЧАСНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, КОМПОНЕНТИ ТА ДІАГНОСТИКА

УДК 629.5.064.5

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ СЭУ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕЖИМА

В.С. Михайленко, к.т.н., доцент
М.О. Копилов, курсант
Национальный университет "Одесская морская академия"

Анотація. *Пропонується методика підвищення ефективності роботи САУ об'єктів СЕУ на основі трирівневої системи адаптивного управління локальними контролерами.*
Ключові слова: *система управління, об'єкт СЕУ, адаптація, контролер*

Значительная часть современных судовых систем управления строится по многоуровневому иерархическому принципу [1,2]. Проанализируем трехуровневую систему управления и принятия решений сложным судовым объектом, представленную на рис. 1. Она является типичной для решения задач адаптации и оптимизации многих судовых подсистем управления [3,4].

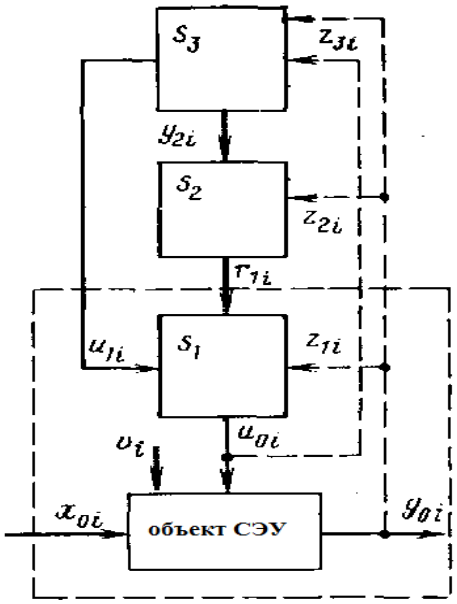


Рисунок 1 – Структурная схема трехуровневой системы адаптивного оптимального управления объектом СЭУ: S_1 – S_3– подсистемы управления (ходовая рубка, ЦПУ, МПУ); x_{0i} – векторы входных параметров; y_{0i} – векторы выходных контролируемых параметров; u_{1i} – векторы изменения закона управления; u_{0i} – векторы, воздействующие на изменение положений регулирующих органов; r_{1i} – векторы, воздействующие на изменение параметров настройки локальных контроллеров нижнего уровня; z_{1i} , – z_{3i} информационные векторы контролируемых параметров; y_{2i} – векторы корректирующих параметров системы управления в ЦПУ; v_i – векторы внешних возмущений на объект управления.

Назначение нижнего уровня S_1 — управление исполнительными устройствами, установленными на объекте управления СЭУ (местный пост управления). Эти функции возлагаются на локальные САР нижнего уровня, которые осуществляют автоматическую стабилизацию контролируемых параметров в соответствии с заданным законом управления. Математическое описание S_1 задается функцией:

$$u_{0i} = f\ (u_{1i}, r_{1i}, z_{1i}),$$

Назначение второго уровня $\boldsymbol{S_2}$ — идентификация параметров объекта и нахождения его математической модели; расчет новых оптимальных значений параметров контроллеров нижнего уровня с целью достижения заданных критериев управления при изменении динамических характеристик объекта СЭУ. Функции второго уровня возлагаются на системы самонастройки (СНС) или адаптации расположенные в ЦПУ. Математическое описание второго уровня задается функцией:

$$r_{1i} = f(y_{2i}, z_{2i},)$$

В ситуациях, когда системой второго уровня не достигаются поставленные задачи, начинает функционировать верхний уровень S_3 – система самоорганизации. Назначение S_3 - коррекция значений критерия управления, использование других методов идентификации и оптимизации, изменение критериев настроечных параметров и законов управления нижних уровней; компьютерная имитация работы САР (системы автоматического регулирования) нижнего уровня с целью определения адекватности модели объекта и проверки оптимальных параметров контроллеров. Математическое описание третьего уровня S_3 — системы самоорганизации задается функцией:

$$u_{1i}, y_{2i} = f(v^i, z_{3i})$$

Вывод: Система самонастройки периодически подключается к непрерывно действующим локальным САР нижнего уровня с целью повышения качества управления объектами, находящимися в длительной и непрерывной эксплуатации. Система осуществляет *дуальное управление,* так как имеет двойное назначение: определение параметров объекта (идентификацию) и управление им (формируют адаптивное оптимальное управляющие воздействия r_i, u_{1i}, u_{2i}). Использование трехуровневой адаптивной системы управления обусловлено тем, что в течение длительного промежутка времени контроллеры работают без учета изменений динамических и статических характеристик объекта управления. Таким образом, в результате этого параметры контроллеров реализующие классические законы управления (П, ПИ, ПД, ПИД), которые были оптимальными при проектировании системы управления или определенном режиме работы агрегата СЭУ или в начальный период его безостановочной эксплуатации, не обеспечивают должного качества регулирования при существенном изменении режима работы объекта управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Качество электрической энергии на судах. Справочник В.Х Шейлихович, О.Н Климанов, Ю.И. Пайкиш, Ю.Я. Зубаров. - Судостроение, 1988 – 160 с
2. В.П Дьяконов MATLAB 6.5 SP1/7 Simulink 5/6. Основы применения Серия “Библиотека профессионала”

УДК 004.896

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ШАГАЮЩЕГО РОБОТА НА БАЗЕ ARDUINO UNO

Ю. В. Курганский, студент
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. в работе рассмотрены вопросы технической реализации шагающего робота: взаимодействие датчиков, двигателей, соответствующие алгоритмы. Приведены разработанные с помощью среды Arduino программы управления сервоприводами, синхронизирующие работу четырех конечностей робота, согласованные с сигналами от датчиков препятствий и звука.

Ключевые слова*:* робот, ARDUINO, датчик, скетч.

В области управления и автоматизации робототехника относится к числу приоритетных направлений. Поэтому в настоящее время исследования в этой области являются актуальными. Современные роботы – это многофункциональные автоматические механизмы, с развитой структурой компонентов, которые отвечают за разнообразные действия. Структура любого робота может быть представлена следующей схемой:

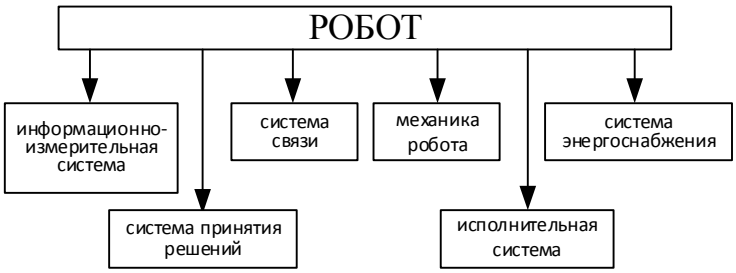


Рисунок 1 – Структура робота

Целью данной работы является создание робота (**Robodog**), способного самостоятельно «шагать» на четырех двухзвенных опорах, останавливаться перед препятствием, реагировать на звук.

При создании самостоятельно ориентирующегося робота необходимо было решить следующие задачи:

- выбрать датчики, которые обязаны точно и надежно определять факторы воздействия, что потребовало понимания физики процессов получения информации датчиками из окружающего пространства;

- предугадать обстоятельства с которыми может столкнуться робот при ориентировании, что необходимо для написания оптимальных поведенческих алгоритмов и выбора конструкции;

- разработать программный код под плату Arduino Uno, объединить в единую систему автоматического управления датчики, двигатели и системы питания для реализации автономной системы управления четырехлапым роботом.

На рис.2 приведена функциональная схема разработанного робота.

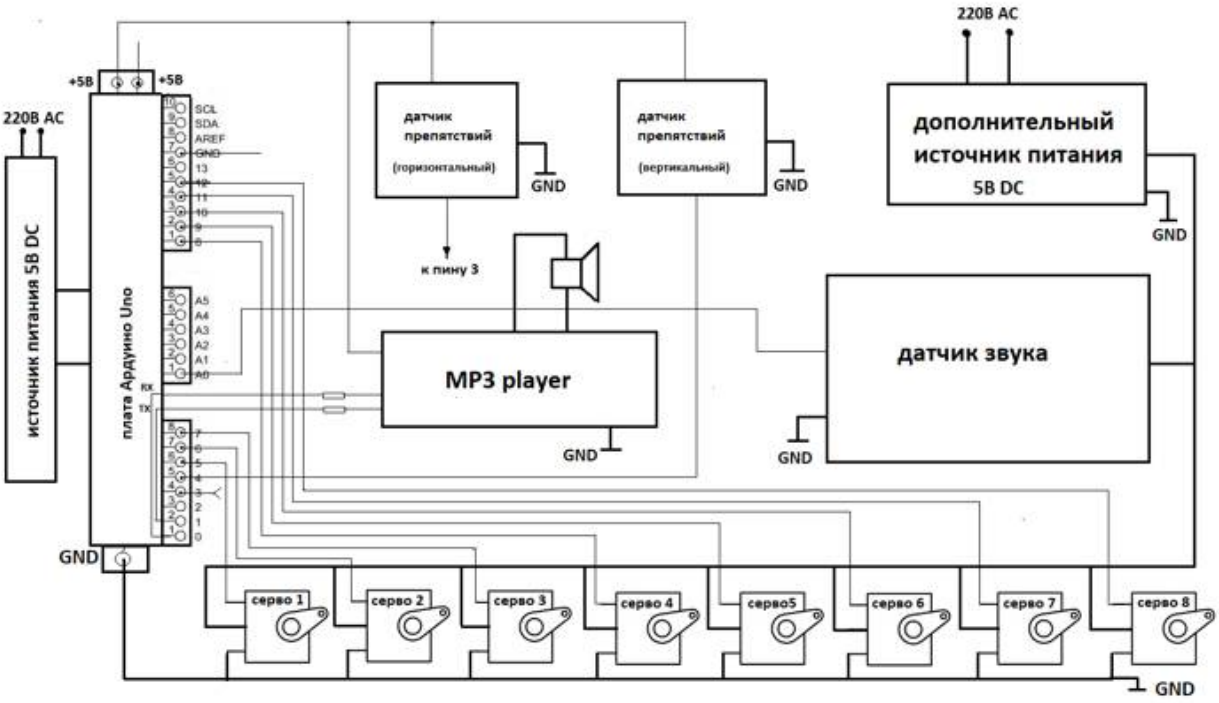


Рисунок 2 – Функциональная схема робота

Робот создан на основе платы Arduino Uno с использованием в качестве движителей 8-ми сервоприводов MG 996 R. В конструкции схемы реализована ограниченная интерактивность робота посредством применения нескольких датчиков: датчика звука, датчиков препятствий (вертикального и горизонтального) и MP3 playera.

Принципиальная электрическая схема робота приведена на рис.3

Информационно-измерительная система робота.

Датчик звука (Sound Detection Sensor) (рис.4) срабатывает на заданный уровень звука. На плате датчика есть переменный резистор, позволяющий регулировать чувствительность электретного микрофона (порог срабатывания). Звук через микрофон подается на операционный усилитель LM393. При подключении датчика звука к аналоговому входу микроконтроллера, АЦП преобразует напряжение на выходе этого датчика в количество импульсов генератора опорной частоты, которое и будет цифровым кодом прописано в скетче (уже другом) микроконтроллера. Обычно это значение изменяется от 200 до 1100.

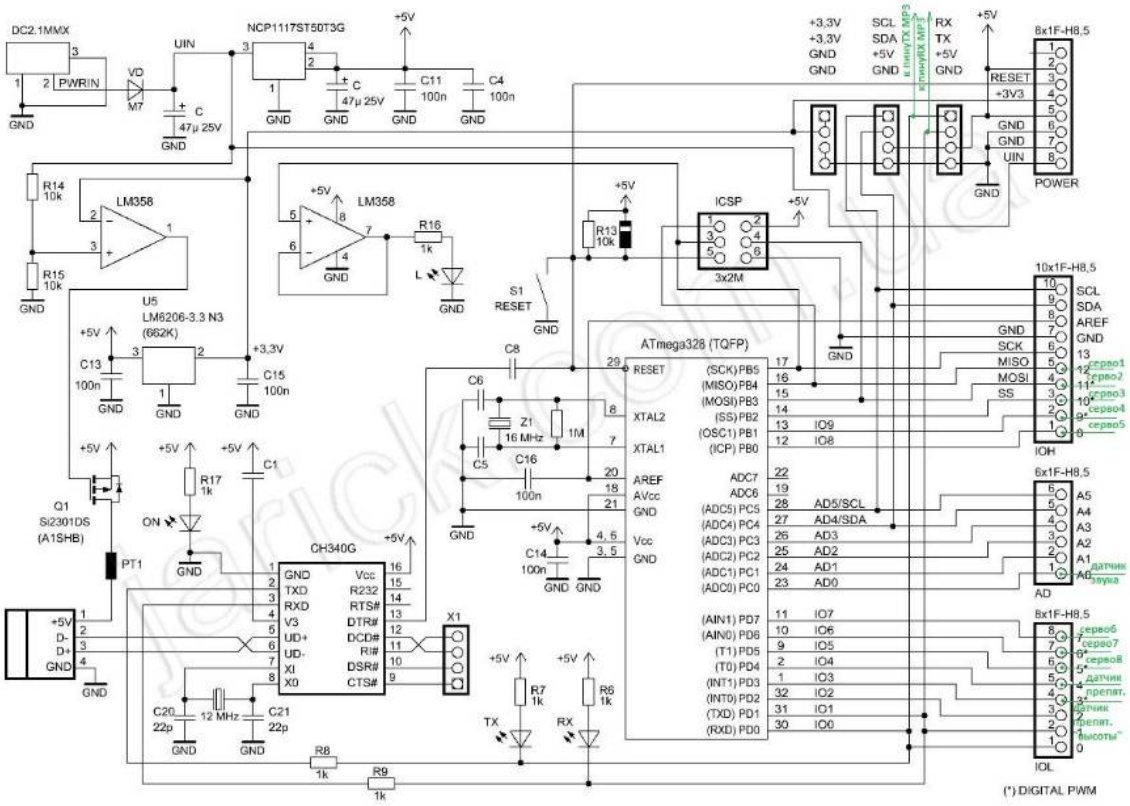


Рисунок 3 – Схема подключения

Рисунок 4 – Датчик звука

Инфракрасный детектор препятствий (Infra Red Obstacle Detector YL-63) (рис.5) работает по известному алгоритму «излучение – отражение – прием». Фототранзистор реагирует на свет отраженный от светодиода, а величина его тока зависит от уровня освещенности. Подстроечным резистором (Distance Adjust) можно изменять пороговый уровень срабатывания датчика и тем самым менять расстояние срабатывания.

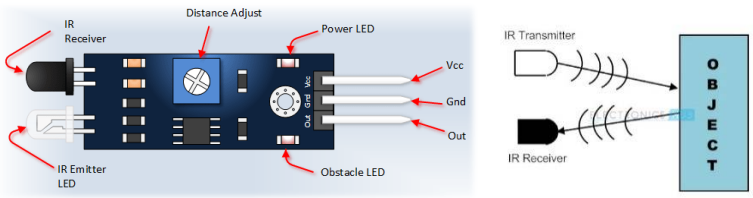


Рисунок 5 – Датчик препятствия

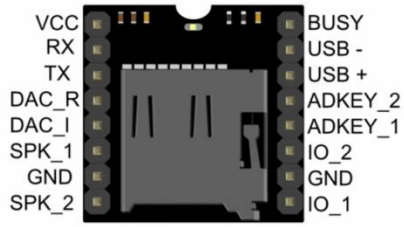


Рисунок 6 – Mini MP3 player

Модуль Mini MP3 player (рис.6) работает с выходным сигналом от встроенного усилителя. Подключение к усилителю осуществляется с помощью вы-

ходов DAC_R и DAC_L, а подключение к динамику напрямую контактами SPK_1 и SPK_2. Выходы RX и TX включены через резистор 1кОм.

Исполнительная система.

Для обеспечения движения четырех двухзвенных опор использовано восемь сервоприводов MG 996 R (рис.7). Сервопривод представляет собой устройство с электродвигателем, которое позволяет добиться точного управления движением модели за счет отрицательной обратной связи по положению.

Механика робота - четыре двухзвенные опоры. Процесс ходьбы робота является результатом симбиоза анатомии робота, правильного ориентирования, расположения механических деталей и программного обеспечения.

Как очевидно процесс ходьбы человека и животных — это перенос центра тяжести из одной точки в другую параллельно поверхности отталкивания. Орган равновесия или вестибулярный анализатор обеспечивает ощущение положения и перемещения тела или его частей в пространстве, а также обусловливает ориентацию и поддержание позы при ходьбе человека и животных. В робототехнике эти функции выполняет гиро-плата или гироскоп+акселерометр. Правильная «анатомия робота» позволила обойтись без применения гироплаты.

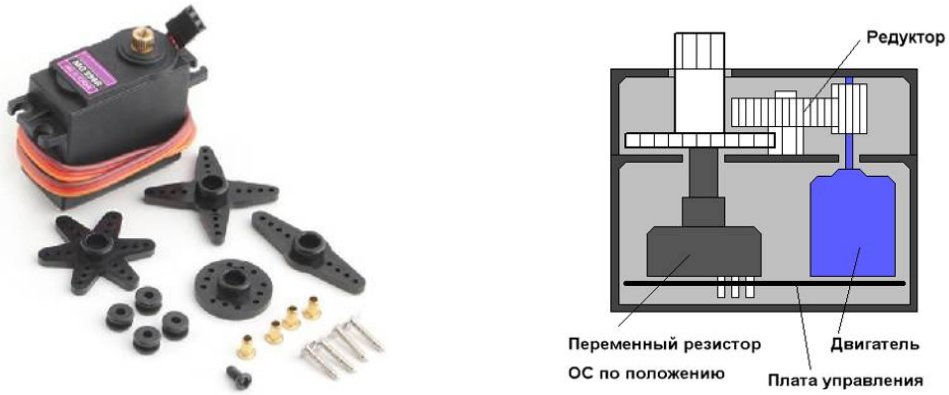


Рисунок 7 – Сервопривод MG 996 R.

Система принятия решений.

Информация, полученная от датчиков, обрабатывается и анализируется контроллером Arduino UNO, который представляет собой не только плату, содержащую микроконтроллер ATmega328P, стабилизаторы питания и контактные площадки для подключения внешних устройств, но и содержит оригинальную программную оболочку, позволяющую относительно легко создавать и модифицировать программы, а также использовать большое количество программных библиотек для подключения датчиков, моторов и других устройств.

В работе были реализованы скетчи для датчика препятствий (рис.8) и Mini MP3 playera (рис.9) а также скетч для управления сервоприводом в режиме “автомат”.

```
void setup() // процедура setup
{
pinMode(13, OUTPUT); // объявляем пин 13 как выход (светодиод)
pinMode(2, INPUT); // объявляем пин 2 как вход ИК датчика
}

void loop() // процедура loop
{

if (digitalRead(2) == HIGH) // когда на пин 2 поступает высокий сигнал
{
digitalWrite(13, HIGH); // зажигаем светодиод
}

if (digitalRead(2) == LOW) // когда на пин 2 поступает низкий сигнал
{
digitalWrite(13, LOW); // выключаем светодиод
}
```

Рисунок 8 – Скетч для датчика препятствий

```
#include <SoftwareSerial.h>      // библиотека для для обмена данными
#include <DFPlayer_Mini_Mp3.h> // подключаем библиотеку для DFPlayer Mini

void setup() // процедура setup
{
    Serial.begin(9600);
    mp3_set_serial(Serial); // включаем передачу данных с DFPlayer mini mp3
    delay(1);                    // задержка в 1ms для установки громкости
    mp3_set_volume(15);        // устанавливаем громкость от 0 до 30
    mp3_set_EQ(0);               // устанавливаем эквалайзер от 0 до 5
}

void loop() // процедура loop
{
    mp3_play(1); // проигрываем файл mp3/0001.mp3
    delay(5000); // задержка 5 секунд

    mp3_next(); // проигрываем следующий файл
    delay(5000); // задержка 5 секунд

    mp3_play(4); // проигрываем файл mp3/0004.mp3
    delay(5000); // задержка 5 секунд

    mp3_prev(); // проигрываем предыдущий файл
    delay(5000); // задержка 5 секунд
}
```

Рисунок 9 – Скетч для Mini MP3 player

Ноги робота движутся по алгоритму: когда правая задняя нога отставляется назад, правая передняя нога выносится вперед, то левые ноги движутся в противоположном направлении. Это позволило управлять всеми 8-ю двигателями по одному и тому же алгоритму:

```
 case pUp:/вращение сустава вперёд/
pos += step;/шаг вращения/
if (pos > pos_max)stand(pDown);/контроль угла перемещения сустава (если заданный угол
достигнут то переходим к вращению назад)/
else {
servo.write(pos);/если заданный угол не достигнут продолжаем вращение/
Serial.println(pos);
}
break;
case pDown:/ вращение сустава назад/
pos -= step;
if (pos < pos_min)stand(pPause);/контроль угла перемещения сустава (если заданный
угол                                    достигнут то переходим к состоянию покоя/
 else {
 servo.write(pos);/если заданный угол не достигнут продолжаем вращение/
```

Как видно из отрывка скетча для реализации процесса ходьбы было использовано объектно-ориентированное программирование с явным выделением состояний («цифровой автомат»). Данный метод разработки программного обеспечения основан на расширенной модели конечных автоматов.

Вот как заданы состояния автомата:

```
public:
 Cl_Sweeper(byte p, unsigned long t1, unsigned long t2, unsigned long t3) 😐 /номер
пина серво, время начальной паузы., время каждого шага вращения, время в состоянии
покоя/
pin(p), offTime(t1) , stepTime(t2), pauseTime(t3) {}
void init () {
servo.attach(pin);/подключаем серво/
stand(pOFF);/начальное состояние серво/
}
```

Состояния для каждого из восьми серводвигателей заданы скетчем:

```
Cl_Sweeper F_L_U(/пин/5,/время выкл./0,/время шага/ 30,/время выкл./100); /передний
левый верхний/
Cl_Sweeper F_L_D(/пин/6,/нач.пауза/0,/время шага/ 30,/время выкл./100);/передний
левый нижний/
Cl_Sweeper B_L_U(/пин/7,/нач.пауза/200,/время шага/ 30,/время выкл./100); /задний
левый верхний/
Cl_Sweeper B_L_D(/пин/8,/нач.пауза/0,/время шага/ 30,/время выкл./100); /задний левый
нижний/

Cl_Sweeper F_R_U(/пин/9,/нач.пауза/0,/время шага/ 30,/время выкл./100); /передний
правый верхний/
Cl_Sweeper F_R_D(/пин/10,/нач.пауза/0,/время шага/ 30,/время выкл./100); /передний
правый нижний/
Cl_Sweeper B_R_U(/пин/11,/нач.пауза/200,/время шага/ 30,/время выкл./100); /задний
правый верхний/
Cl_Sweeper B_R_D(/пин/12,/нач.пауза/0,/время шага/ 30,/время выкл./100); /задний
правый нижний/
```

А условия перехода автомата из одного состояния в другое описываются скетчем:

```
void run() {
if (state == pOFF && mill - past >= offTime) stand(pUp);/контроль времени нач. паузы
и условие перехода к вращению вперёд/
if (state == pUp && mill - past >= stepTime) stand(pUp);/контроль времени шага и
условие перехода к вращению вперёд/
if (state == pDown && mill - past >= stepTime) stand(pDown);/контроль времени шага и
условие перехода к вращению назад/
if (state == pPause && mill - past >= pauseTime) stand(pUp);/контроль времени выкл. и
условие перехода к вращению вперёд/ 😐
```

Система связи - инфракрасный приемник.

Система энергоснабжения - автономная.

Созданная модель шагающего робота показана на рис.10.

Рисунок 10 – Шагающий робот (РОБОДОГ)

Выводы: в работе были рассмотрены ряд вопросов технической реализации шагающего робота: взаимодействие датчиков, двигателей, соответствующие алгоритмы. Исходя из основных характеристик этих устройств была выбрана раздельная схема питания – один источник +5В, питающий Arduino UNO и датчики препятствий, а дополнительный источник +5В для питания платы управления двигателями и сервоприводами. Это позволило избежать нежелательных сбоев из-за снижения напряжения при работе двигателей. Благодаря

среде Arduino, были созданы программы управления сервоприводами, синхронизирующие работу четырех конечностей робота, согласованные также с сигналами от датчиков препятствий и звука. В следующих моделях планируется использование гиро-платы, так как она значительно расширит возможности робота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов В. Г. Электронный автоматы – своими руками. М.: Патриот, 1995.
2. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012.
3. Джон Ловин. Создаѐм робота-андроида своими руками. М.: ДМК-Пресс, 2007.
4. Аппаратная платформа Arduino (http://arduino.ru/About)
5. Хронология робототехники (http://www.myrobot.ru)
6. Мацкевич В. В. Занимательная анатомия роботов. М.: Радио и связь, 1988.
7. Массимо Банци. Arduino для начинающих волшебников. М.: РИД, 2012.
8. Среда разработки Arduino [Электронный ресурс] – URL: http://arduino.ru/Arduino_environment

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ І ЯВИЩ В ЕЛЕМЕНТАХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

УДК 539.3

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ДЕТАЛЯХ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ З ВНУТРІШНІМИ АБО ЗОВНІШНІМИ ТРІЩИНАМИ ПРИ ВІБРАЦІЇ

В.Г. Попов, д-р фіз.-мат. наук, професор
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Розв'язані задачі з визначення коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) для плоских кругових або кільцевих тріщин у скінченних циліндрах при крутильних коливаннях. Методи розв'язання полягають у зведенні задач до розв'язання інтегральних рівнянь Фредгольма другого роду. Отриманий числовий розв'язок цих рівнянь дозволяє запропонувати високоточну наближену формулу для розрахунку КІН.*

Ключові слова: *крутильні коливання, скінченний циліндр, плоска кругова тріщина, зовнішня кільцева тріщина, коефіцієнт інтенсивності напружень*

Енергетичні установки досить часто містять деталі і елементи у вигляді циліндрів. В процесі виготовлення або експлуатації в них можуть виникнути дефекти у вигляді внутрішніх або зовнішніх тріщин. Подібні дефекти спричиняють концентрацію напружень яка в свою чергу може стати чинником руйнування конструкції. Відомо що в умовах динамічного навантаження зокрема вібрації ця концентрація напружень підсилюється.

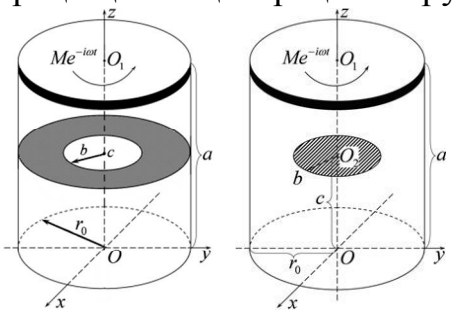


Рисунок 1

Окрім того, можливі резонансні явища при яких руйнування стає практично неминучим. Тому оцінка працездатності і прогнозування руйнування таких деталей енергетичних установок актуальною практично важливою науковою проблемою. У поданій роботі пропонується розв'язання задач визначення напруженого стану у циліндрі з внутрішньою круговою або зовнішньою кільцевою тріщинами в умовах крутильних коливань. Розглядається пружний скінченний круговий циліндр $(0 \le r \le r_0,\ 0 \le z \le a,\ \ 0 \le \varphi < 2\pi)$. Нижній торець циліндра $(z = 0)$ вважається жорстко закріпленим, а верхній зчеплений з жорсткою накладкою товщини h і такого ж самого радіусу. На накладку діє гармонічний в часі момент крутіння $Me^{-i\omega t}$. На висоті $z = c$ у циліндрі паралельно його торцям міститься кругова тріщина з центром на осі циліндра і радіуса $b < r_0$. Або тріщина є кільцевою і займає область $b \le r \le r_0,\ \ 0 \le \varphi < 2\pi$. (Рис.1) Бокова поверхня циліндра і поверхня тріщини вважаються вільними від напружень. Циліндр знаходиться у стані вісесиметричної деформації крутіння і відмінною від 0 буде тільки кутова складова вектора переміщень $W(r,z)$, яка має задовольняти рівняння:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial W}{\partial r}-\frac{W}{r^2}+\frac{\partial^2 W}{\partial z^2}+\kappa_2^2 W=0,\quad \kappa_2^2=\frac{\omega^2}{c_2^2},\quad c_2^2=\frac{\rho}{G}, \tag{1}$$

де ω - частота коливань, ρ, G - густина і модуль зсуву матеріалу циліндру. Тут і надалі множник $e^{-i\omega t}$, що визначає залежність від часу опущений. З умов на торцях циліндра випливають рівності

$$W(r,a)=\alpha\cdot r,\quad W(r,0)=0,\quad 0\le r\le r_0. \tag{2}$$

де α - невідомий кут повороту накладки під дією прикладеного моменту M, який визначається з рівняння руху накладки

$$-\omega^2 j_0\alpha=M-M_R,\quad M_R=2\pi\int_0^{r_0} r^2\tau_{\varphi z}(r,a)\,dr, \tag{3}$$

де j_0 - момент інерції накладки, M_R - момент реакції з боку циліндра. Відповідно з умов на бічній поверхні і на поверхні тріщини отримуємо

$$\tau_{\varphi r}(r_0,z)=Gr\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{W}{r}\right)\Big|_{r=r_0}=0,\quad 0\le z\le a \tag{4}$$

$$\tau_{\varphi z}(r,c)=G\left(\frac{\partial W}{\partial z}\right)_{z=c}=0,\ 0\le r\le b, \tag{5}$$

$$\tau_{\varphi z}(r,c)=G\frac{\partial W}{\partial z}\Big|_{z=c}=0,\quad r\in[b,r_0] \tag{6}$$

Задачу (1)-(4), (5) зведено до інтегрального рівняння Фредгольма другого роду відносно допоміжної функції, зв'язаної з невідомим розкриттям тріщини. А задачу (1)-(4), (6) до аналогічного рівняння відносно функції пов'язаної з невідомими напруженнями в площині розташування тріщини. Знайдений числовий розв'язок цих рівнянь дозволив отримати високоточну наближену формулу для обчислення КІН.

В результаті аналізу числових результатів, отриманих цим методом, встановлено:

1. Наявність зовнішньої або внутрішньої тріщини змінює значення резонансних частот циліндру і вони є іншими ніж у циліндра без тріщини;

2. Збільшення відношення між висотою та радіусом циліндру приводить до зменшення частоти першого резонансу;

3. При зростанні відносного радіуса внутрішньої тріщини і наближення його до 1 у КІН з'являються додаткові резонансні максимуми.

4. При збільшенні відносного радіуса внутрішньої тріщини спостерігається зростання значення КІН у дорезонансній зоні частоти.

5. Для незмінних розмірів циліндра та зменшенні внутрішнього радіуса зовнішньої тріщини збільшується значення КІН у до резонансній зоні і зменшується значення частоти першого резонансу.

УДК 539.3

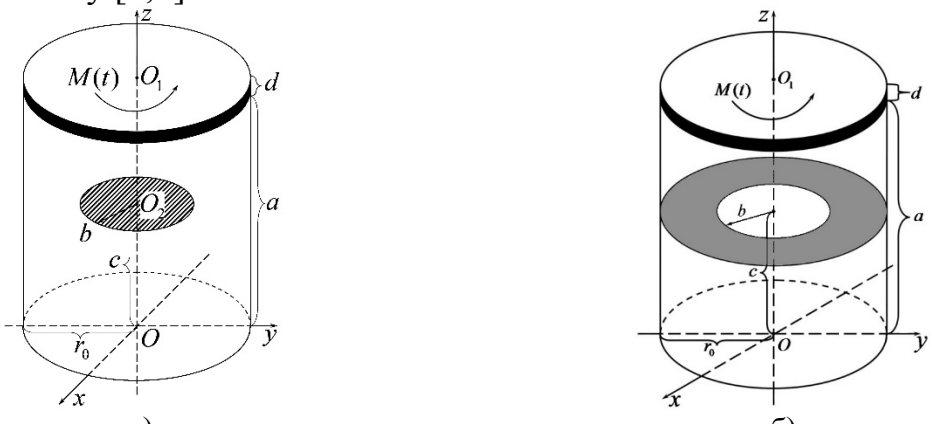
МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ДЕТАЛЯХ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ З ВНУТРІШНІМИ І ЗОВНІШНІМИ ТРІЩИНАМИ ПРИ РАПТОВОМУ НАВАНТАЖЕННІ.

О. В. Демидов, асистент
В. Г. Попов, д-р фіз.-мат. наук, професор
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Розв'язані вісесиметричні динамічні задачі про визначення напруженого стану в околі кругової та кільцевої тріщин у скінченному циліндрі, джерелом навантаження є абсолютно жорстка кругова накладка, яка зчеплена з одним з торців циліндру і до якої прикладений крутний момент, який змінюється за часом. На відміну від традиційних методів розв'язання, які ґрунтуються на застосуванні інтегрального перетворення Лапласа, запропонований метод полягає у різницевому наближенні похідної за часом. В результаті вихідна задача замінюється послідовністю однорідних граничних задач, інтегральне подання розв'язку яких зводиться до інтегрального рівняння Фредгольма другого роду, числовий розв'язок якого, дозволив отримати наближену формулу для обчислення КІН.*

Ключові слова*: коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН), вісесиметрична динамічна задача, скінченні різниці за часом, скінченний циліндр, кругова тріщина, кільцева тріщина, крутний момент.*

Багато елементів машин і конструкцій мають циліндричну форму. Наявність в них дефектів, наприклад, тріщин, суттєво знижує їх експлуатаційні характеристики і може привести до руйнування. В умовах динамічного навантаження особливо небезпечним є перехідний період. Тому дослідження розподілу напружень в циліндричних тілах с тріщинами за динамічного навантаження є важливою задачею. У даній роботі розв'язані задачі про визначення коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) в околі плоских кругової та кільцевої тріщин у скінченному циліндрі за умови дії нестаціонарного крутного навантаження. До цього такі задачі розглядалась лише у стаціонарній постановці [1] і для гармонічного моменту [2,3].



а) б)

Рис. 1 – Циліндр з тріщиною: а) круговою; б) кільцевою.

Розглядається скінченний пружний циліндр з ізотропного матеріалу висотою a і радіусом r_0. З циліндром пов'язана циліндрична система координат,

центр якої співпадає з центром нижньої основи. Нижня основа вважається нерухомою, а з верхньою зчеплена жорстка накладка товщиною d і того ж радіусу, що і циліндр. До накладки у початковий момент часу $t=0$ прикладений момент $M(t)$. На висоті $z=c$ у середині циліндра паралельно його торцям міститься тріщина, центр якої знаходиться на осі циліндра і яка займає область $r \le b, 0 \le \varphi < 2\pi$ у випадку внутрішньої кругової тріщини (рис. 1а) або - $b \le r \le r_0,\ 0 \le \varphi < 2\pi$ у випадку зовнішньої кільцевої тріщини (рис. 1б).

Бічна поверхня циліндра і поверхня тріщини вважаються вільними від напружень. За цих умов циліндр перебуває у стані вісесиметричної деформації крутіння й відмінним від 0 буде тільки кутове переміщення $w(r,z,t)$, яке задовольняє рівнянню

$$\frac{\partial^2 w}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial w}{\partial r}-\frac{w}{r^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}=\frac{1}{c_2^2}\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \tag{1}$$

з нульовими початковими умовами.

На торцевих поверхнях циліндра виконуються рівності:

$$w(r,0,t)=0,\ w(r,a,t)=\alpha(t)r, \tag{2}$$

де $\alpha(t)$ - невідомий кут повороту жорсткої накладки, який визначається з рівняння:

$$j_0\ddot{\alpha}=M(t)-M_R(t),\ j_0=\frac{r_0^2 m_n}{2},\ M_R(t)=2\pi\int_0^{r_0} r^2\tau_{\varphi z}(r,a,t)dr, \tag{3}$$

де j_0 - момент інерції накладки відносно осі, $M_R(t)$ - момент сил реакції, які діють на накладку з боку циліндра.

Граничні умови на бічній поверхні і поверхні тріщин формулюються наступним чином:

$$\tau_{\varphi r}(r_0,z,t)=Gr\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{w}{r}\right)\Bigg|_{r=r_0}=0,\ 0\le z\le a,\ t\in(0,+\infty), \tag{4}$$

$$\tau_{\varphi z}(r,c,t)=G\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)\Bigg|_{z=c}=0,\ 0\le r\le b,\ t\in(0,+\infty), \tag{5}$$

$$\tau_{\varphi z}(r,c,t)=G\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)\Bigg|_{z=c}=0,\ b\le r\le r_0,\ t\in(0,+\infty). \tag{6}$$

Для розв'язання початково-крайових задач (1)-(4), (5) і (1)-(4), (6) застосовано підхід, який ґрунтується на різницевій апроксимації тільки похідних за часом і детально викладений у [4]. Цей підхід дозволив звести задачі до послідовності крайових задач для однорідного рівняння Гельмгольца. Ці задачі були зведені до інтегрального рівняння Фредгольма другого роду відносно функції, яка пов'язана з невідомим стрибком переміщень (для випадку внутрішньої кругової тріщини) або з невідомими напруженнями (у випадку зовнішньої кільцевої тріщини) в площині тріщини.

Для наближеного розв'язку інтегрального рівняння був застосований методо коллокацій. Це дозволило отримати формули для розрахунку КІН. За допомогою цих формул було проведено числове досліджено впливу різних видів

навантаження, маси накладки та геометричних параметрів циліндру на значення КІН за часом.

Висновки. Аналіз числових результатів дозволив зробити наступні висновки:

1. Максимум значень КІН спостерігається під час перехідного процесу. При раптовому прикладенні постійного навантаження, цей максимум у 2–2,5 рази перевищує статичне значення КІН. При раптовому прикладення гармонічного навантаження максимум КІН теж значно перевищує значення, яких він набуває за усталених коливань, за відсутності резонансу. Отже, найбільш ймовірно, що руйнування циліндра відбудеться під час перехідного періоду.

2. Збільшення відносної довжини циліндра призводить до зменшення значення КІН і зменшення часу перехідного процесу

3. При наближенні тріщини до навантаженого торця циліндра спостерігається збільшення значень КІН.

4. У разі збільшення відносного радіуса тріщини відбувається збільшення значень КІН.

ЛІТЕРАТУРА

1. Попов П.В. Задача про кручення скінченного циліндра з кільцевою тріщиною // Машинознавство. 2005. № 9. P. 15–18.

2. Popov V.H. Torsional oscillations of a finite elastic cylinder containing an outer circular crack // Mater. Sci. 2012. Vol. 47, № 6. P. 746–756.

3. Попов В.Г. Напряженное состояние конечного упругого цилиндра с круговой трещиной при крутильных колебаниях // Прикладная Механика. 2012. Vol. 48, № 4. P. 86–93.

4. Savruk M.P. New method for the solution of dynamic problems of the theory of elasticity and fracture mechanics // Mater. Sci. Kluwer Academic Publishers-Plenum Publishers, 2003. Vol. 39, № 4. P. 465–471.

УДК 539.3

МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ОКОЛІ ТРІЩИНИ НА ПРОДОВЖЕННІ ЖОРСТКОГО ВКЛЮЧЕННЯ В УМОВАХ ВІБРАЦІЇ

В. Г. Попов, д-р фіз.-мат. наук, проф.
А. С. Мішарін
Національний університет «Одеська морська академія»

Аннотація. *Розв'язана задача визначення динамічних КІН для тріщини і включення, які виходять з однієї точки, в умовах вібрації.* Коливання відбуваються внаслідок дії на береги тріщин зсувного гармонічного навантаження. Вихідна задача приведена до розв'язання системи двох сингулярних інтегральних рівнянь з нерухомими особливостями. Для наближеного розв'язання цієї системи запропоновано числовий метод, який враховує справжню асимптотику невідомих функцій і використовує спеціальні квадратурні формули для сингулярних інтегралів.

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

Сучасні елементи енергетичних установок досить часто містять конструктивні елементи або технологічні дефекти, які можна розглядати як тонкі включення великої жорсткості. Армуючі елементи композитних матеріалів теж можуть являти собою тонкі жорсткі включення. Але як показують дослідження [1], тонкі жорсткі включення спричиняють значну концентрацію напружень у навколишньому середовищі, яка може призвести до утворення тріщин на його продовженні. Задачі з визначення напруженого стану в околі складних дефектів розв'язувались, як правило, у статичній постановці і для випадку прямолінійних дефектів в роботах [2–5]. Задачі з визначення напруженого стану навколо дефектів, що являють собою тонке включення, від краю якого під деяким кутом відходить тріщина, майже не розв'язувались. Метою цієї роботи є дослідження напруженого стану біля тріщини, що відходить від включення під час дії хвилею поздовжнього зсуву (рис. 1.).

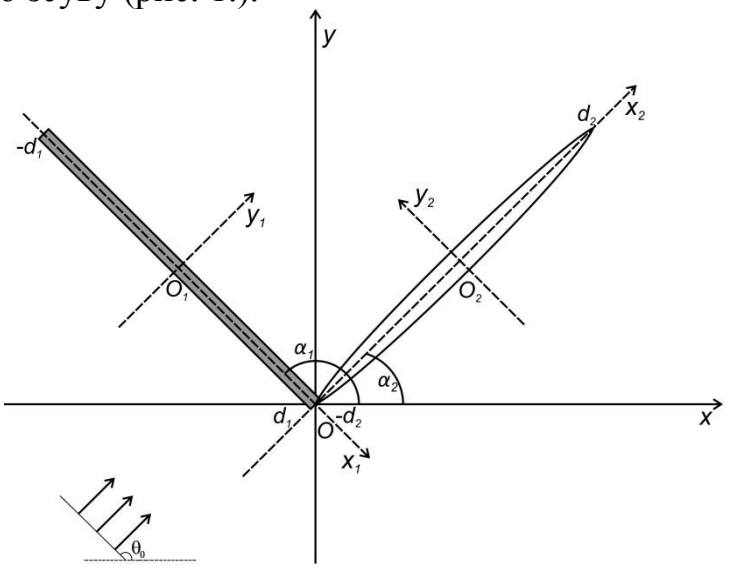


Рисунок 1 – Включення, від краю якого відходить тріщина

Розглянемо подібну задачу для ізотропного тіла в якому міститься наскрізний дефект у вигляді смугового включення від краю якого під деяким кутом відходить тріщина (рис. 1). В площині Oxy цей дефект займає відрізки $2d_l$ і утворюють з віссю Ox кути α_l, $l = 1,2$. З дефектами взаємодіє плоска хвиля поздовжнього зсуву, яка викликає в тілі наступні переміщення уздовж осі Oz:

$$W_0(x,y) = Ae^{i\kappa_2(x\cos\theta_0 + y\sin\theta_0)},\ \kappa_2^2 = \frac{\rho\omega^2}{G} \qquad (1)$$

ω - частота коливань; ρ, G - густина і модуль зсуву тіла, θ_0 - кут між напрямком поширення хвилі і віссю Ox.

За таких умов тіло знаходиться в умовах антиплоскої деформації і єдина відмінна від нуля z - компонента вектора переміщень задовольняє рівнянню Гельмгольца:

$$\Delta W + \kappa_2 W = 0.$$

Для формулювання граничних умов на дефекті з включенням і тріщиною пов'язуються локальні системи координат (рис. 1). Граничні умови на тріщині

сформульовані виходячи з того, що її поверхня вважається незавантаженою, а між включенням і оточуючим середовищем реалізовані умови ідеального зчеплення.

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

$$\begin{cases} \frac{1}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_1(\tau)\left[\frac{1}{\tau-\varsigma}+R_1(\tau,\varsigma)\right]d\tau-\frac{\sin\beta}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_2'(\tau)g_2(1+\tau,1-\varsigma)d\tau- \\ -\frac{1}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_2(\tau)R_2(\tau,\varsigma)d\tau=f_1(\varsigma), \\ \frac{1}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_2'(\tau)\left[\frac{1+\tau}{(\tau-\varsigma)(1+\varsigma)}+R_3(\tau,\varsigma)\right]d\tau+\frac{\kappa_0^2\gamma_2^2}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_2(\tau)\left[\ln|\tau-\varsigma|+\right. \\ \left.+R_4(\tau,\varsigma)\right]d\tau-\frac{\sin\beta}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_1(\tau)\left[g_1(1-\tau,1+\varsigma)+R_5(\tau,\varsigma)\right]d\tau=f_2(\varsigma), \\ \frac{1}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_1(\tau)\left[\ln|1+\tau|+R_6(\tau)\right]d\tau+\frac{\gamma_2^2\sin\beta}{\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_2(\tau)R_7(\tau)d\tau=f_3. \end{cases} \quad (2)$$

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

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

Як можна бачити сингулярна складова системи (2) містить нерухомі особливості при $\tau=\pm1,\zeta=\pm1$. Це визначає наступний вигляд для невідомих функцій

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

де степеневий показник знаходяться за формулою

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

Далі невідомі функції $\psi_l(\tau)$ наближаються інтерполяційними многочленами. Така апроксимація дає можливість отримати для сингулярних інтегралів спеціальні квадратурні формули і застосувати до (2) метод колокації. Отримано формули для розрахунку КІН для тріщини і включення, досліджено вплив на їх значення кутів між включенням і тріщиною і частоти падаючої хвилі. В цілому, внаслідок складності хвильового поля, створеного відбиттям хвиль від дефекту, залежність КІН від частоти має істотні максимуми, на величину і положення яких впливає конфігурація дефекту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сулим Г. Т. Основи математичної теорії термопружної рівноваги деформівних твердих тіл з тонкими включеннями. Львів: Дослід.–видав. центр НТШ, 2007. 716 с.
2. Бережницкий Л. Т., Панасюк В. В., Стащук Н. Г. Взаимодействие жестких линейных включений и трещин в деформируемом теле. Киев: Наук. думка, 1983. 288с.
3. Бережницкий Л. Т., Стащук Н. Г. Коэффициенты интенсивности напряжений около трещины на продолжении линейного жесткого включения. *Докл. АН УССР*. Сер. А. 1981. №11. С. 30–46.
4. Бережницкий Л. Т., Стащук Н. Г, Громяк Р. С. К определению критического размера макротрещины, возникающей на продолжении линейного жесткого включения. *Проблемы прочности.* 1989. № 2. С. 68–71.
5. Акопян В. Н., Амирджанян А. А. Напряженное состояние полуплоскости с выходящим на границу абсолютно жестким включением и трещиной. *Изв. НАН Армении. Механика*. 2015. Т. 68 №1. С.25–36.

УДК 539.3

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ДЕТАЛЯХ У ВИГЛЯДІ ЦИЛІНДРІВ ДОВІЛЬНОГО ПЕРЕРІЗУ ПРИ НАЯВНОСТІ ТРІЩИНИ В УМОВАХ ВІБРАЦІЇ

О.І. Кирилова, кандидат фіз.-мат. наук
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Розв'язано задачу по визначенню напруженого стану поблизу тріщини в нескінченному циліндрі довільного перерізу при коливаннях в умовах плоскої деформації. Отримано наближені формули для розрахунку коефіцієнтів інтенсивності напружень, за допомогою яких досліджено вплив на їх значення частоти коливань, геометричних розмірів циліндра а також розташування тріщини.*

Ключові слова: *циліндр довільного перерізу, плоска деформація, тріщина, КІН.*

Попередні результати у напрямку дослідження напруженого стану обмежених тіл з дефектами переважно стосувались необмежених та півобмежених тіл з тріщинами або тонкими включеннями [1-3]. Вони є актуальним як для встановлення умов руйнування тіл через оцінку коефіцієнтів інтенсивності динамічних напружень в околі включень, так і діагностики таких дефектів, виходячи з інформації про їх вплив на резонансні частоти [4]. Випадків, коли тіла займають обмежену область, розглянуто значно менше. Це пов'язано з тим, що при застосуванні методу граничних інтегральних рівнянь вихідні задачі зводяться до зв'язаних систем інтегральних рівнянь, заданих і на поверхні дефектів, і на межі тіла [5-6]. Далі запропоновано підхід, що дозволяє окремо розв'язувати інтегральні рівняння на поверхні тріщини та задовольняти умови навантаження на межі тіла.

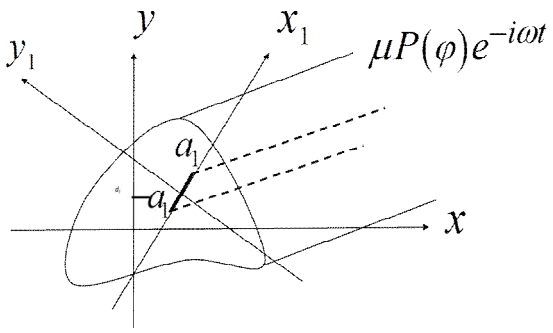


Рисунок 1 – Нескінченний циліндр довільного перерізу з наскрізною тріщиною.

Розглядається нескінченний пружний циліндр з твірними, паралельними осі Oz (Рис.1), який знаходиться в умовах плоскої деформації. Переріз циліндра площиною xOy являє собою область, обмежену довільною замкненою гладкою кривою $r_0(\varphi)=r_0\psi_0(\varphi)$, $0\le\varphi<2\pi$. У циліндрі міститься тунельна тріщина, яка у площині xOy не виходить за межі перерізу. Поверхня циліндра знаходиться під дією самозрівноваженого нормального до неї гармонічного навантаження $\mu P(\varphi)e^{-i\omega t}$. Множник $e^{-i\omega t}$ всюди далі опущений. За таких умов в циліндрі реалізовано стан плоскої деформації і визначенню підлягають дві компоненти переміщень u_r, u_φ, що задовольняють рівнянням руху для гармонічних коливань:

$$\begin{aligned}&\mu\left(\Delta u_r-\frac{u_r}{r^2}-\frac{2}{r^2}\frac{\partial u_\varphi}{\partial\varphi}\right)+(\lambda+\mu)\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(ru_r)+\frac{1}{r}\frac{\partial u_\varphi}{\partial\varphi}\right)+\rho\omega^2u_r=0;\\&\mu\left(\Delta u_\varphi-\frac{u_\varphi}{r^2}+\frac{2}{r^2}\frac{\partial u_r}{\partial\varphi}\right)+(\lambda+\mu)\frac{\partial}{\partial\varphi}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(ru_r)+\frac{1}{r}\frac{\partial u_\varphi}{\partial\varphi}\right)+\rho\omega^2u_\varphi=0.\end{aligned}\qquad(1)$$

За умов вказаного нормального навантаження умови на поверхні циліндра мають вигляд:

$$\begin{aligned}&\sigma_{xx}\cos(\bar n,x)+\sigma_{xy}\cos(\bar n,y)=\mu P(\varphi)\cos(\bar n,x),\\&\sigma_{xy}\cos(\bar n,x)+\sigma_{yy}\cos(\bar n,y)=\mu P(\varphi)\cos(\bar n,y),\end{aligned}\qquad(2)$$

де $(x,y)\in L$, L – контур перерізу, $\bar n$ – вектор нормалі до поверхні.

Крайові умови на тріщині формулюються у системі $x_1O_1y_1$, яка пов'язана безпосередньо з дефектом. Поверхня тріщини вважається вільною від навантажень:

$$\sigma_{y_1y_1}(x_1,0)=0;\ \sigma_{x_1y_1}(x_1,0)=0.\qquad(3)$$

Також на її поверхні мають розриви переміщення $u_1(x_1,y_1), v_1(x_1,y_1)$:

$$\langle v_1\rangle=v_1(x_1,+0)-v_1(x_1,-0)=\chi_3(x_1);\ \langle u_1\rangle=u_1(x_1,+0)-u_1(x_1,-0)=\chi_4(x_1).\qquad(4)$$

Отже, аналіз усталеного за часом напруженого стану тіла з тріщиною зводиться до розв'язування диференціальних рівнянь (1) з крайовими умовами (2)-(4).

Для розв'язання задачі запропоновано підхід, що дозволяє окремо задовольняти умови на поверхні тріщини (3), (4) і на межі циліндра (2). Він полягає в представленні переміщення у вигляді суми розривного розв'язку рівнянь руху зі стрибками (4), побудованих для тріщини, і деяких невідомих функцій, які теж є розв'язками рівнянь руху та за рахунок яких задовольняються умови на поверхні циліндра:

Ці функції представлено через хвильові потенціали, які, в свою чергу, розшукуються у вигляді лінійної комбінації частинних розв'язків рівнянь Гельмгольца, що утворюють повні замкнені системи функцій. В результаті задача зводиться до розв'язання сукупності систем інтегро-диференціальних рівнянь на тріщині, що відрізняються лише правими частинами. Наближені розв'язки цих систем отримано методом механічних квадратур. Після цього невідомі коефіцієнти лінійної комбінації визначаються з граничних умов на поверхні циліндра методом колокації.

Отримано наближені формули для розрахунку КІН, за допомогою яких досліджено вплив на їх значення частоти коливань, геометричних розмірів циліндра, розташування тріщини в ньому, а також проведено числове дослідження резонансних явищ.

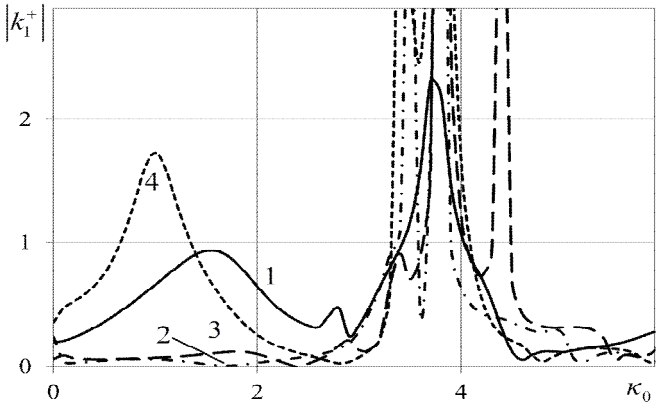


Рисунок 2 – Залежність поведінки КІН від безрозмірного хвильового числа κ_0 при зміні кута нахилу.

Для числової реалізації заданого методу розглядався еліптичний циліндр з ексцентриситетом $\varepsilon = 0{,}5$, який знаходиться під дією самоврівноважуючого навантаження $P(\varphi) = 1$ і містить тріщину з вершиною у початку координат. Криві 1,2,3,4 на Рис.2 відповідають кутам нахилу $\alpha = 0^0, 45^0, 60^0, 90^0$ тріщини з фіксованою відносною довжиною $\gamma = a/r_0 = 0{,}4$. Графіки наведено для нормальних напружень кінця тріщини, що наближається до границі. Характерною особливістю поведінки КІН є наявність локальних максимумів при частотах, менших за частоту першого резонансу, положення і величина яких залежить від кута нахилу тріщини. Також можна бачити, що при частотах $3 < \kappa_0 < 4$, де для інших кутів нахилу спостерігається резонанс, при $\alpha = 0^0$ є локальний максимум. Найбільші значення КІН у початковому частотному діапазоні досягаються при $\alpha = 90^0$. Для дотичних напружень спостерігається аналогічна поведінка значень КІН.

ЛІТЕРАТУРА

1. Попов В.Г., Улановский А.Э. Сравнительный анализ дифракционных полей при прохождении упругих волн через дефекты различной природы// Изв. РАН Механика твердого тела.- 1995.- № 4. - С. 99-109.

2. Ang D.D., Knopoff L. Diffraction of scalar elastic waves by a finite strip // Proc. Math. Sci. USA.- 1964. -V. 51, No. 4.- P. 593-598.

3. Mykhas'kiv V., Zhbadynskyi I., Zhang Ch. Elastodynamic analysis of multiple crack problem in 3-D bi-materials by a BEM // Int. J. Num. Meth. Biomed. Eng. – 2010. – Vol. 26, No. 12. – P. 1934-1946.

4. Назарчук З.Т., Скальський В.Р. Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій: у 3 т. – К.: Наук. думка, 2009.

5. Chirino F., Domingues J. Dynamic analysis of cracks using boundary element method//Engineering Fracture Mechanics. - 1989. - V. 34, No. 5-6.- P. 1051-1061.

6. Бобылев А.А., Доброва Ю.А. Применение метода граничных элементов к расчету вынужденных колебаний упругих тел конечных размеров с трещинами // Вестник Харк. нац. ун-та.- 2003.- № 590. вып. 1.- С. 49-54.

УДК 539.3

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ОКОЛІ ДЕФЕКТА У ВИГЛЯДІ ТРИЛАНКОВОГО ВКЛЮЧЕННЯ В УМОВАХ ВІБРАЦІЇ

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

Анотація. *Розв'язана задача визначення напруженого стану в околі тунельного жорсткого включення, що в перерізі представляє триланкову ламану. Це включення міститься у необмеженому пружному просторі, в якому поширюються плоскі гармонічні хвилі поздовжнього зсуву. Задача зведена до розв'язання системи сингулярних інтегральних рівнянь з нерухомими особливостями. Для наближеного розв'язання вказаної системи застосований числовий метод, який враховує справжню асимптотику невідомих функцій і використовує спеціальні квадратурні формули для сингулярних інтегралів.*

Ключові слова*: жорстке включення, гармонічні хвилі, сингулярні інтегральні рівняння, нерухомі особливості.*

У необмеженому пружному середовищі, що знаходиться в умовах антиплоскої деформації, міститься триланкове в перерізі площиною xOy тонке абсолютно-жорстке включення. З включенням взаємодіють гармонічні хвилі поздовжнього зсуву, що викликають наступні переміщення вздовж осі Oz

$$W^0(x;y) = Ae^{i\kappa_2(x\cos\theta_0 + y\sin\theta_0)}, \quad \kappa_2^2 = \frac{\rho\omega^2}{G},$$

де G, ρ – модуль зсуву та густина середовища, ω – частота коливань, θ_0 –кут між напрямком поширення хвилі та віссю Ox. За умов антиплоскої деформації єдина відмінна від 0 z-компонента вектора переміщень розсіяного хвильового поля $W(x;y)$ в системі координат xOy задовольняє рівняння Гельмгольца.

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

$$W_k(x_k,0) = c - W_k^0(x_k,0), \tag{1}$$

$$\tau_{zy_k}(x_l,+0) - \tau_{zy_k}(x_l,-0) = \chi_{1k}(x_k), \quad -d_k < x_k < d_k, k = 1;2;3, \tag{2}$$

де $W_k(x_k;y_k), W_k^0(x_k;y_k)$ – переміщення $W(x;y), W^0(x;y)$ після переходу до системи координат $x_kO_ky_k$, c –переміщення включення під дією падаючої хвилі, τ_{zy_k} – відповідні дотичні напруження, $\chi_{1k}(x_k)$ – невідомий стрибок дотичних напружень на k –ій ланці, $2d_k$ –довжина k -ї ланки.

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

$$-\int_{-1}^{1}\varphi_1(\tau)\left(\frac{1}{\tau-\xi}-R_{11}(\tau-\xi)\right)d\tau+\int_{-1}^{1}\varphi_2(\tau)(q_{12}(\tau,\xi)-R_{12}(\tau,\xi))d\tau+\int_{-1}^{1}\varphi_3(\tau)R_{13}(\tau,\xi)d\tau=f_1(\xi),$$

$$\int_{-1}^{1}\varphi_1(\tau)(q_{21}(\tau,\xi)-R_{21}(\tau,\xi))d\tau-\int_{-1}^{1}\varphi_2(\tau)\left(\frac{1}{\tau-\xi}-R_{22}(\tau-\xi)\right)d\tau+\int_{-1}^{1}\varphi_3(\tau)(q_{23}(\tau,\xi)-R_{23}(\tau,\xi))d\tau=f_2(\xi),$$

$$\int_{-1}^{1}\varphi_2(\tau)R_{31}(\tau,\xi)d\tau+\int_{-1}^{1}\varphi_2(\tau)(q_{32}(\tau,\xi)-R_{32}(\tau,\xi))d\tau-\int_{-1}^{1}\varphi_3(\tau)\left(\frac{1}{\tau-\xi}-R_{33}(\tau-\xi)\right)d\tau=f_3(\xi),$$

$$\frac{1}{2\pi}\sum_{l=1}^{3}\gamma_l\int_{-1}^{1}\varphi_l(\tau)(\ln|\tau|+D_l(\tau))d\tau=c_0-f_{0l},\ \varphi_k(\tau)=\frac{\chi_k(\eta)}{G},\ k=1;2;3. \qquad (3)$$

До системи необхідно додати рівність для визначення невідомої амплітуди коливань включення $c_0=\frac{c}{d}, d=\max(d_1,d_2,d_3)$.

Сингулярна складова рівнянь системи окрім ядра Коші містить ще і ядра $q_{lk}(\tau,\xi)$ з нерухомою особливістю при $\tau,\xi=\pm1$.

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

$$\varphi_1(\tau)=(1+\tau)^{-1/2}(1+\tau)^{-\delta_1}\psi_1(\tau),\ \varphi_2(\tau)=(1+\tau)^{-\delta_1}(1+\tau)^{-\delta_2}\psi_2(\tau),$$
$$\varphi_3(\tau)=(1+\tau)^{-\delta_2}(1+\tau)^{-1/2}\psi_3(\tau). \qquad (4)$$

Тут показники особливості залежать від значення кутів, утворених ланками включення. Далі здійснюється апроксимація функцій, яка ґрунтується на використанні спеціальних інтерполяційних многочленів. Це дає можливість отримати спеціальні формули для сингулярних інтегралів і застосувати до системи (3) метод колокації.

За характеристику напруженого стану поблизу включення прийнятий узагальнений коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН).

Висновки. Отримані формули обчислення КІН, значення яких виражені через наближений розв'язок системи інтегральних рівнянь. Досліджено вплив на значення КІН кута, утвореного ланками включення і частоти падаючої хвилі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Литвин О.В., Попов В.Г. Взаємодія гармонічної хвилі поздовжнього зсуву з v-подібним включенням / Львів. Математичні методи та фізико-механічні поля. 2017. -60, №1. –С. 1-11.

2. Попов В.Г. Исследование полей напряжений и перемещений при дифракции упругих волн сдвига на тонком жестком отслоившемся включении / Попов В.Г.– Москва: Изв. РАН, Механика твердого тела, 1992. – №3. – С. 139–146.

3. Сулим Г.Т. Основи математичної теорії термопружної рівноваги днформівних твердих тіл з тонким включенням / Сулим Г.Т – Львів – 2007. – 716 с.

УДК 539.3

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ ТИСКУ У ПАЛИВО ПРОВОДАХ ДВЗ

Г.А. Варварецька, к.п.н., асистент
Національний університет «Одеська Морська Академія»

Анотація: *Розглянуто початкова-крайова задача течії палива у паливопроводі і її різнецевий аналог.Застосовуючи модіфікований метод скінчених різниць за часом(випадок дискретизаціїї з нерівноміоним кроком) побудована математична модельцієї задачі та отримане її розв'язання для визначення розподілу тиску в паливо проводі.*

Ключові слова: *метод скінчених різниць за часом, нерівномірний крок,грнаничні умови, система розв'язків.*

Для визначення тиску у каналі між порожнинами насосу і форсунки необхідно розв'язати рівняння [1]

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}-\frac{\partial^2 P}{\partial t^2}=c\frac{\partial P}{\partial t},\ 0<x<1,\ t>0, \qquad (1)$$

де $c=\dfrac{\lambda\cdot l\cdot|u|}{a\cdot d}$, λ – коефіцієнт лінійних втрат, d - діаметр каналу, a - швидкість поширення хвиль, $|u|$ - осереднена по перерізу швидкість руху палива. Граничні умови формулюються в припущенні,що тиск на кінцевих перерізах каналу відомий:

$$P(0,t)=F_0(t),\quad P(1,t)=F_1(t),\quad t>0.$$

Також припускаємо, що при $t=0$ виконуються наступні початкові умови:

$$P(x,0)=q(x),\quad \frac{\partial P}{\partial t}(x,0)=0,\quad 0<x<1,$$

що відповідає розподілу тиску $q(x)$ вздовж каналу.

Застосуємо метод скінчених різниць тільки за часом і з нерівномірним кроком:

$$h_k=\tau_k-\tau_{k-1},\ k=1,2,...;\quad h_k\neq h_{k-1}.$$

Подання першої та другої різницевих похідних за часом для різних τ_k візьмемо із :

$$P(x,\tau_k)=P_k(x),$$

$$P\big|_{t=0}=q(x),\quad \left.\frac{\partial P}{\partial t}\right|_{t=0}=0,\quad \left.\frac{\partial^2 P}{\partial t^2}\right|_{t=0}=0,\quad \left.\frac{\partial P}{\partial t}\right|_{t=\tau_1}=\frac{P_1-q(x)}{h_1},\quad \left.\frac{\partial^2 P}{\partial t^2}\right|_{t=\tau_1}=\frac{P_1-q(x)}{h_1^2},$$

$$\left.\frac{\partial P}{\partial t}\right|_{t=\tau_k}=\frac{P_k-P_{k-1}}{h_k}=\frac{P_k}{h_k}-\frac{P_{k-1}}{h_k},$$

$$\left.\frac{\partial^2 P}{\partial t^2}\right|_{t=\tau_k} = \frac{P_k - P_{k-1}}{h_k^2} - \frac{P_{k-1} - P_{k-2}}{h_k h_{k-1}} = \frac{P_k}{h_k^2} - \frac{P_{k-1}}{h_k^2} - \frac{P_{k-1}}{h_k h_{k-1}} + \frac{P_{k-2}}{h_k h_{k-1}} =$$

$$= \frac{P_k}{h_k^2} + \frac{P_{k-2}}{h_k h_{k-1}} - \frac{P_{k-1}}{h_k^2} - \frac{P_{k-1}}{h_k h_{k-1}}.$$

Тоді рівняння (1) отримає вигляд:

$$\frac{\partial^2 P_k}{\partial x^2} - P_k\left(\frac{1}{h_k^2} + \frac{c}{h_k}\right) = \frac{P_{k-2}}{h_k h_{k-1}} - P_{k-1}\left(\frac{1}{h_k^2} + \frac{1}{h_k h_{k-1}} + \frac{c}{h_k}\right),\ \text{k=2,3,…,}$$

$$P(0,t) = F_0(t), \quad P(1,t) = F_1(t), \quad t > 0. \tag{2}$$

$$P_0 = q(x), \quad \left.\frac{\partial P}{\partial t}\right|_{t=0} = 0, \quad \left.\frac{\partial^2 P}{\partial t^2}\right|_{t=0} = 0, \frac{\partial P_1}{\partial t} = \frac{P_1 - q(x)}{h_1}, \quad \frac{\partial^2 P_1}{\partial t^2} = \frac{P_1 - q(x)}{h_1^2}.$$

Припустимо, що $P_k(x) = \sum_{\nu=1}^{k} C_{k\nu}\, u_\nu(x)$, тоді отримаємо

$$\sum_{\nu=1}^{k} C_{k\nu}\left(\frac{\partial^2 u_\nu}{\partial x^2} - \left(\frac{1}{h_k^2} + \frac{c}{h_k}\right)\cdot u_\nu\right) = \frac{1}{h_k h_{k-1}} \sum_{\nu=1}^{k-2} C_{k-2\nu} u_\nu - \left(\frac{1}{h_k^2} + \frac{1}{h_k h_{k-1}} + \frac{c}{h_k}\right)\cdot \sum_{\nu=1}^{k-1} C_{k-1\nu} u_\nu, \tag{3}$$

$k = 2,3,...$

Будемо намагатися виключити з цих рівнянь невідомі $u_1,...,u_{k-1}$.

Для цього будемо вважати,що

$$\frac{\partial^2 u_\nu}{\partial x^2} - \left(\frac{1}{h_\nu^2} + \frac{c}{h_\nu}\right)\cdot u_\nu = q(x)\cdot a_\nu.$$

або

$$\frac{\partial^2 u_\nu}{\partial x^2} = \left(\frac{1}{h_\nu^2} + \frac{c}{h_\nu}\right)\cdot u_\nu + q(x)\cdot a_\nu. \tag{4}$$

Тоді після підстановки (4) в рівняння (3) отримаємо рівняння

$$\sum_{\nu=1}^{k} C_{k\nu}\, a_\nu\, q(x) + \sum_{\nu=1}^{k} C_{k\nu} u_\nu \left(\frac{1}{h_\nu^2} - \frac{1}{h_k^2} + c\cdot\left(\frac{1}{h_\nu} - \frac{1}{h_k}\right)\right) + \sum_{\nu=1}^{k-1} C_{k-1\nu} u_\nu \left(\frac{1}{h_k^2} + \frac{1}{h_k h_{k-1}} + \frac{c}{h_k}\right) -$$

$$- \sum_{\nu=1}^{k-2} C_{k-2\nu} u_\nu \frac{1}{h_k h_{k-1}} = 0, \quad k = 2,3,....$$

Припустимо

$$\sum_{\nu=1}^{k} C_{k\nu}\, a_\nu\, q(x) = 0, \quad k = 2,3,....$$

Або

$$\sum_{\nu=1}^{k-1} C_{k\nu}\, a_\nu\, q(x) + C_{kk}\, a_k\, q(x) = 0, \quad k = 2,3,....$$

Нехай $C_{kk} = 1,\ k = 1,2,....$ Тоді отримаємо

$$a_k = -\sum_{\nu=1}^{k-1} C_{k\nu}\, a_\nu\,, \quad k = 2,3,... \tag{5}$$

Отже при $k \geq 1$ маємо рівняння

$$\frac{\partial^2 u_k}{\partial x^2} - \lambda_k^2 \cdot u_k = q(x) \cdot a_k,\ u_v(0,\tau_k) = F_0(\tau_k), u_v(1,\tau_k) = F_1(\tau_k), 0 < x < 1\ , \qquad (6)$$

$$\lambda_k^2 = \frac{1 + c \cdot h_k}{h_k^2}, \quad a_1 = -\frac{1 + c \cdot h_1}{h_1^2}, \quad a_2 = \frac{1 + c \cdot h_2}{h_2(h_1 - h_2)}, \quad a_k = -\sum_{v=1}^{k-1} C_{kv}\, a_v\ (k > 2),$$

$$C_{kk} = 1, \quad k = 1,2,3,\ldots.$$

$$C_{kk-1} = \frac{h_{k-1}}{h_{k-1} - h_k}, \quad k = 2,3,\ldots.$$

$$C_{kv} = C_{k-2v} \cdot \frac{h_v^2 h_k}{h_{k-1}(h_k - h_v)\left(h_k + h_v + c \cdot h_k h_v\right)} - C_{k-1v} \cdot \frac{h_v^2 (h_{k-1} + h_k + c \cdot h_{k-1} h_k)}{h_{k-1}(h_k - h_v)\left(h_k + h_v + c \cdot h_k h_v\right)}, \qquad (7)$$

$k = 3,4,\ldots; v = 1,2,\ldots,k-2.$

При $k = 0$: $\quad P(x,0) = q(x), \quad \frac{\partial P}{\partial t}(x,0) = 0, \quad 0 < x < 1.$

При $k \geq 1$ рівняння (6) має розв'язок вигляду [2]

$$u_k(x) = \int_0^1 q(\xi)\, a_k\, G(x,\xi)\, d\xi + u_k(0) \cdot \psi_{0k}(x) + u_k(1) \cdot \psi_{1k}(x),$$

де

$$G(x,\xi) = \begin{cases} \dfrac{\operatorname{sh}\lambda_k(\xi - 1) \cdot \operatorname{sh}\lambda_k x}{\lambda_k sh\lambda_k}, 0 < x < \xi < 1 \\ \dfrac{\operatorname{sh}\lambda_k(x - 1) \cdot \operatorname{sh}\lambda_k \xi}{\lambda_k \operatorname{sh}\lambda_k}, 0 < \xi < x < 1 \end{cases} \quad \text{- функція Гріна.} \qquad (8)$$

При $q(\xi) = q_0$ отримаємо розв'язок

$$u_k(x) = \frac{q_0\, a_k}{\lambda_k^2}\left[\frac{e^{\lambda(x-1)} - e^{\lambda(-x-1)} - e^{\lambda(x-2)} + e^{-\lambda x}}{1 - e^{-2\lambda}} - 1\right] + u_k(0) \cdot \frac{e^{-\lambda x} - e^{\lambda(x-2)}}{1 - e^{-2\lambda}} + \qquad (9)$$

$$+ u_k(1) \cdot \frac{e^{\lambda(x-1)} - e^{-\lambda(x+1)}}{1 - e^{-2\lambda}}$$

ЛІТЕРАТУРА

1. Р.М. Петриченко, С.А. Батурин, Ю.Н. Исаков и др. Элементы системы автоматизированного проектирования ДВС. -Л.: Машиностроение, 1990.-328 с.

2. Г.Я. Попов, В.В.Реут, Н.Д. Вайсфельд. Рівняння математичної фізики. Метод інтегральних перетворень. 2005 – 184 с.

3. В. Г. Попов. Математичне моделювання енергитичних процесів.Навчальний посібник/ В.Г.Попов, - Одеса: НУ «ОМА», 2017. -76 с.

УДК 539.3

ДОВІЛЬНО ОРІЄНТОВАНА ТРІЩИНА В АНІЗОТРОПНІЙ ЧВЕРТЬ ПЛОЩИНІ

К. М. Архипенко, к. ф.-м. н., доцент
О. Ф. Кривий, д. ф.-м. н., професор
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Для розв'язання задач про довільно орієнтовані дефекти у анізотропній чверть площині розвинуто метод, оснований на застосуванні властивостей простору узагальнених функцій повільного росту. Двомірне інтегральне перетворення Фур'є використано для побудови системи фундаментальних розв'язків для анізотропної чверть площини з зосередженими стрибками напружень і переміщень. Остання дозволяє задачі про дефекти зводити до систем сингулярних інтегральних рівнянь (СІР) з нерухомою особливістю. Як приклад, розглянуто задачу про тріщину, що виходить на границю чверть площини, для якої отримана система СІР. Запропоновано ефективний чисельно-аналітичний метод розв'язання систем СІР з нерухомими особливостями.*

Ключові слова: *анізотропна чверть площина, простір узагальнених функцій повільного росту, системи сингулярних інтегральних рівнянь, нерухомі особливості, тріщина, що виходить на границю.*

Постановка задачі та побудова фундаментальної системи розв'язків. Напружено деформований стан анізотропної чверть площини $(x,y)\in R^2_+ = L_+\times L_+$, $L_+ = (0,+\infty)$, що містить дефект L_0 ($L_0 = \{y = g(x), x\in[a;b]\}$), описується вектором $\mathrm{v} = \{v_p(x,y)\}_{p=\overline{1,5}} = \{\sigma_x,\sigma_y,\tau_{xy},u,v\}$, граничні значення компонент якого на гранях четверть площини та дефекту позначимо так

$$\chi_k(x) = v_{k+1}(x,+0), k=\overline{1,4}, x\in L_+, \quad (1)$$

$$\mu_1(y) = v_1(+0,y), \mu_k(y) = v_{k+1}(+0,y), k=\overline{2,4},\ y\in L_+,\ u_k\big|_{L^\pm} = \frac{1}{2}\left(p_k^+(t)\pm p_k^-(t)\right), k=\overline{1,4}, t\in L_0,$$

де $\mathrm{u} = \{u_k(x,y)\}_{k=\overline{1,4}} = \{\tau_s,\sigma_n,u_s,u_n\}$ – напруження та переміщення в системі координат, пов'язаної з дефектом.

Компоненти вектора v вдовольняють рівнянням рівноваги й узагальненого закону Гука, які за відсутності об'ємних сил запишемо у вигляді:

$$\mathrm{M}(\partial_1,\partial_2)\mathrm{v} = 0,\quad (x,y)\in R^2_+; \quad (2)$$

де $\mathrm{M}(\partial_1,\partial_2)\equiv\begin{pmatrix}\mathrm{D} & \mathrm{O}_{2\times2}\\ \mathrm{A} & \mathrm{D}^{\mathrm{T}}\end{pmatrix}$, $\mathrm{D} = \begin{pmatrix}\partial_1 & 0 & \partial_2\\ 0 & \partial_2 & \partial_1\end{pmatrix}$, $\mathrm{A} = \{a_{kj}\}^3$, $\partial_1 = \dfrac{\partial}{\partial x}, \partial_2 = \dfrac{\partial}{\partial y}$, a_{ij} – пружні сталі анізотропної чверть площини [4], $\mathrm{O}_{n\times m}$ – нульова матриця розміру $n\times m$.

При постановці задачі анізотропної пружності на гранях чверть площини та дефекту повинні бути відомі по дві функції з представлення (1). Інші функції слід визначити при розв'язання задачі. Розв'язок будемо шукати у вигляді суми двох доданків

$$v_p(x,y) = v_p^1(x,y) + v_p^2(x,y), \quad (3)$$

де $\{v_p^1(x,y)\}_{p=\overline{1,5}}$ – розв'язок крайової задачі для чверть площини без наявності дефекту, $\{v_p^2(x,y)\}_{p=\overline{1,5}}$ – розв'язок задачі про дефект в анізотропній чверть площині за нульових граничних умов на границі чверть площини. Аналогічно до

робіт [1-3], побудуємо системи фундаментальних розв'язків для кожного доданку з (3) і встановимо інтегральні співвідношення, які зв'язують функції (1) на гранях чверть площини та дефекту.

Для реалізації зазначеного підходу перейдемо у простір узагальнених функцій повільного росту $\Im'(\mathrm{R}^2_+)$. Використовуючи формули зв'язку між звичайними похідними ∂_k $(k=1,2)$ й узагальненими $\tilde{\partial}_k$ $(k=1,2)$, а також граничні умови (1) отримаємо замість матричного диференціального рівняння (2) наступне матричне диференційне рівняння відносно $\mathrm{v}^l=\{v^l_p(x,y)\}_{p=\overline{1,5}}, l=1,2$ у просторі узагальнених функцій $\Im'(\mathrm{R}^2_+)$:

$$(\mathrm{M}(\tilde{\partial}_1,\tilde{\partial}_2)\tilde{\mathrm{v}}^l,\zeta)=(\mathrm{f}^l,\zeta),\quad l=1,2;\quad \tilde{v}^l_p\in\Im'(\mathrm{R}^2_+),\zeta\in\Im(\mathrm{R}^2_+), \tag{4}$$

$$\mathrm{f}^l=\{f^l_p\}^5,\ f^1_1=\chi_2(x)\delta(L_1)+\mu_1(y)\delta(L_2),\quad f^1_2=\chi_1(x)\delta(L_1)+\mu_2(y)\delta(L_2),\ f^1_3=\mu_3(y)\delta(L_2),$$

$$f^1_4=\chi_4(x)\delta(L_1),\quad f^1_5=\chi_3(x)\delta(L_1)+\mu_4(y)\delta(L_2),\ f^2_1=\left(\left\langle v_1\big|_{L_0}\right\rangle\cos(n,x)+\left\langle v_3\big|_{L_0}\right\rangle\cos(n,y)\right)\delta(L_0),$$

$$f^2_3=\left\langle v_4\big|_{L_0}\right\rangle\cos(n,x)\delta(L_0),\ f^2_2=\left(\left\langle v_3\big|_{L_0}\right\rangle\cos(n,x)+\left\langle v_2\big|_{L_0}\right\rangle\cos(n,y)\right)\delta(L_0),\ L_1=\{y=0,\,x\in[0,+\infty)\},$$

$$f^2_4=\left\langle v_5\big|_{L_0}\right\rangle\cos(n,y)\delta(L_0),\ f^2_5=\left(\left\langle v_5\big|_{L_0}\right\rangle\cos(n,x)+\left\langle v_4\big|_{L_0}\right\rangle\cos(n,y)\right)\delta(L_0),\ L_2=\{x=0,\,y\in[0,+\infty)\},$$

де $\delta(L_k)\in\Im'(L_k)-$ узагальнена функція, зосереджена на півосі L_k.

Розв'язок рівняння (4) отримаємо за допомогою системи фундаментальних розв'язків, під якою будемо розуміти систему векторів $\mathrm{v}^{l0}_j=\{v^{l0}_{kj}\}^5_{k=1}, l=1,2; j=\overline{1,8}$, $v^{l0}_{kj}\in\Im'(\mathrm{R}^2_+)$, які у просторі $\Im'(\mathrm{R}^2_+)$ вдовольняють наступним матричним рівнянням:

$$(\mathrm{M}(\tilde{\partial}_1,\tilde{\partial}_2)\mathrm{v}^{l0}_j,\zeta)=(\mathrm{f}^{l0}_j,\zeta),\quad \zeta\in\Im(\mathrm{R}^2_+),\quad (l=1,2;\,j=\overline{1,8}), \tag{5}$$

$$f^{10}_{1j}=\delta^1_{2j}\delta(x-x_0,y)+\delta^1_{5j}\delta(x,y-y_0),\ f^{10}_{3j}=\delta^1_{7j}\delta(x,y-y_0),\ f^{20}_{kj}=\delta^2_{kj}\delta(x-x_0,y-y_0),$$

$$f^{10}_{2j}=\delta^1_{1j}\delta(x-x_0,y)+\delta^1_{6j}\delta(x,y-y_0),\ f^{10}_{5j}=\delta^1_{3j}\delta(x-x_0,y)+\delta^1_{8j}\delta(x,y-y_0),\ f^{10}_{4j}=\delta^1_{4j}\delta(x-x_0,y),$$

де δ^l_{kj} – символ Кронекера.

Носієм узагальнених функцій $\tilde{v}^l_j$, v^{l0}_{kj} є область R^2_+, тобто $\mathrm{supp}(\tilde{v}^l_j,v^{l0}_{kj})=R^2_+$. Останнє дає можливість застосувати до розв'язання матричного диференційного рівняння (5) двомірне перетворення Фур'є. У результаті отримані явні вирази для компонент векторів систем фундаментальних розв'язків:

$$v^{10}_{pj}(x,y)=\frac{1}{\pi}\mathrm{Im}\sum_{k,m=1}^{2}\frac{1}{q_k}\{\frac{M^{10}_{pm}(z_k)\delta^1_{mj}}{x-x_0+z_ky}+\frac{M^{10}_{p,2+m}(z_k)\delta^1_{2+m,j}}{(x-x_0+z_ky)^2}+\frac{M^{10}_{p,4+m}(z_k)\delta^1_{4+m,j}}{x+z_k(y-y_0)}+$$
$$+\frac{M^{10}_{p,6+m}(z_k)\delta^1_{6+m,j}}{(x+z_k(y-y_0))^2}\},\ p=\overline{1,3}; \tag{6}$$

$$v^{10}_{pj}(x,y)=\frac{1}{\pi}\mathrm{Im}\sum_{k,m=1}^{2}\frac{1}{q_k}\{M^{10}_{pm}(z_k)\delta^1_{mj}(\ln(x-x_0+z_ky)+\gamma-\frac{\pi i}{2})+\frac{M^{10}_{p,2+m}(z_k)\delta^1_{2+m,j}}{x-x_0+z_ky}+$$

$$+M^{10}_{p,4+m}(z_k)\delta^1_{4+m,j}(\ln(x+z_k(y-y_0))+\gamma-\frac{\pi i}{2}\mathrm{sgn}(y-y_0))+\frac{M^{10}_{p,6+m}(z_k)\delta^1_{6+m,j}}{x+z_k(y-y_0)}\},\ p=4,5;$$

$$v^{20}_{pj}(x,y)=\frac{1}{\pi}\mathrm{Im}\sum_{k=1}^{2}\frac{1}{q_k}\{\sum_{m=1}^{2}\frac{M^{20}_{pm}(z_k)\delta^2_{mj}}{x-x_0+z_k(y-y_0)}+\sum_{m=3}^{5}\frac{M^{20}_{pm}(z_k)\delta^2_{mj}}{(x-x_0+z_k(y-y_0))^2}\},\ p=\overline{1,3};$$

$$v_{pj}^{20}(x,y)=\frac{1}{\pi}\operatorname{Im}\sum_{k=1}^{2}\frac{1}{q_k}\{\sum_{m=1}^{2}M_{pm}^{20}(z_k)\delta_{mj}^{2}(\ln(x-x_0+z_k(y-y_0))+\gamma-\frac{\pi i}{2}\operatorname{sgn}(y-y_0))+$$

$$+\sum_{m=3}^{5}\frac{M_{pm}^{20}(z_k)\delta_{mj}^{2}}{x-x_0+z_k(y-y_0)}\},\ p=4,5;$$

де z_k – корені характеристичного рівняння [4], M_{pm}^{k0},q_k – многочлени, які залежать від пружних сталих анізотропного матеріалу та z_k.

Наявність представлень (6) дозволяє виразити напруження та переміщення у просторі $\Im'(\mathrm{R}_+^2)$ через граничні значення (1) у вигляді наступної згортки:

$$\tilde{v}_k(x,y)=\sum_{j=1}^{4}[\chi_j(x)*v_{kj}^{10}(x,y)+\mu_j(y)*v_{k,4+j}^{10}(x,y)]+\sum_{j=1}^{5}f_j^2(x,y)*v_{kj}^{20}(x,y),\ k=\overline{1,5}. \quad (7)$$

Виконавши граничний перехід на границі чверть площини та берега дефекту й скориставшись граничними значеннями переміщень і напружень (1), отримано інтегральні співвідношення на границях і дефекті. Останні дозволяють задачі про дефекти зводити безпосередньо до систем сингулярних інтегральних рівнянь відносно невідомих функцій з граничних значень (1).

Задача про тріщину, що виходить на границю чверть площини. Розглянемо задачу про прямолінійну тріщину L_0 ($L_0=\{y=x\cdot tg\varphi+d, x\in[0;b]\}$), яка виходить на границю анізотропної чверть площини. Будемо вважати на гранях чверть площини відомими і рівними нулю переміщення ($\chi_k(x)=\mu_k(y)=0,k=3,4$), а берега тріщини завантаженими врівноваженим навантаженням ($u_k\big|_{L^{\pm}}=\frac{p_k^{+}(t)}{2}$, $k=1,2, t\in L_0$). Використовуючи вирази (7), відносно невідомих напружень ($\chi_k(x)$, $\mu_k(y), k=1,2$) на гранях чверть площини та невідомих стрибків похідних переміщень ($\left\langle u_k\big|_{L_0}\right\rangle=h_{k-2}(t), k=3,4; t\in L_0$) на тріщині отримаємо систему CIP:

$$\begin{cases}\operatorname{Im}\sum_{k,j=1}^{2}\{N_{p-3j}\cdot K_{5k}[\chi_j](t)+N_{p-3,j+4}\cdot K_{6k}[\mu_j](t)+\frac{N_{p-1,j}}{e_k^2}\Gamma_b[h_j{}'](t)\}=f_{p-3}(t),\ p=4,5; t\in[0;b],\\ \operatorname{Im}\sum_{k,j=1}^{2}\{M_{pj}^{10}(-i\cdot\chi_j(x)-\Gamma[\chi_j](x))+M_{p,j+4}^{10}K_{1k}[\mu_j](x)+Q_{pj}\cdot K_{2k}[h_j{}'](x)\}=f_{p-1}(x); x,y\in L_+\\ \operatorname{Im}\sum_{k,j=1}^{2}\{-z_kM_{pj}^{10}\cdot K_{3k}[\chi_j](y)+\frac{M_{p,j+4}^{10}}{z_k}(i\cdot\mu_j(y)-\Gamma[\mu_j](y))+z_kQ_{pj}\cdot K_{4k}[h_j{}'](y)\}=f_{p+1}(y).\end{cases} \quad (8)$$

$$\Gamma[f](t)=\frac{1}{\pi}\int_0^{\infty}\frac{f(\tau)d\tau}{\tau-t},\Gamma_b[f](t)=\frac{1}{\pi}\int_0^{b}\frac{f(\tau)d\tau}{\tau-t},K_{1k}[f](t)=\frac{1}{\pi}\int_0^{\infty}\frac{f(\tau)d\tau}{t-z_k\tau},$$

$$K_{2k}[f](t)=\frac{1}{\pi}\int_0^{b}\frac{f(\tau)d\tau}{\tau\cdot e_k+z_k\cdot d-t},K_{3k}[f](t)=\frac{1}{\pi}\int_0^{\infty}\frac{f(\tau)d\tau}{\tau-z_kt},K_{4k}[f](t)=\frac{1}{\pi}\int_0^{b}\frac{f(\tau)d\tau}{\tau\cdot e_k+z_k(d-t)},$$

$$K_{5k}[f](t)=\frac{1}{\pi}\int_0^{\infty}\frac{f(\tau)d\tau}{t\cdot e_k-\tau+z_k\cdot d},K_{6k}[f](t)=\frac{1}{\pi}\int_0^{\infty}\frac{f(\tau)d\tau}{t\cdot e_k+z_k(d-\tau)},e_k=\cos\varphi+z_k\sin\varphi.$$

Система (8) має дві нерухомі особливості у вершині чверть площини й у вершині тріщини, яка лежить на границі чверть площини. Для визначення вказаних особливостей отримані трансцендентні рівняння:

$$\det(\mathrm{Tr}^l(s)) = 0,\ l = 1,2,\ \mathrm{Re}\, s < 1, \qquad (9)$$

де $\mathrm{Tr}^l(s) = \{Tr^l_{nm}(s)\}^4, l = 1,2$. Нехай $\{s^l_k\}^\infty, l = 1,2$ – корені (9), які вдовольняють умовам $1 > \mathrm{Re}\, s^l_1 > \mathrm{Re}\, s^l_2 > \ldots > \mathrm{Re}\, s^l_k > \ldots$, тоді асимптотичні представлення невідомих функцій мають такий вигляд: $\tilde{h}_j(t) \cong k^1_j t^{-\mathrm{Re}\, s^1_1}$, $j = 1,2$, $t \to 0$ – в околі вершини чверть площини; $\tilde{\chi}_j(t) \cong k^2_j t^{-\mathrm{Re}\, s^2_1}$, $\tilde{\mu}_j(t) \cong k^2_{j+2} t^{-\mathrm{Re}\, s^2_1}$, $j = 1,2$, $t \to 0$ – в околі вершини тріщини, яка виходить на границю чверть площини.

Використовуючи корені трансцендентного рівняння (9), невідомі функції у системі (8) слід шукати у вигляді наступних рядів:

$$\tilde{h}_j(t) = \sum_{m=1}^{\infty} k^1_{jm} \cdot t^{-s^1_m}; \tilde{\chi}_j(t) = \sum_{l,m=1}^{\infty} k^2_{jml} \cdot t^{-s^2_m} (1-t)^{-0.5+l}; \tilde{\mu}_j(t) = \sum_{l,m=1}^{\infty} k^2_{j+2,ml} \cdot t^{-s^2_m} (1-t)^{-0.5+l}; j = 1,2. \quad (10)$$

Представлення (10) дозволяють розв'язати систему (8) методом граничних елементів і визначити розподіл напружень і переміщень в анізотропній чверть площині, що містить тріщину, яка виходить на її границю.

Висновки. В даній роботі до задач про дефекти в анізотропній чверть площині розвинуто підхід, запропонований у роботах [1-3]. За допомогою системи фундаментальних розв'язків задачу про тріщину, яка виходить на границю анізотропної чверть площини, зведено до системи СІР. Встановлена асимптотика напружень і переміщень в особливих точках, та запропоновано метод розв'язання систем СІР з нерухомими особливостями.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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.

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

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

4. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела, М.: Наука, 1977. 415с.

УДК 629.12.001.2

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У СУДНОВІЙ ХОЛОДИЛЬНІЙ УСТАНОВЦІ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОТЕПЛОВИХ АНАЛОГІЙ

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

Анотація. *Метою статті є подання методики моделювання процесів зміни температур, електричних та енергетичних параметрів електроприводів компресорів холодильних установок з використанням методів і принципів теорії автоматичного управління, структурних перетворень, елек-*

тротеплових аналогій і подібності. Описано детальний перехід від диференціальних і алгебраїчних рівнянь до електричних схем моделювання процесів в холодильній установці маломірного судна, заснований на застосуванні електротеплових аналогій.

Ключові слова: *електротеплові аналогії, холодильна установка, моделювання, температура, електропривод, компресор.*

Аналіз літературних джерел показує, що до сьогоднішнього дня недостатньо розроблені математичні моделі (ММ), які дозволяють одночасне дослідження процесів зміни температурних, електромеханічних, електромагнітних та енергетичних режимів суднових холодильних установок (СХУ), особливо при їх роботі в режимах з регульованою холодопродуктивністю.

Створення ефективної ММ ускладнюється тим, що системи диференціальних рівнянь (ДР), що описують одночасну роботу холодильної машини (ХМ) і автоматизований електропривод компресора (АЕП) відносяться до класу жорстких, оскільки швидкості перебігу теплових і електромагнітних процесів (десятки хвилин і мілісекунди) несумірні.

Використання структурних методів подання ДР дозволяє перейти до моделювання процесів енергоспоживання і зміни температур у морозильній камері (МК) і холодильній камері (ХК) суднових ХМ за допомогою добре апробованих методів теорії автоматичного управління (ТАУ).

Для переходу до структурної схеми, яка об'єднує в собі всі основні вузли ХМ – електродвигун (або АЕП), компресор, випарник (В), конденсатор (К), терморегулюючий вентиль (ТРВ) і теплове навантаження, можна скористатися методом електротеплових аналогій, запропонованим Г.Н. Дульнєвим [1].

Розглянемо послідовність створення ММ СХУ, призначеної для охолодження суднового провізійного приміщення (СПП), розділеного на дві камери – холодильну і морозильну. Нехай в МК і ХК поміщені імітатори продуктів, а додаткове теплове навантаження Q_B незмінне. Складна геометрія провізійного приміщення спрощена шляхом заміни більшості різних елементів основними "еквівалентними тепловими зонами" (рис. 1).

Режими кожного з виділених елементів характеризуються надмірними середніми температурами t_{ij}, теплофізичні властивості – загальною теплоємністю C_{ij}, а інтенсивність теплообміну між елементами визначається [2] рівняннями виду:

$$Q_{ij} = \sigma_{ij}\left(t_i - t_j\right), \tag{1}$$

де Q_{ij} – тепловий потік, що переноситься від i-го елемента до j-го елементу, Вт;

σ_{ij} – теплова провідність перенесення тепла від i-го елемента до j-го елементу, Вт/^{o}С;

t_i і t_j – надлишкові температури (перегріви) обраних основних елементів СПП, ° С.

Для спрощеної теплової моделі (рис.1) з імітаторами продуктів, розташованими в камерах СПП, виділимо еквівалентні термічні опори. На рис. 1 позначені об-

рані основні температури цифрами 1 – 6 і еквівалентні термічні опори – цифрами 7 – 12. Додатково врахуємо термічні опори між стінками ХК і МК при перенесенні тепла через отвори в перегородці, двері камер.

Для розрахунку процесів зміни температур в МК і ХК при різних теплових навантаженнях запишемо ряд диференціальних та алгебраїчних рівнянь [3].

Зміна температури кипіння t_0 випарника:

$$\frac{dt_0}{d\tau} = \frac{1}{C_u} \cdot (-Q_0(\tau) + \sigma_{МК-И}(t_{всМК} - t_0) + +\sigma_{ХК-И}(t_{всХК} - t_0) + \\ +\sigma_{И-иМК}(t_{иМК} - t_0) + \sigma_{И-иХК}(t_{иХК} - t_0) + Q_в). \quad (2)$$

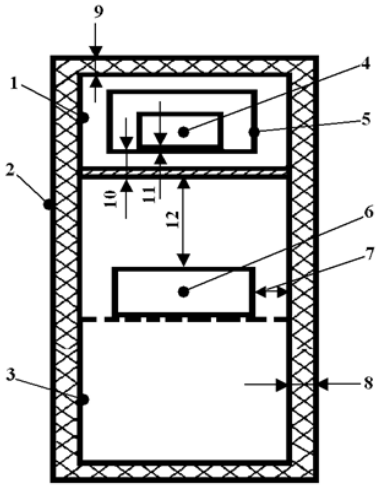


Рисунок 1 – Розташування еквівалентних теплових зон і термічних опорів у спрощеній тепловій моделі *СПП*

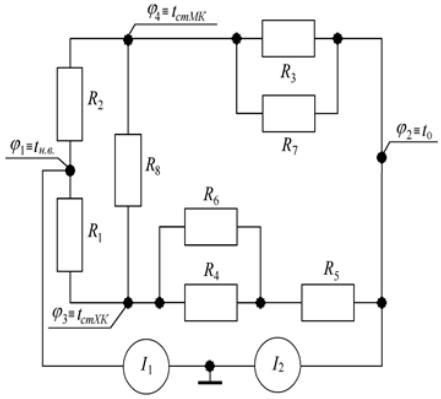


Рисунок 2 – Еквівалентна електрична схема заміщення СХУ ПП для стаціонарного температурного режиму

Холодопродуктивність $Q_0(\tau)$ компресорно-конденсаторного агрегату (ККА) в заданому діапазоні зміни температур кипіння і при сталості температури конденсації апроксимується квадратичною залежністю:

$$Q_0(\tau) = a\left(t_{н.в.} - t_0\right)^2 + b\left(t_{н.в.} - t_0\right) + c\,. \quad (3)$$

Зміна середнього значення температур стінок МК і ХК може бути визначена за рівняннями:

$$\frac{dt_{МК}}{d\tau} = \frac{1}{C_{сМК}} \cdot (\sigma_{н.в.-нсМК}(t_{н.в.} - t_{нсМК}) + \sigma_{сМК}(t_{нсМК} - t_{всМК}) \\ +\sigma_{МК-ХК}(t_{всХК} - t_{всМК}) - \sigma_{МК-И}(t_{всМК} - t_0)), \quad (4)$$

$$\frac{dt_{ХК}}{d\tau} = \frac{1}{C_{сХК}} \cdot (\sigma_{н.в.-нсХК}(t_{н.в.} - t_{нсХК}) + \sigma_{сХК}(t_{нсХК} - t_{всХК}) - \\ -\sigma_{МК-ХК}(t_{всХК} - t_{всМК}) - \sigma_{ХК-И}(t_{всХК} - t_0) - \sigma_{всХК-иХК}(t_{иХК} - t_{всХК})). \quad (5)$$

Будемо вважати, що основні статичні та динамічні властивості електродвигуна компресора представлені узагальненим лінеаризованим електромеханічним перетворювачем (ЕМП) за допомогою системи [4]:

$$\begin{cases} \dfrac{dI(\tau)}{d\tau} = \dfrac{1}{L}\big(U(\tau) - I(\tau)R_э - E(\tau)\big), \\ E(\tau) = c\Phi \cdot \omega(\tau), \\ M(\tau) = c\Phi \cdot I(\tau), \\ \dfrac{d\omega(\tau)}{d\tau} = \dfrac{1}{J_\Sigma}\big(M(\tau) - M_c(\varphi)\big), \\ \dfrac{d\varphi(\tau)}{d\tau} = \omega(\tau). \end{cases} \quad (6)$$

Отримана модель СХУ з релейним гістерезисним регулятором температури та узагальненим електромеханічним перетворювачем (2 – 6) може бути представлена у вигляді достатньо складної структурної схеми [4], що привело до необхідності спрощення структурної схеми моделі СХУ шляхом об'єднання контурів, що перетинаються, і виключення з розрахунку ряду проміжних температур.

Спрощення структурної схеми було зроблено уточненим [5] методом Мейсона з подальшим використанням методів Г.Н. Дульнєва. Оскільки в (1) очевидний лінійний зв'язок між Q_{ij} і t_i, t_j, то для створення спрощеної ММ можна перейти до використання методів подібності і електротеплових аналогій. Зазначений перехід здійснений шляхом еквівалентної заміни теплових провідностей σ_{ij} всіх виділених (рис. 2) елементів їх термічними опорами $R_{ij} = \sigma_{ij}^{-1}$, а потім – електричними (резисторами) з подальшим застосуванням законів Кірхгофа для електричних ланцюгів [4].

Висновки. У дослідженні запропонована методика моделювання процесів у холодильних установках різного призначення, що заснована на застосуванні принципів електротеплових аналогій і подібності. Результати моделювання процесів у холодильній і морозильній камерах суднового охолоджуваного провізійного приміщення дозволяють встановити діапазони зміни температур у камерах, час виходу в статичний режим, енергоспоживання, коефіцієнт робочого часу та отримати вихідні дані для розрахунку холодильних коефіцієнтів, коефіцієнтів питомої холодопродуктивності та інших.

Подана методика створення математичних моделей холодильних установок досить універсальна і може бути використана для дослідження і оптимізації режимів роботи холодильних установок різних типів і цільового призначення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дульнев Г. Н. Электронный ресурс: goo.gl/cvrMNY.
2. Мааке В. Учебник по холодильной технике / В. Мааке, Г.-Ю. Эккерт, Ж. –Л. Кошпен; пер. с франц. под ред. В.Б. Сапожникова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. – 1142 с.

3. Использование метода электротепловых аналогий при моделировании процессов в судовой холодильной установке / Василец Д.И., Козьминых Н.А., Налева Г.В., Онищенко О.А. // Морские интеллектуальные технологии. – СПб: НИЦ «Моринтех», 2018. – № 3 (41), т. 1. – С. 214 – 221.

4. Онищенко О.А. Оценка свойств бытового холодильного прибора, как объекта управления. Вестник НТУ "ХПИ". Серия "Новые решения в современных технологиях". – 2012. – № 17. – С. 27-35.

5. Использование принципов Мейсона при выводе передаточных функций структурных схем / Карпович О.Я., Онищенко О.А., Радимов И.Н. // Проблемы создания новых машин и технологий. Сб. науч. труд. КГПУ. – 2000. – Т. 8, № 1. – С. 20 – 24.

УДК 621762.22+621.926.55

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ (ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ПРИ СОПУТСТВУЮЩЕМ СМЕШЕНИИ И АГЛОМЕРАЦИИ)

Н. Д. Орлова к.т.н., доцент
Национальный Университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Рассмотрен вероятностный подход к изучению процессов измельчения, сопутствующего смешения и агломерации в вибрационных мельницах. Качественный анализ процессов проведен с позиций Марковских процессов непрерывных по времени и дискретных в пространстве. В основном метод связан с оценкой экспериментальных данных и поиском оптимальных параметров виброобработки.*

Ключевые слова: *вибрационное измельчение смешение оптимальные параметры.*

Системный подход к изучению процессов измельчения, смешения и агломерации описан в [1,2], а весь процесс формализован как сложная физико-механическая система. Процесс измельчения при сопутствующем смешении и агломерации осуществляется на различных типах измельчающих аппаратах, в основе которых заложены различные способы разрушения материалов, и, как правило, составление физических и математических моделей проводится с учетом типа измельчающего устройства и способа обработки материала.

Известны различные математические модели процессов

– математическая модель, основанная на использовании дифференциальных уравнений механики сплошной среды с учетом кинетики измельчения [2];

– энергетическая модель использующая, расчет энергии, идущей на изменение среднего размера обрабатываемых частиц [1,2];

– фрактальная модель процесса измельчения связанная с использованием понятий фрактальной геометрии, в этом случае идет речь об изменении некоторых общепринятых физических понятий, характеризующих процесс измельчения [5];

– математическая модель, связанная с вероятностными оценками возможности попадания частиц в «рабочую зону» агрегатов, с функцией плотности ве-

роятности разрушения, смешения и агломерации частиц, без учета физико-механических свойств материала [1,3,4].

Вероятностная модель в основном связана с оценкой экспериментальных данных.

Статистический анализ экспериментальных данных позволяет рассматривать процесс измельчения, смешения и агрегирования материалов как случайный Марковский процесс [4]. Такой подход использован в работах [1,2,3], где на основе математического аппарата случайных процессов и постулирования макрокинетических актов в соответствии с законами измельчения Кирпичева – Кикка, Риттингера, Бонда получена математическая модель процесса.

Рассматривается подход, связанный с вероятностными оценками попадания частиц в «рабочую зону» агрегатов и с функцией плотности вероятности. Исследования процессов измельчения, смешения и агломерации мелкодисперсных материалов показали, что рассматриваемое явление есть случайный Марковский процесс, непрерывный во времени и дискретный в пространстве обрабатываемых частиц.

Аналогично [3] считаем, что процесс измельчения соответствует неоднородному Марковскому процессу рождения и описывается дифференциальным уравнением относительно удельной поверхности $S = S(t)$:

$$\frac{d(S(t))}{dt} = -\frac{\alpha}{3}(1-\beta t)\cdot S(t), \quad S(0) = S_0 \tag{1}$$

где β – параметр, определяющий долю частиц находящихся в зоне измельчения; α – коэффициент пропорциональности.

В (1) значения неизвестных параметров β, α определяются для каждого материала по экспериментальным данным [3].

Процесс измельчения, при котором возникает процесс агрегирования частиц, соответствует неоднородному Марковскому процессу и описывается дифференциальным уравнением относительно удельной поверхности:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\frac{1}{3}\{\lambda(1-\beta t) - \mu\}S(t), \quad S(t_0) = S_1 \tag{2}$$

где μ – коэффициент интенсивности агрегирования;

t_0 – время начала второго этапа агрегирования;

S_0 – начальная удельная поверхность;

S_1 – удельная поверхность в момент времени t_0, определяются из эксперимента.

Для идентификации коэффициента μ – коэффициент агрегирования следует из эксперимента определить время начала этапа агрегирования.

Результаты вибрационной обработки X13M2C2. Материал подвергался вибрационной обработки в течение 9 часов, набором мелющих тел №1 общий вес мелющих тел 55кг, обрабатываемый материал вес 6 кг, частота колебаний 2000об/мин., средняя амплитуда 1,5мм. Анализируя результаты опыта, видим, что удельная поверхность уменьшается (имеет место агрегация частиц) между 2,5 и 3,5 часами измельчения, далее удельная поверхность возрастает.

По экспериментальным данным найдены значения:

$$\lambda = \mathbf{0.339};\ \beta = \mathbf{0.432};\ S(t) = \mathbf{27.5}e^{-0.\mathbf{113}t + 0.\mathbf{072}t^2}.$$

Рассмотрим нахождение изменения удельной поверхности при измельчении с учетом этапа устойчивого образования агрегатов. Началом агрегирования будем считать точку перегиба кривой $S = S(t)$.

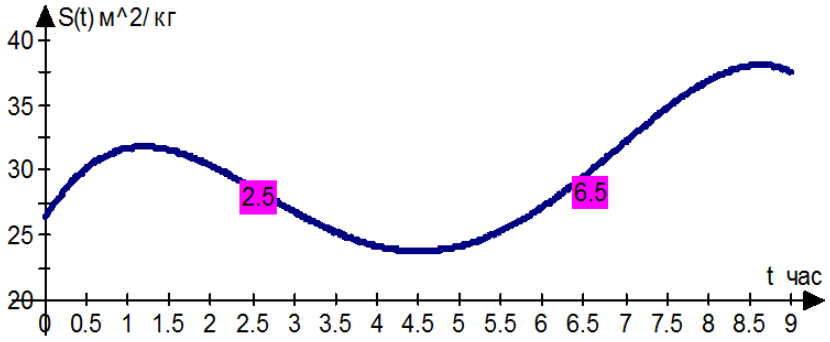


Рисунок 1 – Изменение удельной поверхности *X13M2C2*

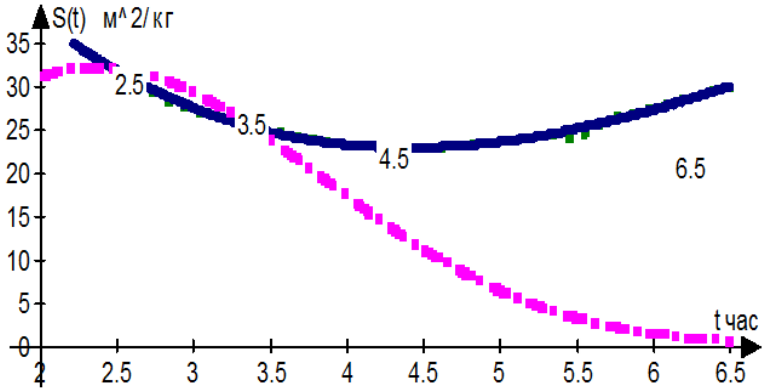


Рисунок 2 – Агрегация измельчаемого материала X13M2C2 интервал от 2.5 до 6.5 час

На рис.2 пунктирная линия типа (------) − экспериментальные данные; пунктирная линия типа (−-−-−) − значения получены по методу Нелдера – Мида:

$$\lambda = \mathbf{1.0875};\ \beta = -\mathbf{1.3886};\ \mu = \mathbf{2.1911};\ S(t) = \mathbf{8.8195}\exp(-\mathbf{0.2310}t^{\mathbf{2}} + \mathbf{1.0929}t).$$

Выводы. Полученные из экспериментальных данных значения параметров β, λ, μ дают возможность оптимизации режимов работы вибрационной

мельницы, но только для определенного типа материала. Расхождение между значениями, полученными теоретическими и экспериментальными данными можно объяснить тем, что данный метод, не учитывает физико-механические свойства обрабатываемого материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Паходин. Исследование процесса агломерации при измельчении материалов в вибромельнице/ Т.А. Афанасьева, В.Н. Блиничев, С.Б. Афонин – Известия вузов. Химия и химическая технология – 1980 – т.23, №9 –С.1174-1176.
2. Овчинников П.Ф. Виброреология – Киев: Наукова Думка.1983. – 271С.
3. Орлова Н.Д. Математическое описание процесса измельчения и агломерации на основе вероятностной модели процесса. Sience fnd Education a New Dimension/ Natural and Technical Siences. VI (19) Issue: 171, 2018, 47-50.
4. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и её приложения. М.: – Мир – 1967.т.1 – 484с.
5. Орлова Н.Д. Использование фрактальной геометрии для расчета пористости материала. // Сборник научных трудов IX Международной конференции "Теория и практика процессов измельчения, разделения, смешения и уплотнения", 2002, вып.9, Одесса, ОГМА, с.130-134.

УДК 621.431

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

М.А. Якименко, курсант,
И.М. Гвоздева, д.т.н., профессор,
В.С. Луковцев, к.т.н., доцент
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *В статье на основе статистического анализа экспериментальных данных проведено ранжирование взаимосвязанной совокупности параметров, наиболее важных для оценки технического состояния дизель-генераторных агрегатов. Предложена и обоснована нелинейная регрессионная модель изменения средней температуры цилиндров от изменения тока нагрузки.*

Ключевые слова: *диагностический параметр, дизель-генераторный агрегат, регрессионная модель*

Постоянно растущие технико-экономические и эксплуатационные требования, предъявляемые к судовым электроэнергетическим системам (СЭЭС) и, в частности к дизель-генераторным агрегатам (ДГА), обуславливают необходимость перехода к стратегии их обслуживания и ремонта по техническому состоянию. Это позволяет сократить простой оборудования, продлить межремонтный период и, тем самым, повысить надежность и эффективность эксплуатации СЭЭС.

Ключевым вопросом указанной стратегии является достоверное определение технического состояния объектов. Методы контроля, применяемые в настоящее время в системах технического диагностирования (СТД), сопровождаются высоким уровнем “ложных тревог”, что приводит к безосновательному снятию объектов с эксплуатации и, соответственно, – к экономическим потерям, а также к снижению уровня доверия к диагностическим выводам СТД [1].

С другой стороны, произошедшее в течение последних лет бурное развитие информационных и компьютерных технологий [2] позволяет разрабатывать и применять более совершенные методы и алгоритмы контроля и диагностирования технического состояния объектов.

Исследованию вопросов повышения достоверности диагностических выводов СТД посвящен ряд работ [1…7]. В [1,7] предложено расширение признакового пространства принятия решений и повышения достоверности диагностических выводов СТД на основе использования многомерного анализа временных рядов. Работа [3] посвящена применению алгоритмов нечеткой логики при обработке диагностической информации о техническом состоянии судовых дизелей. В [4] обоснован выбор информационных сигналов для систем управления и технической диагностики дизель-генераторов.

Целью данной работы является построение нелинейной регрессионной модели температурного режима судового дизель-генераторного агрегата на основе исследования и ранжирования диагностических параметров его технического состояния.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи:

1. Проведение физических экспериментов в реальных условиях эксплуатации судовых ДГА, направленных на сбор статистических данных, характеризующих их техническое состояние, а также систематизация и анализ полученных данных.

2. Разработка нелинейной регрессионной модели температурного режима судового дизель-генераторного агрегата и ее компьютерная реализация с использованием современных программных средств.

Натурные эксперименты, связанные со сбором статистических данных о техническом состоянии судовых ДГА балкера водоизмещением 50000 т., проводились с учетом метеорологических условий в период с 16.10.2017 г. по 27.03.2018 г. в различных режимах работы судна (ходовом, маневренном, стояночном с грузовыми операциями и стояночном без грузовых операций).

Исследуемая СЭЭС состояла из трех ДГА, в составе которых использованы дизельные двигатели модели 6EY18L производителя YANMAR и генераторы производителя HYUNDAI. Параметры ДГА контролировались двумя системами мониторинга: EPM (Enamor Power Monitor) и Kongsberg K-Chief 600 [5]. Система EPM контролирует и анализирует электроэнергетические параметры [6], вырабатываемые синхронными генераторами (напряжение, силу тока, частоту, мощность, коэффициент мощности и т.д.). Передача полученных данных осуществляется по стандарту RS 485 в формате NMEA («National Marine Electronics Association») другим судовым системам мониторинга, в том числе основной системе мониторинга Kongsberg K-Chief 600. Эта система контролирует диагностические параметры, по которым определяется техническое состояние судовых ДГА. К таким параметрам относятся: температура выходящих газов цилиндров, температура газов на входе в турбонагнетатель, температура контура охлаждения пресной водой на входе и выходе и другие.

Для фиксации значений параметров экспериментов была создана специальная электронная таблица, в которую каждые 24 часа заносились значения

диагностических параметров судовых ДГА. Систематизация экспериментальных данных позволила получить общий массив данных, состоящий из 30 векторов параметров, каждый длиной по 162 значения.

Статистический анализ данных, полученных в результате натурных экспериментов, позволил выделить взаимосвязанную совокупность диагностических параметров, наиболее важных для оценки технического состояния судовых ДГА. К таким параметрам относятся температуры выходящих газов каждого цилиндра исследуемых дизелей и ток (мощность при постоянном напряжении) нагрузки. Эти параметры характеризуются значительной изменчивостью в процессе функционирования ДГА, в то время, как коэффициенты их взаимокорреляции превышают 0,84 и являются значимыми. Дополнительно следует учитывать расход топлива, изменение оборотов и давления в цилиндрах, однако при этом возрастает размерность признакового пространства оценки технического состояния ДГА.

Подтвержденная статистическая взаимосвязь диагностических параметров ДГА позволила предложить и обосновать нелинейную регрессионную модель изменения средней температуры цилиндров от изменения тока нагрузки. Точность предложенной модели соответствует точности измерительных каналов. Нелинейное преобразование признакового пространства технического состояния ДГА позволяет существенно снизить вероятность “ложных тревог” и охватить весь диапазон нагрузок.

Выводы. Анализ экспериментальных данных технического состояния судовых ДГА позволил выделить наиболее значимые диагностические параметры. Предложенная нелинейная регрессионная модель изменения средней температуры цилиндров от изменения тока нагрузки ДГА дает возможность усовершенствовать алгоритмы диагностирования технического состояния ДГА, повысить достоверность диагностических выводов СТД и снизить вероятность “ложных тревог”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гвоздева И. М. Трендовый контроль в современных системах диагностики судовых энергетических установок / И. М. Гвоздева, В. В. Демиров // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2016. – № 3. – С. 191–194.

2. Интернет ресурс - https://www.economist.com/technology-quarterly/2016-03-12/after-moores-law

3. Надеев А. И., Диагностика технического состояния судовых дизелей на основе интеллектуального анализа данных / А. И Надев, Х. Н. Буй, С. Ф. Васильевич // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. – 2011. – № 2.

4. Борисенко А. Н. Обоснование и выбор информационных сигналов для систем управления и технической диагностики дизель-генераторов/ А. Н. Борисенко, Б. И. Кубрик, О. В. Лавриненко и др. // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Автоматика и приборостроение. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 57. – С. 3–8.

5. Kongsberg K-Chief 600 Power Management System Operator Manual – December 2012 – Rev. C –P. 16.

6. ELECTRIC POWER MONITOR – EPM REMOTE MONITORING OF POWER GENERATED ONBOARD. - Gdynia, Poland. – P. 11–12.

7. Hvozdeva, I. The Metod of Trend Analysis of Parameters Time SeriesGas-turbine Engine State / I. Hvozdeva, V. Myrhorod, Y. Dtrenh / 9th International Conference for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences – AMiTaNS’17, AIP Conference Proceedings; 2017, 1895, pp. 030002-1-030002-9, DOI: 10.1063/1.5007361.

РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ ТА ЗВ'ЯЗОК

УДК 681.518.5

КИБЕРЗАЩИТА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВНУТРИСУДОВОЙ СВЯЗИ

Ю. С. Шевцов, к. т. н., доцент
Л.А. Перонкова, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Проанализирована важная роль увеличения киберзащиты информационных систем на судах. Показаны факторы, снижающие надежность радиоэлектронного оборудования. Предложен способ защиты информационных систем.*

Ключевые слова: *киберзащита, информационные системы, радиоэлектронное оборудование.*

Интенсивное использование морского флота увеличивает его численность, а так же возрастает интенсивность судоходства на морских путях, на подходах портам и в их районах. На фоне этого в последние двадцать лет морской транспорт начал активную модернизацию и стандартизацию систем обеспечения безопасности мореплавания, а именно систем навигации, кибербезопасности, радиосвязи, экологической и пожарной безопасности.

Сегодня морской транспорт является важнейшей частью торговли обеспечивающий экономическое объединение стран в мировом сообществе осуществляя крупномасштабные (по тоннажу и дальности) перевозки при более низких ценах по сравнению с другими способами транспортировки.

Двадцать лет назад активный процесс модернизации охватил мировую Глобальную морскую систему связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ), первостепенной задачей которой является обеспечение морского транспорта радиосвязью во всех морских районах плавания.

Тенденция сегодняшних дней приводит к увеличению числа судовых радиоэлектронных систем и приборов.

Довольно часто на судах используются:

- переносная Радиостанция УКВ ГМССБ STV-160;
- стационарная ПВ/КВ радиоустановка HLD-MF/HF 6300;
- УКВ радиотелефон класса А JHS-770S;
- ИНМАРСАТ-С с приемником РГВ JUE-87;
- передатчик сигнала бедствия AIS-SART SAR-16.

В свою очередь, современная радиоэлектронная аппаратура становиться все более компьютеризованной и в свою очередь решает более сложные, ответственные и уникальные задачи. Но именно это и делает судовые системы более уязвимыми для кибератак. Отказ или взлом одного из технических устройств может привести к серьезным последствиям. Это имеет отношение к судовым радиоэлектронным средствам связи, так как навигационное оборудование, на судне имеет многократное информационное и структурное сохранение, это означает что навигационную информацию можно получить от нескольких ис-

точников дублирующих друг друга. Уязвимость затрагивает электронно-картографическую навигационно-информационную систему (ЭКНИС), которая предоставляет экипажам альтернативу использованию бумажных карт злоумышленники могут использовать учетные данные по умолчанию для взлома системы, после чего изменить параметры местоположения судна. Так как ГМССБ состоит не только из судового оборудования связи, но из большого числа береговых станций, объединенных в единую сеть, то стабильная работа всей системы зависит от надежности каждого составляющего, хакерская атака или выход из строя одного из элементов приводит к сбоям всей сети ГМССБ, что в свою очередь может привести к потере курса, позднему оповещению о бедствии и запоздавшему оказанию помощи. За последние годы привычные нам системы связи и технологии их обслуживания претерпели существенные изменения. Помимо этого, на сегодняшний день, особенно в танкерном флоте, идет тенденция ухода от причальных устройств на так называемую эксплуатацию судов с выносных причальных устройств.

Новая концепция технической эксплуатации судового радиоэлектронного оборудования навигации и радиосвязи, основана на том что роль радиоэлектроника уменьшается или даже сводится к нулю, а их функции передаются операторам-судоводителям. Все больше и больше задач выполняет компьютер. Эта глобальная мировая тенденция позволяет получать высокую прибыль судовладельцами за счет сокращения штата, а также повышает надежность этой аппаратуры и делает принципиально возможными дальние длительные походы без квалифицированного технического обслуживания РЭС.

В случае успешной атаки злоумышленники могут изменить местоположение корабля в пределах 300 метров, а также информацию о его размере. Помимо этого, киберпреступники способны включать и отключать автоматическую идентификационную систему (AIS, Automatic Identification System) судна, что в свою очередь может создать экипажу множество проблем, в том числе привести к аварии.

Сложившаяся на морском флоте ситуация приводит к необходимости обеспечить высокий уровень надежности систем на весь рейс, что особенно важно при длительном плавании судов (в морских районах А3-А4), когда невозможно береговое техническое обслуживание судовых радиоэлектронных средств связи вследствие того, что судно не заходит в порты по 6-8 месяцев, Это, в частности, касается судов с большой валовой вместимостью (свыше 300 тыс. тонн), вход которых в большинство морских портов мира ограничен глубинами и стесненностью районов, что приводит к увеличению времени нахождения судовых РЭС без квалифицированного технического обслуживания.

Таким образом, для повышения уровня эксплуатационной надежности и поддержания его в течение всего плавания судна необходим новый подход к организации процесса технического обслуживания, когда проведение квалифицированного технического обслуживания и ремонта невозможно. Решением в сложившейся ситуации может стать структурная избыточность (в виде комплекта запасных модулей) повышающая надежность судовых РЭС, и, как след-

ствие, сокращение времени восстановления работоспособности и проведения профилактических работ.

Вывод: в первую очередь кибербезопасность судна находится в руках моряков. Киберпреступники нацелены не на судовые системы, а на отдельных работников – в том числе и на членов экипажей, которые часто оказываются самым слабым звеном в цепочке безопасности. Многие люди все еще не умеют распознавать в электронных письмах даже самые простые фишинговые схемы, что приводит к передаче персональной и корпоративной информации хакерам по электронной почте или сообщениям в социальных сетях. Даже что-то столь же простое, как зарядка смартфона с разъемом USB через терминал ECDIS может позволить хакерам получить доступ к системам судна. Обучение наших моряков базовым принципам защиты от кибератак – одна из главных линий защиты судоходной отрасли.

Методы защиты:

- шифрование трафика;
- мониторинг изменения сигналов и DoS-атак;
- контроль доступа;
- установка на все компьютеры антивирусных программ.

ЛИТЕРАТУРА

1. David Patraiko. Cyber security on board. // Seaways: The International Journal of The Nautical Institute/ September, 2014. – London – UK.: Stephens & George, Merthyr Tydfil, 2011. – p.9.
2. Демьянов В.В., Лицкевич А.П., Попов В.В. Проблемы обеспечения качества больших морских информационных систем связи. Новороссийск. — НГМА, 1997. — 367 с.
3. Евстратов В.А., Радиоэлектроника прогулочных судов. – М.: ТрансЛит, 2008. – 128 с
4. Правила разработки и применения системы управления безопасностью судов. – М.: Моркнига, 2018. – 16 с.

УДК 621.396.969

АВТОКОРРЕЛЯЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ И ОТКЛИК СОГЛАСОВАННОГО ФИЛЬТРА

В. М. Кошевой, д.т.н., профессор
Ю. Н. Орловский, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Особенностью радиотехнических информационных систем является то, что передача сигналов и их прием происходит на фоне помех. Действие помех снижает качество приема сигналов а, следовательно, и эффективность всей системы. Поэтому борьба с помехами в радиотехнических инфорформационных системах является одной из важнейших задач.*

Ключевые слова: *автокорреляционная функция, шум, согласованный фильтр, оптимальный фильтр, сигнал.*

Теория систем с расширенным спектром в значительной степени базируется на понятии автокорреляционной функции (АКФ) сигнала, являющейся

скалярным произведением двух копий одного и того же сигнала, сдвинутых по времени относительно друг друга на τ секунд.

Критерием качества работы фильтра является отношение сигнал/помеха в условиях шумовых полей.

Мощность сигнала на выходе фильтра:

$$P_c = S^2_{вых}(\tau) \Rightarrow P_c = \left(\int_{-\infty}^{\infty} w(t)s(t)dt\right)^2. \quad (1.1)$$

Мощность шума на выходе фильтра:

$$P_ш = \left(\int_{-\infty}^{\infty} w(t)x(t+\tau)dt\right)^2, \quad (1.2)$$

где x(t) – напряжение шума;

s(t) – напряжение полезного сигнала;

$$P_ш = \int_{-\infty}^{\infty} w(t)x(t+\tau)dt \cdot \int_{-\infty}^{\infty} w(t)x(t+\tau)dt_1 =$$

$$= \iint_{-\infty}^{\infty} w(t)x(t+\tau) \cdot x(t_1+\tau)w(t_1)dtdt_1 \quad (1.3)$$

Делаем замену $x(t+\tau) \cdot x(t_1+\tau) = \tau(t_1,t)$:

$$P_ш = \int_{-\infty}^{\infty} w(t) \cdot r(t_1,t)w(t_1)dtdt_1; \quad (1.4)$$

$$P_п = \int_{-\infty}^{\infty} w(t)\, r(t,t_1)w(t_1)dtdt_1; \quad (1.5)$$

$$r(t,t_1) = x(t+\tau)x(t_1+\tau); \quad (1.6)$$

$$P_c = \left(\int_{-\infty}^{\infty} w(t)s(t+\tau)dt\right)^2; \quad (1.7)$$

$$\frac{c}{п} = \frac{P_c}{P_п} = \frac{\left(\int_{-\infty}^{\infty} w(t)s(t+\tau)dt\right)^2}{\int_{-\infty}^{\infty} w(t)\, r(t,t_1)w(t_1)dtdt_1}; \quad (1.8)$$

Сигнал на выходе фильтра:

$$\int_{-\infty}^{\infty} w(t)s(t+\tau)dt = S_{вых}; \quad (1.9)$$

$$s(t)=p(t) \quad (1.10)$$

Рассмотрим вариант, когда сигнал представлен в форме прямоугольного импульса p(t) (рис. 1).

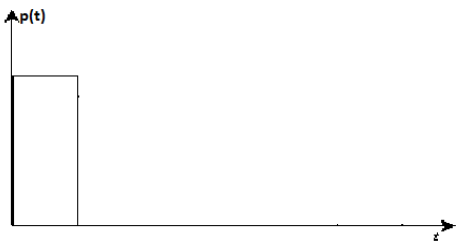


Рисунок 1 – Прямоугольный импульс

$$p(t) = \begin{cases} 1, & 0 \le t \le T_0 \\ 0, & \text{для других } t \end{cases}. \quad (1.11)$$

Импульсный отклик прямоугольного импульса:

$$w(t) = p(t). \quad (1.12)$$

Свертка двух прямоугольных импульсов равна:

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(t)p(t+\tau)dt.$$

В виду того, что сигнал на выходе фильтра имеет максимальное значение в точке от $\tau = 0$, то :

$$\frac{c}{\text{п}} = \frac{P_c}{P_п} = \frac{(\int_{-\infty}^{\infty} w(t)s(t)dt)^2}{\int_{-\infty}^{\infty} w(t)\, r(t,t_1)w(t_1)dtdt_1}. \qquad (1.13)$$

$$r\,(t,t_1) = x(t)x(t_1). \qquad (1.14)$$

Анализируя фильтр, мы можем сравнивать соотношения с/п и после этого делать соответствующие выводы.

Для данного случая запишем теорему Буняковского-Шварца:

$$\left(\int_{-\infty}^{\infty} w(t)s(t)dt\right)^2 \leq \int_{-\infty}^{\infty} w^2(t)dt \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t)dt; \qquad (1.15)$$

$$\frac{P_c}{P_ш} \leq \frac{\int_{-\infty}^{\infty} w^2(t)dt \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t)dt}{N_0 \int_{-\infty}^{\infty} w^2(t)dt}; \qquad (1.16)$$

$$\frac{P_c}{P_ш} \leq \frac{\int_{-\infty}^{\infty} s^2(t)dt}{N_0}; \qquad (1.17)$$

$$\frac{P_c}{P_ш} = \frac{E_c}{N_0}. \qquad (1.18)$$

Рассмотрев предельное значение соотношения мощностей для случая, когда помехой является белый шум, можем сделать вывод, что для данной помехи, фильтр является оптимальным (достигается максимальное отношение с/п).

ЛИТЕРАТУРА

1. Цифровая обработка сигналов: учебник для студ. учреждения высш. проф. образования/ С.Н.Воробьёв – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 320с.

2. Системы связи с шумоподобными сигналами/ Л.Е.Варакин – М.: Радио и связь, 1985. – 384с., ил.

УДК 681.5.013

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ФИЛЬТРА

В.М. Кошевой, д.т.н., профессор
М.Ю. Бочарова, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Рассмотрено нахождение оптимального фильтра для сигнала в случае белого шума. Показано, что оптимальным фильтром является согласованный фильтр.*

Ключевые слова: *сигналы, шумы, фильтры, оптимальные фильтры, белый шум.*

Особенностью радиотехнических информационных систем является то, что передача сигналов и их прием происходит на фоне мешающих факторов – помех. Действие помех снижает качество приема сигналов, а, следовательно, и эффективность всей системы. Поэтому борьба с помехами в РТИС является одной из важнейших задач.

Случайные шумовые процессы описываются функциями автокорреляции и спектральной мощностью шума. Модели случайных процессов (сигналов) с заданными статистическими характеристиками обычно получают фильтрацией белого шума.

В практике обработки данных используются три основных критерия построения оптимальных фильтров: минимум среднего квадратического отклонения профильтрованного сигнала от его действительного или заданного значения, максимум отношения сигнал/шум и максимум энергетического отношения сигнал/шум на выходе фильтра.

В данном случае мы возьмем за основу критерий отношения сигнал/шум, то есть оптимальный фильтр – фильтр, обеспечивающий на выходе максимальное соотношение сигнал/помеха.

$$\Pi_ш = N_0 \iint_{-\infty}^{+\infty} w(t) * \delta(t - t_1) * w(t_1) dt\, dt_1 =$$

$$= N_0 \int_{-\infty}^{+\infty} w(t) \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t - t_1) * w(t_1) dt_1 dt$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} w(t_1) * \delta(t - t_1)\, dt_1) = w(t)$$

$$\Pi_ш = N_0 \int_{-\infty}^{+\infty} w(t) * w(t)\, dt = N_0 \int_{-\infty}^{+\infty} w^2(t) dt$$

(Для белого шума)

$$\frac{C}{\Pi_ш} = \frac{(\int_{-\infty}^{+\infty} s(t) * w(t)\, dt)^2}{N_0 \iint_{-\infty}^{+\infty} w(t) * \delta(t - t_1) * w(t_1) dt\, dt_1}$$

где C – мощность сигнала

$\Pi_ш$ – мощность шума

s(t) – сигнал

$w(t)$ - фильтр

$\delta(t - t_1)$ – дельта-функция

S(t) - определенный полезный сигнал на фоне различного рода помех (шумов), при этом спектр помех в общем случае представлен по всему интервалу главного частотного диапазона и наложен на спектр полезного сигнала. В этих условиях ставится задача реализации оптимальных фильтров, которые позволяют достаточно надежно производить обнаружение сигнала, наилучшим образом выделять сигнал на фоне помех или подавлять помехи без существенного искажения сигнала.

Для того, чтобы определить оптимальный фильтр необходимо найти такое $w(t)$, при котором $\frac{C}{\Pi_ш}$ будет достигать своего максимального значения. Для его нахождения воспользуемся неравенством Буняковского-Шварца.

$$\left(\int_{-\infty}^{+\infty} s(t) * w(t)\,dt\right)^2 \leq \int_{-\infty}^{+\infty} s^2(t)\,dt * \int_{-\infty}^{+\infty} w^2(t)dt$$

$$\frac{C}{\Pi_ш} \leq \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} s^2(t)\,dt \int_{-\infty}^{+\infty} w^2(t)dt}{N_0 \int_{-\infty}^{+\infty} w^2(t)\,dt}$$

При $w(t) = s(t)$ соответственно достигается равенство в представленном выше выражении. Следовательно, согласованный фильтр $w(t) = s(t)$ является оптимальным в случае белого шума.

И тогда отношение сигнал/шум достигнет значения:

$$\frac{C}{\Pi_ш} = \frac{\left(\int_{-\infty}^{+\infty} s^2(t)\,dt\right)^2}{N_0 \int_{-\infty}^{+\infty} s^2(t)\,dt} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} s^2(t)\,dt}{N_0}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Варакин Л. Е., Теория сложных сигналов. Москва, 1970.
2. Плетнева И.Д., Джиган В.И. Моделирование обработки сигналов в цифровых антенных решетках. Исследования в области цифровых систем связи (Межвузовский сборник). МИЭТ, 2007. С. 36–43.
3. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники (Книга первая) / Б. Р. Левин. – М.: Советское радио, 1974. – 550 с.

УДК 004.94:629.5

СМОТРИТЕ НА МИР «РЕАЛЬНО». АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИИ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

А. В. Шишкин, к.т.н., доцент
А. А. Орловская, курсант
А. И. Чулак, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Многие морские аварии были вызваны ошибкой человека, включая такие вещи, как неадекватное наблюдение за часами и/или ошибки при обработке судов. Кроме того, новое навигационное оборудование было разработано с использованием технологии информационных технологий (ИТ) для предоставления различных видов информации для безопасной навигации. Несмотря на эти усилия, сокращение морских аварий не произошло в той степени, в которой ожидается, потому что навигационное оборудование предоставляет слишком много информации, и эта информация не является хорошо организованной, так что пользователи считают ее сложной, а не полезной. В этой точке зрения, метод представления навигационной информации более важен, чем количество этой информации и исследований, необходимых для представления информации, чтобы сделать эту информацию более понятной и позволять принимать решения правильно и оперативно. В этой статье*

мы используем технологии расширенной реальности (AR) для представления информации. AR - это трехмерная компьютерная графическая технология, объединяющая виртуальную реальность и реальный мир. В последнее время эта технология широко применяется в нашей повседневной жизни, поскольку она может более эффективно предоставлять информацию пользователям. Поэтому мы предлагаем новую концепцию - навигационную систему, основанную на технологии AR.

Ключевые слова: *дополненная реальность, виртуальная реальность, АИС, безопасность, информационные технология, навигация.*

SEA использовала использование виртуальной реальности (VR) и расширенной реальности (AR) в технологии моделирования обучения для разработки нового инструмента Ситуационной осведомленности (SA) для офицера корабля Watch (OOW).

Рисунок 1 – Технология дополненной реальности

Технология AR, представленная в DSEI, использует Microsoft Hololens, чтобы представить единую плавную картину всей необходимой информации, необходимой OOW, поскольку он управляет курсом судна в переполненном морском пути, используя каналы данных из таких источников, как радар и Электронный картографический дисплей и информационная система военного корабля (WECDIS). Его ценность в качестве помощи командам и контролю улучшается в ночное время или периоды плохой видимости и позволяет OOW поддерживать осведомленность о головном уходе с моста, а также предоставлять данные для точек интереса, невидимых невооруженным глазом.

Система выделяет фиксированные и динамические опасности, идентифицирует суда с близким горизонтом и над горизонтом, используя систему автоматической идентификации судна (AIS) и предоставляет информацию о дорожке, а также предлагает рекомендуемый курс для предотвращения действий.

Предпочтительная отображаемая информация является гибкой и может быть отфильтрована в зависимости от текущей задачи. Другие преимущества живого расширенного дисплея включают в себя более глубокое понимание точек интереса и наблюдения за дружественными силами, лучшее прогнозирование угроз, более эффективное использование разведывательных данных и лучшее понимание влияния дуг. Соединяя соответствующие данные, OOWs могут ускорить принятие решений, чтобы повысить их силовую эффективность.

Инновационная технология была разработана с использованием продуктов SEEC DECK *sim,* используемых RN, иностранными военно-морскими сила-

ми и гражданскими операторами для обучения сотрудников Flight Deck (FDO). Он также может использоваться для обучения и является инструментом SA, который может применяться как на морских, так и на коммерческих судах.

Исполнительный директор по развитию бизнеса SEA Энди Макгоуэн объяснил: «AR - это очень эффективный способ управления информационной нагрузкой сотрудника «Наблюдателя», а не отображения всей информации. AR используется для отображения только необходимой информации в реальном времени, состав которой полностью настраивается и может происходить из разных источников».

Помимо приложения OOW, SEA полагает, что инструмент управления AR может использоваться в наземных приложениях, в частности командирами транспортных средств, которые выиграют от просмотра AR, а не постоянной ссылки на экраны управления полетом.

Вступление

В последнее время ситуация с морским транспортом стала свидетелем значительного увеличения трафика и тенденций к более крупным и быстрым судам, что привело к большему риску морских аварий. Данные из Корейского суда по безопасности на море выявили устойчивый рост морских аварий за последние пять лет, причем 80% таких аварий были вызваны ошибками во время эксплуатации. Среди всех аварий столкновения были наивысшими по численности и в основном вызваны человеческими ошибками, такими как халатность, и количество морских аварий продолжает увеличиваться вместе с ущербом (Министерство океанов и рыболовства, 2015 год). Чтобы предотвратить или помочь смягчить эту проблему, в режиме реального времени предоставляется судовой навигатор через систему обслуживания судов (VTS) и систему помощи в навигационную систему, а соответствующие законы по всему миру проводятся для предотвращения морских аварий. Кроме того, разрабатываются навигационные системы с передовыми ИТ-технологиями для предоставления различных данных навигаторам для обеспечения более безопасной работы; однако такое сложное оборудование может быть большей нагрузкой для навигаторов и мешать безопасной эксплуатации. Нельзя предположить, что все навигационное оборудование предоставляет полезную информацию навигаторам, и, следовательно, необходимо проанализировать текущие ограничения различных типов навигационного оборудования и решения таких ограничений с точки зрения навигаторов.

Согласно результатам анализа операций мостов, проводимых ПДНВ (Международная конвенция о стандартах обучения, сертификации и несения вахты для моряков), самой большой проблемой с навигационным оборудованием в настоящее время является предоставление чрезмерной и ненужной информации или ненадлежащих методов предоставления данных. В частности, в настоящее время функции оповещения в отношении чрезвычайных ситуаций предоставляются через RADAR и ECDIS, но такие предупреждающие сообщения доставляются через текстовые сообщения или звуковые сигналы тревоги, которые являются неэффективными и не интуитивными, поэтому этот аспект

требует дальнейшего улучшения. Кроме того, необходимо дополнительно изучить эффективные способы доставки информации для ограниченного пространства экрана (Jeong JS, 2012). В этом отношении в этом документе предлагается система навигации, основанная на технологии AR (дополненная реальность), которая может использоваться в средах моста в качестве интуитивного средства доставки информации. Экспериментирование проводилось для изучения прикладного потенциала предлагаемой системы.

Анализ исследования

Как упоминалось выше, сложность навигационного оборудования в мосту может препятствовать безопасной эксплуатации; таким образом, системы навигационной помощи, разработанные в будущем, должны поддерживать процесс принятия решений навигатором посредством эффективных методов предоставления информации, а не просто увеличивать объем предоставленной информации. Более того, интуитивность предоставляемых навигационных данных является критическим элементом, который может разрешать проблемы, вызванные чрезмерной информацией. Этот документ призван улучшить это, используя технологию дополненной реальности.

Augmented Reality - это область виртуальной реальности, которая объединяет виртуальные объекты или информацию в реальную среду с помощью компьютерной графической технологии, чтобы виртуальные объекты, как представляется, исходили из существующей среды. Эта технология позволяет отображать информацию, перекрывая информацию на изображениях реального мира. Учитывая, что данные, полученные с помощью наблюдений, занимают значительную часть предоставленных данных о работе судна, этот метод использования дополненной реальности как метода обеспечения информации на мосту может быть очень эффективным.

В настоящее время проводятся различные исследования в отношении таких технологий дополненной реальности наряду с недавней разработкой мобильных устройств, а приложения к различным отраслям промышленности, включая аэрокосмические, автомобильные и корабли, быстро растут. Технология отображения расширенной реальности, система HUD (Heads-Up Display) используется в истребителях и коммерческих авиалайнерах для хранения времени пилота и повышения возможностей пилота (Kim KH 2008). В настоящее время предпринимаются попытки применить эту технологию HUD для автомобильной промышленности, чтобы минимизировать визуальные помехи для водителя, предоставляя при этом важную информацию. Как правило, корабли относительно медленнее, чем самолеты или автомобили. Однако навигационное оборудование было диверсифицировано с разработкой новых технологий. Поэтому офицеры кораблей запрашивают эффективное отображение информации на мосту, а различные системы навигационных средств исследуются и разрабатываются с использованием технологии дополненной реальности в качестве средства отображения данных.

В проекте европейской электронной навигации ACCSEAS, носимая система навигационных средств, была разработана с использованием HMD (Head-

Mounted Display), как показано на рис. 2 (a), чтобы повысить скорость распознавания навигатора. Хотя были проведены симуляционные эксперименты, дальнейшие исследования с использованием данных о местоположении корабля и навигатора по-прежнему необходимы для точной регистрации (ACCSEAS, 2015). Кроме того, недавно были разработаны различные приложения для поддержки навигации для мобильных устройств, как показано на рис. 2 (b), и такие приложения используются в навигации небольших кораблей, таких как яхты (B & G, 2015).

Рисунок 2 – Пользовательские интерфейсы навигационной системы AR (a) Проект ACCSEAS, (b) Мобильное приложение SeaNav, B & G

Однако эти системы имеют разные пользовательские интерфейсы, различные методы отображения информации и различные типы данных, выраженные без согласованного стандарта, вызывая неудобства для пользователя и ограничения в их использовании. Кроме того, нескромное предоставление неточных данных может привести к серьезным проблемам, таким как морские аварии, что еще больше требует изучения того, какие данные должны быть показаны, и как такие данные будут доставлены (Olivier Hugues, 2010). В этой статье было проведено исследование навигаторов для определения ключевых элементов, необходимых для навигации, и затем мы предлагаем расширенный интерфейс, основанный на реальности, который может эффективно выражать такие данные. Кроме того, детально описана система навигационной помощи для реализации предлагаемого интерфейса, и мы рассматриваем экспериментальные результаты с помощью тренажера для обработки судов и открытого морского теста для проверки эффективности предлагаемой системы.

Система навигационных средств на основе AR

1. Требования пользователя

В качестве первого шага в разработке и внедрении системы навигационной помощи, дополненной реальностью, был проведен опрос для анализа требований пользователей. Этот опрос состоял из вопросов для определения необходимых навигационных данных, эффективных методов представления таких данных и расположения или расположения представления данных. Опрос был завершен 20 опытными офицерами судов. Анализ результатов опроса показал, что большинство респондентов предпочитают навигационные данные, которые должны быть представлены и упорядочены таким образом, как они представлены в текущем навигационном оборудовании, и желаемые новые функциональные возможности, включая отображение расстояния до фарватера.

2. Дизайн пользовательского интерфейса

Информация для системы навигационных средств была разделена на:

1) данные о собственном владении в эксплуатации,

2) данные о транспортных судах

3) данные ECDIS на основе результатов анализа результатов опроса.

Как показано на рис. 3 данные о работе судна в основном отображаются через ODD (отображение служебных данных) на мосту, состоящий из местоположения, подшипника, скорости и скорости поворота (RoT) и отображаются в верхней части дисплея дополненной реальности используя интуитивно понятный интерфейс, такой как график. Данные транспортных судов отображаются в виде наложений в соответствующих положениях, где подробные данные были дополнительно отображены, когда пользователь выбрал данные. Подробные данные были созданы на основе данных AIS, а цели RADAR и AIS были выделены с использованием символов. Данные ECDIS были выборочно отображены на месте нахождения судна в эксплуатации и соответствуют стандарту символа ENC (Electronic Navigational Charts). Кроме того, пользователь смог выбрать, отображать ли данные, например, загрузить изображение с высоким разрешением (220 КБ) или же загрузить полноразмерное изображение.

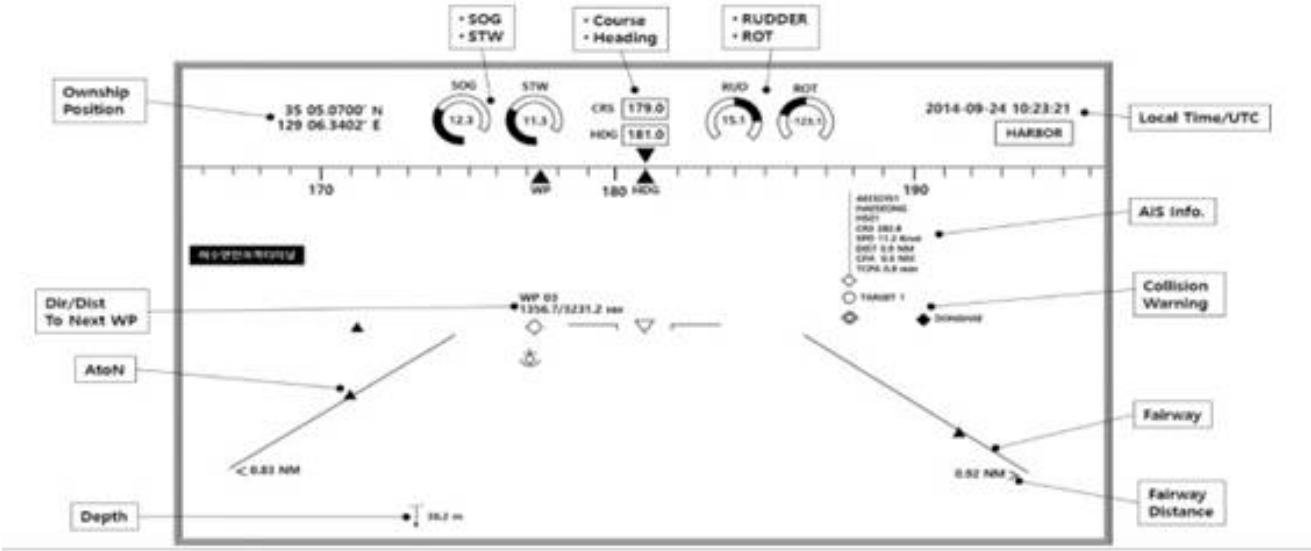


Рисунок 3 – Пользовательский интерфейс навигационной системы AR

3. Конфигурация системы

Аппаратное обеспечение системы состоит из камеры PTZ (Pan/Tilt/Zoom), AHRS (справочная система отношения и заголовка), NMEA Combiner и пользовательской консоли с дополнительным джойстиком для управления камерой. Программная система состоит из модуля диспетчера данных, модуля пользовательского интерфейса, модуля регистрации и модуля увеличения изображения. На рис. 4 показан поток данных между каждым модулем.

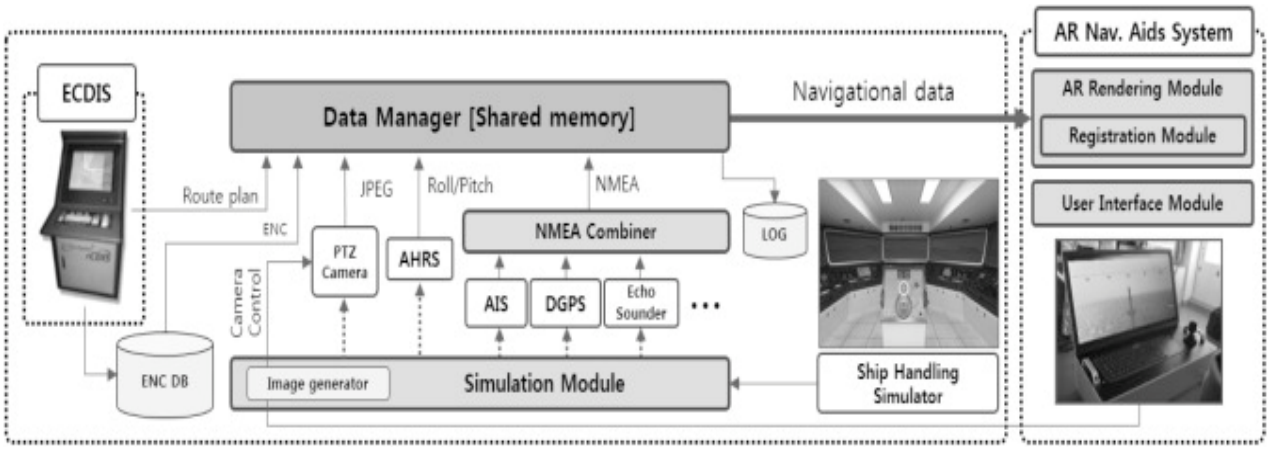


Рисунок 4 – Конфигурация системы навигационных средств на основе AR

1. Загрузить изображение с высоким разрешением (274KB)
2. Загрузить полноразмерное изображение

Первый этап системы собирает навигационные данные через сумматор NMEA, а данные ENC и запланированные данные маршрута извлекаются через модуль интеграции ECDIS. После этого модуль пользовательского интерфейса использует собранные навигационные данные для генерации элементов компонента отображения, обработки пользовательского ввода, например, через джойстик, и, наконец, генерирует увеличенное изображение в реальном времени через модули регистрации и визуализации для предоставления навигатору. В этом эксперименте симуляторная система также использовалась для проведения испытаний в различных морских условиях, и для этого был включен модуль интеграции симулятора. Подробные спецификации каждого модуля заключаются в следующем.

a. Модуль диспетчера данных

Модуль диспетчера данных обрабатывает навигационные данные, собранные с различных навигационных устройств моста, и выполняет функции интеграции и управления. Собранные навигационные данные в нашем эксперименте соответствовали стандарту NMEA-0183, были синхронизированы на основе времени GPS (UTC, Universal Time Coordinated) и были совместно с другими модулями через общую память.

b. Модуль ECDIS

ENC - это диаграммы векторного типа, которые соответствуют спецификациям Международной гидрографической организации (IHO), содержащимся в публикации S-57. S-57 включает в себя различные классы объектов объектов и их атрибуты. Предлагаемая система извлекает и использует элементы, необходимые для системы навигационных средств дополненной реальности, из данных ENC ECDIS. Данные, определенные путем анализа требований, извлекаются из ENC, а извлеченные данные затем сохраняются в отдельной системе базы данных и отображаются выборочно в зависимости от местоположения собственного устройства. Кроме того, расстояние до следующей путевой точки и расчетных данных времени прибытия рассчитывается из плана маршрута, введенного через ECDIS.

c. Интерфейсный модуль Unser

Модуль пользовательского интерфейса представляет собой пользовательский интерфейс (GUI), предоставляемый навигатору, и выполняет задачу обработки пользовательского ввода с помощью мыши и джойстика. Кроме того, компоненты отображения генерируются с использованием собранных навигационных данных, и отображается возможность отображения каждого компонента вместе с его цветом.

d. Модуль расширенного изображения

В модуле рендеринга расширенного изображения расширенное изображение генерируется путем интеграции собранных навигационных данных и данных ENC. Чтобы сгенерировать увеличенное изображение, расширенные элементы расположены в виртуальном трехмерном пространстве и интегрированы с изображением реального мира в реальном времени. В этом исследовании для повышения производительности рендеринга изображений использовался трехмерный графический движок (Unity3D), поддерживающий ускорение GPU. Кроме того, процесс регистрации соответствия местоположения виртуального объекта с позицией образа реального мира должен быть выполнен заранее для системы виртуальной реальности. В этом модуле,

e. Модуль интеграции симулятора

В этом исследовании использовался тренажер для обработки кораблей, чтобы оценить применимость внедренной навигационной поддержки и системы навигации, основанной на реальности, для различных морских условий. Модуль интеграции симулятора фактически генерировал данные изображения камеры и датчика, а период генерации и типы используемых данных были идентичны фактической судовой среде.

Эксперименты

В этом исследовании прототип системы навигационной помощи AR был изготовлен на основе внедренной технологии. Используя прототип, были выполнены имитационные и реальные эксперименты с применением корабля. Для каждого эксперимента каждая функция прототипа была проверена на нормальные операции, была оценена применимость к среде моста, и была оценена удобство использования в качестве навигационного оборудования.

Заключение

Несмотря на то, что доступны различные типы навигационного оборудования с передовыми технологиями для повышения безопасности операций для навигаторов, необходимы дальнейшие исследования по методу эффективного отображения и обслуживания информации, а не без разбора, обеспечивая щедрость информации. В этой связи в этом документе предлагается система навигационной помощи, основанная на технологии расширенной реальности, и предлагаемая система предоставляет различные наложенные навигационные данные о изображениях с камер для поддержки быстрого и точного принятия решений сотрудниками. Для проверки работоспособности системы были проведены эксперименты по моделированию корабля и реальному использованию

судна. В ходе наших экспериментов была проверена стабильная работа аппаратного и программного обеспечения прототипа в реальной среде судна. В исследовании, проведенном после эксперимента, большинство участников дали положительную обратную связь в отношении системы навигационной помощи с расширенной реальностью, но выразили озабоченность по поводу увеличения рабочей нагрузки с нового навигационного оборудования. Были также случаи, когда ошибки регистрации возникали во время регистрации расширенного изображения из-за ошибок местоположения от GPS, и были идентифицированы элементы, которые нуждаются в улучшении, включая трудности с различием данных из-за чрезмерного объема информации, отображаемой на горизонте.

По мере продолжения исследований и разработок различные системы навигационных средств, основанные на прозрачных дисплеях, будут дополнительно развиваться и использоваться на мосту, чтобы максимизировать эффект технологий дополненной реальности. Ожидается, что такое использование технологии расширенной реальности предотвратит морские аварии и повысит эффективность эксплуатации судов в будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тенденции электроники и телекоммуникаций, 23 (1) (2008), стр. 153 – 162
2. Причинный анализ морской аварии [Электронный ресурс] http://www.mof.go.kr
3. ACM. Международная конференция по виртуальной реальности (2010), стр. 87 – 92

УДК 629.12-8.005

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ТА ВИКОРИСТАННЯ СТАБІЛІЗАТОРІВ НАПРУГИ НА ІМС

В.А. Завадский, к.т.н., професор
Р.Е. Зубков, курсант
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Проведено аналіз методів розрахунку компенсаційних стабілізаторів напруги на інтегральних мікросхемах, проаналізовано використання стабілізаторів постіної та регульованої напруги в якості систем автоматичного регулювання, наведено приклади необхідних розрахунків.*

Ключові слова: *струм, напруга, компенсаційний стабілізатор, параметричний стабілізатор.*

Компенсаційні стабілізатори напруги уявляють собою систему автоматичного регулювання, в якій із заданою точністю підтримується постійна напруга на виході незалежно від зміни напруги на вході стабілізатора. Такі стабілізатори дають можливість стабілізувати напругу при великих струмах навантаження і значних змінах вхідної напруги. Вони мають більший, ніж параметричні стабілізатори коефіцієнт стабілізації напруги і менший вихідний опір і широко застосовуються для живлення різноманітних електронних пристроїв суднового обладнання з фіксованим значенням напруги.

Компенсаційні стабілізатори напруги виготовляються у вигляді закінчених ІМС. Схема увімкнення таких стабілізаторів залежить від типу ІМС. Для стабілізаторів, які розраховуються в роботі, схема увімкнення наведена на рис.1 [1].

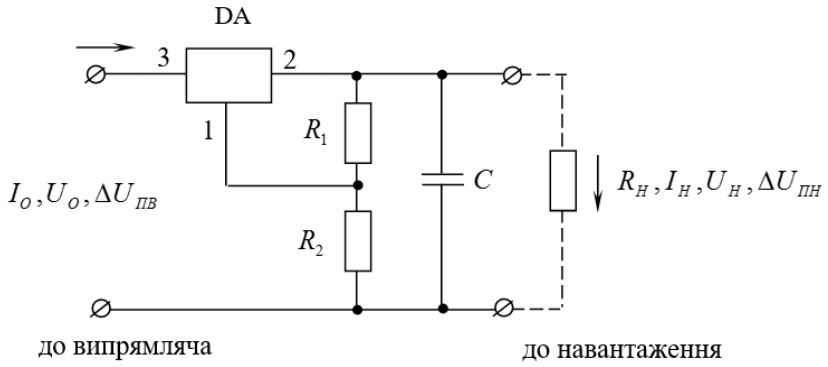


Рисунок 1 – Електрична принципова схема компенсаційного стабілізатора постійної напруги на ІМС

Вхідними даними для розрахунку компенсаційного стабілізатора напруги на ІМС являються:

- вихідна напруга на навантаженні U_H;
- допуск на відхилення заданої напруги на навантаженні ΔU_H;
- вихідний струм навантаження I_H;
- амплітуда напруги пульсацій на виході стабілізатора $\Delta U_{ПН}$.

Інший тип - компенсаційні стабілізатори **регульованої** напруги уявляють собою систему автоматичного регулювання, в якій в заданих межах по зміні значення змінного резистора, підтримується постійна напруга на виході незалежно від зміни напруги на вході стабілізатора. Такі стабілізатори також дають можливість стабілізувати напругу при великих струмах навантаження і значних змінах вхідної напруги. Схема увімкнення таких стабілізаторів залежить від типу ІМС. Для стабілізаторів, які розраховуються, схема увімкнення наведена на рис.2. Якщо движок змінного резистора знаходиться в нижньому положенні, то на виході стабілізатора виникає мінімальна напруга $U_{H\min} = U_H - \Delta U_H$. Якщо движок змінного резистора знаходиться у верхньому положенні, то на виході стабілізатора виникає максимальна напруга $U_{H\max} = U_H + \Delta U_H$. Такі стабілізатори широко застосовуються для живлення електронних пристроїв суднового обладнання що вимагають зміну напруги живлення в ході експлуатації.

Вхідними даними для розрахунку компенсаційного стабілізатора регульованої напруги на ІМС є:

- мінімальна вихідна напруга на навантаженні $U_{H\min} = U_H - \Delta U_H$;
- максимальна вихідна напруга на навантаженні $U_{H\max} = U_H + \Delta U_H$;
- вихідний струм навантаження I_H;
- амплітуда напруги пульсацій на виході стабілізатора $\Delta U_{ПН}$.

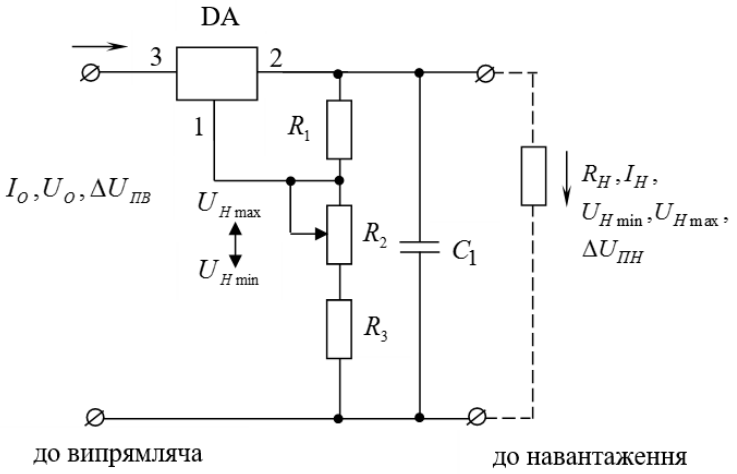


Рисунок 2 – Електрична принципова схема компенсаційного стабілізатора регульованої напруги на ІМС

В роботі наведено приклади реальних розрахунків необхідних параметрів таких стабілізаторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Радіотехніка і електроніка: методичні вказівки для виконання розрахунково-графічних робіт / Укл. В.А. Завадський, С.М. Дранчук. – Одеса: НУ «ОМА», 2018. – 43 с.

2. Завадский В.А., Дранчук С.Н. Основы электроники: Учебное пособие для курсантов судоводительских и судоэнергетических специальностей. – Одесса: ОНМА, 2009. – 172 с.

3. Завадский В.А., Михайлов С.А. Элементная база судовой электронной аппаратуры: Учебное пособие, Одесса: ОНМА, 2006. – 309

УДК 621.396

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОГРАММИРОВАННОГО РАДИО В МОРСКОЙ РАДИОСВЯЗИ

В.В. Грищенко, ст. преподаватель
Ю. В. Маляренко, ст. преподаватель
А. А. Орловская, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Используемая на морском флоте глобальная система связи при бедствии и для обеспечения безопасности морально устарела и сегодня находится в стадии пересмотра и модернизации, основное направление которой — интеграция связного оборудования с другим судовым оборудованием в соответствии со стратегией электронной навигации. Для реализации этой стратегии, а также учитывая, что на морском флоте используется связное оборудование различных диапазонов частот, необходимо использование технологии программируемого радио (SDR – Software Defined Radio).*

Ключевые слова: *ГМССБ, программированное радио, навигация, цифровая обработка, когнитивное радио.*

В настоящее время для обеспечения безопасности мореплавания на морском флоте используются или находятся на стадии внедрения различные судовые и береговые системы связи и навигации.

Увеличение их количества и повышение уровня автоматизации всех процессов судовождения, без должной унификации и интеграции оборудования и применения его по единым правилам, влечет за собой повышение степени риска ошибки судоводителя и не позволяет в полной мере использовать возможности навигационных и связных систем.

Дальнейшим техническим решением по интеграции оборудования Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ, англ. Global Maritime Distress & Safety System — GMDSS) стало использование виртуальных панелей управления оборудованием ГМССБ. Однако при таком построении, когда необходимое оборудование, выполняющее жестко определенные функции, конструктивно размещается в единой консоли, а его интеграция осуществлялась путем объединения в единую систему по цепям управления, любое изменение конфигурации консоли требовало ее аппаратной доработки [1].

Для реализации этого устройства связи должны обладать высокой масштабируемостью и гибкостью решений, когда возможно использование одной и той же аппаратной конфигурации для реализации различных разнотипных устройств, обладающих способностью переключаться между каналами, изменять тип модуляции и т.д.

В результате имеющаяся аппаратная платформа может быть легко перепрограммирована для поддержки каких-либо новых стандартов обмена данными.

Создание систем радиосвязи, действительно интегрированных с другим судовым оборудованием, становится возможным с появлением технологии SDR, которая позволяет программно реализовать в одном устройстве различные функции, ранее выполнявшиеся самостоятельными аппаратными средствами, и осуществлять реконфигурацию оборудования ГМССБ в зависимости от морских районов, внешней обстановки и решаемых задач [2, 3].

Однако в настоящее время в морской радио связи еще рано говорить о полномасштабном использовании данной технологии. Речь идет скорее о технологии программно-управляемого радио (SCR – Software Controlled Radio), которая позволяет программно конфигурировать технические средства, которые сами по себе характеризуются ограниченными функциями программного управления.

В первую очередь, это возможность программного подключения аналого-цифровых модулей различного назначения и варьирование их параметрами в пределах технических характеристик этих модулей [4].

Основой SCR технологии является широкое применение цифровой обработки сигналов, которую следует отличать от цифровых методов передачи сообщений, когда подлежащие передаче аналоговые сигналы преобразуются в цифровую форму на передающей стороне до модуляции.

Цифровая обработка включает в себя фильтрацию, детектирование и последетекторную обработку сигналов цифровыми методами на приемной стороне, а также формирование модулированных или манипулированных сигналов на передающей стороне цифровыми методами. При этом передаваемые по каналам связи сообщения могут быть как цифровыми, так и аналоговыми.

Еще одной составляющей технологии SCR является технология программируемой связной архитектуры (SCA – Software Communications Architecture). Внедрение технологий, удалённых аппаратных радиомодулей, связанных между собой и с центром обработки данных высокоскоростными стандартными интерфейсами, влечет за собой расширение его функциональных возможностей и обеспечивает более эффективное использование, так как дает возможность программно конфигурировать аппаратные средства под круг решаемых задач, подключая соответствующие аппаратные модули.

Третьей составляющей технологии SCR является технология распределенного информационного взаимодействия на базе объектно-ориентированного программного обеспечения (рис.1).

Рисунок 1 – Технология распределенного информационного взаимодействия на базе объектно-ориентированного программного обеспечения

Технология SCR позволяет заменять отдельные аппаратные реализации устройств их программными реализациями, приближая ее к технологии SDR [1]. При таком подходе возможно выполнение на одном устройстве нескольких функций, ранее выполнявшихся различными аппаратными устройствами.

Если экранные формы панелей управления оборудованием ГМССБ зарубежных фирм, по сути, воспроизводят в виртуальной форме аппаратные лицевые панели радиоустановок, то использование новых технологий позволяет создавать более информативные экранные формы на основе функционально направленного, клиентоориентированного пользовательского интерфейса, предоставлявшего оператору ограниченный перечень действий, определенный регламентом радиосвязи и позволяющий вводить только необходимые для формирования различных сообщений значения вручную, или выбирать их из предлагаемого списка [6].

Таким образом, экранные формы представления информации по безопасности мореплавания и создание дружественного интерфейса для пользователя системы управления на мостике реализуют соответствие SCR оборудования основным принципам стратегии Е-навигации и являются одним из ключевых факторов ее реализации по идеологии приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы построения, а информационно система связи легко интегрируется с другим судовым оборудованием.

Основная сложность перехода от технологии SCR к полномасштабному использованию технологии SDR остается на физическом уровне и ограничивается необходимостью использования аналоговых устройств. Прежде всего, это антенно-фидерные устройства, которые согласуют на физическом уровне аналого-цифровое оборудование со средой распространения сигналов и в обозримом будущем останутся аналоговыми, а также ограничения, обусловленные технические характеристиками аналого-цифрового оборудования.

Адаптация антенно-фидерных устройств к требованиям SDR технологии заключается в переходе от одиночных антенн к антенным системам — фазированным антенным решеткам с цифровым управлением, осуществляющим фазирование сигналов, поступающих на излучатели для формирования необходимых характеристик антенной системы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Таким образом, сохраняется общая концепция сокращения аналоговой части связного оборудования путем использования достаточно простых излучателей и приемопередающих радиомодулей, перенося основную нагрузку по формированию характеристик антенно-фидерных систем на цифровое диаграммообразующее устройство.

Снятие ограничений перехода к SDR технологии, связанных с характеристиками аналого-цифрового оборудования, идет по пути ухода от использования электронных компонентов общего применения и переходу к специализированным, для решения поставленной задачи, электронным компонентам.

В совсем недавнем прошлом беспроводные радиосистемы имели такую конструкцию, что устройство поддерживало один или два типа сигнала и между собой могли связываться только однотипные устройства. Это являлось и является сильным ограничением и усложняет организацию связи между разнотипными устройствами. В связи с этим постоянно ощущалась потребность в радио с гибкой архитектурой, которая могла бы изменяться при помощи программного обеспечения. Так появилось словосочетание Software Defined Radio (реже можно встретить термин Software Radio — «программное радио»), в которых вид модуляции передатчика управляется встраиваемым микроконтроллером. Очевидно, что и приёмник для демодуляции сигнала также использует программные средства. Другим важным фактором использования систем SDR стала замена большинства аналоговых компонентов и СБИС трансиверами (либо приемниками) с максимально высокой степенью программируемости. Это верно для множества узлов устройства: для беспроводного интерфейса, для подсистем модулирования и кодирования, аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования.

В чем же преимущества архитектуры SDR для конечного потребителя? Во-первых, при использовании SDR можно существенно упростить техническое обеспечение международного роуминга, увеличить число поддерживаемых сервисов и добиться более высокой гибкости устройств связи. Во-вторых, с точки зрения операторов мобильной связи SDR – это мощный инструмент добавления дополнительных сервисов и услуг. И, наконец, в-третьих, производители абонентских терминалов и базовых станций получают множество преимуществ благодаря высокой масштабируемости и гибкости решений, возможности использования одной и той же аппаратной конфигурации для реализации множества различных разнотипных устройств. Благодаря этому проще достигнуть высокой надёжности решений, а также обеспечить существенную экономию средств на этапе как проектирования и производства, так и на всех этапах жизненного цикла устройства.

Как видно, уже неоднократно упоминалась такая характеристика, как гибкость. Давайте подробнее разберёмся, что же она означает на самом деле. Главным образом под гибкостью понимают способность переключаться между каналами и изменять тип модуляции. В результате имеющаяся аппаратная платформа SDR может быть легко перепрограммирована для поддержки каких-либо новых набирающих популярность стандартов беспроводного обмена данными. Отмечу, что архитектуру SDR планируется использовать как базовую для аппаратного обеспечения мобильной связи третьего поколения 3G.

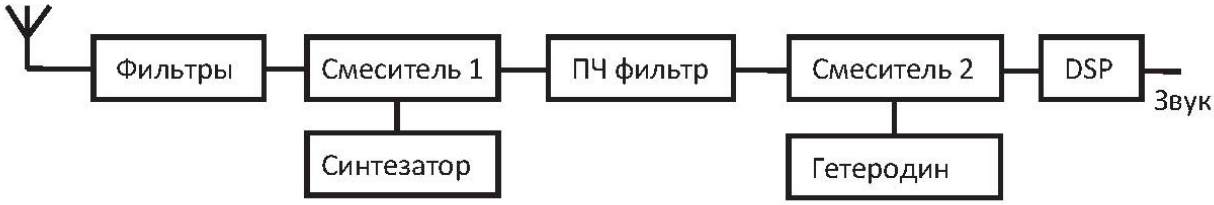
Технологии цифровой обработки данных в последнее время очень активно развиваются, благодаря чему стоимость цифровых решений постоянно снижается. При этом цифровая обработка обеспечивает большую скорость и более проста в обслуживании, чем традиционные аналоговые подсистемы. Поэтому вполне понятным является стремление заменить как можно больше аналоговых блоков и узлов приёмопередающей аппаратуры цифровыми. Таким образом, упрощённая архитектура SDR радио выглядит так, как показано на рис. 2.

Классическая схема супергетеродина с цифровой обработкой сигнала приведена на рис. 2.1.

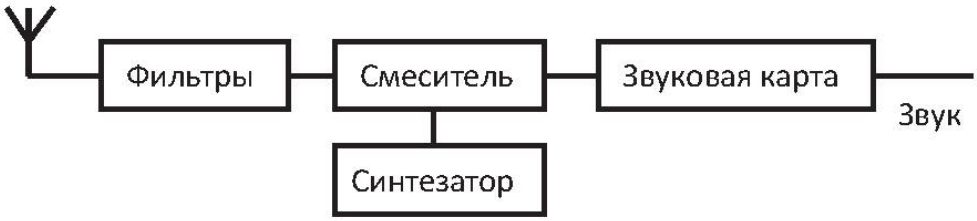
Цифровая обработка сигнала (DSP –Digital Signal Processing) начинается на низкой промежуточной частоте (ПЧ) (10 ÷ 40 кГц), а до этого приёмный тракт имеет такую же структуру как у классического супергетеродинного приёмника. Это пока еще не SDR в чистом виде. Недостатки супергетеродинов здесь сохраняются, хотя и частично компенсируются, за счёт цифровой обработки низкочастотного (НЧ)-сигнала. Главными элементами конструкции, определяющими характеристики приёмника, являются смесители и ПЧ фильтры, хотя цифровая обработка сигналаи вносит значительную лепту в конечный сигнал.

Пример схемной реализации SDR радиоприемника с переносом спектра на низкую частоту представлен на рис.2.2. На данной схеме представлен SDR приёмник, называемый условно, первого поколения. Недостаток данной схемной реализации в том, что принимаемый спектр сначала переносится на звуковую частоту и затем начинается его обработка. В качестве аналого-

цифрового преобразователя (АЦП) может быть использована звуковая карта, она и определяет основные характеристики приёмника.



2.1. Классическая схема супергетеродинного радиоприемника с цифровой обработкой сигнала



2.2. SDR приемник с переносом спектра на низкую частоту

2.3. SDR приемник с обработкой на принимаемой частоте

Рисунок 2 – Упрощённая архитектура типового Software Defined Radio

В данной схемной реализации первый смеситель квадратурный балансный работает в ключевом режиме, а далее размещается звуковая карта (АЦП). Чем больше разрядность АЦП и скорость – тем выше основные характеристики приёмника. Такая реализация уже относится к современным технологиям. Смеситель отсутствует. Промежуточная частота отсутствует. Сигнал, приходящий в антенну, сразу подвергается цифровой обработке. Это называется прямой оцифровкой сигнала. АЦП работает на приёмной частоте. При этом, понятно, что характеристики приёмника во многом определяет АЦП, а возможности определяются программой. Цифровую обработку сигнала после АЦП, производят с помощью программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

Таким образом, принцип работы SDR основывается на оцифровке принятого радиосигнала и дальнейшей обработке его уже в цифровой форме. При этом технология прямого цифрового преобразования и прямого цифрового синтеза (DDC/DUC), с диапазонными фильтрами, позволяет получить максимально высокие характеристики приёмного тракта. Большая нагрузка по окончательной обработке принимаемого сигнала ложиться на компьютер, поэтому он

должен быть соответствующей вычислительной мощности. В настоящее время активно развивается технология direct RF sampling. Это оцифровка сигнала на принимаемой частоте. Необходимые АЦП уже выпускаются.

Структура в целом содержит блоки аналого-цифрового, цифро-аналогового преобразования, антенну, цепи обработки цифровых сигналов и другие вспомогательные блоки. Как правило, помимо цифрового сигнального процессора, радио с архитектурой SDR содержит микроконтроллер. Рассмотрим подробнее каждый из блоков для случая приёмника с архитектурой SDR. Одним из самых важных узлов такого SDR-устройства является аналого-цифровой преобразователь. В реальности АЦП напрямую подключается к антенне, то есть преобразовывает непрерывный во времени сигнал в дискретную двоично-кодированную форму. Очевидно, что характеристики АЦП будут во многом определять и параметры устройства в целом. Поэтому следует обратить внимание на такие важные параметры аналого-цифровых преобразователей, как отношение «сигнал — шум», разрешение (число бит за выборку), динамический диапазон при отсутствии паразитных составляющих, и, наконец, параметр, крайне важный для автономных систем – рассеиваемая мощность и наличие режимов энергосбережения.

Другой не менее важный компонент архитектуры Software Defined Radio – цифровой сигнальный процессор. Именно он обеспечивает гибкость системы и используется главным образом для проведения расчётов, необходимых для выполнения алгоритма обработки сигнала. Традиционно ЦСП использовались для выполнения функций пред-модуляционной обработки и обработки сигнала после детектирования (в приёмниках). Однако в последнее время они используются в основном в трансиверах с расширенными коммуникационными возможностями для детектирования, коррекции, демодуляции, синтеза частот и фильтрации каналов. Преобразование Фурье – одна из наиболее распространённых функций, выполняемых ЦСП чуть ли не в каждом коммуникационном устройстве. Широко также используется быстрое преобразование Фурье (БПФ).

Однако идеальное устройство SDR в настоящее время не может быть реализовано по причинам чрезмерно высокой стоимости такой системы и достаточно ощутимых ограничений технологий, использующихся в основе систем SDR (например, имеющиеся на данное время цифровые сигнальные процессоры обладают недостаточным быстродействием для реализации одновременно всех функций радио). Поэтому на данный момент существует несколько реализаций беспроводных платформ, в большей или меньшей степени отвечающих факторам архитектуры SDR.

Исторически одной из первых таких реализаций была система SPEAKeasy, которая стала успешным проектом по использованию коммуникационных систем на базе технологии Software Defined Radio в военном оборудовании США. Система испытывалась в США в 1970 году. SPEAKeasy позволяла цифровой аппаратной платформе общего назначения осуществлять связь с другими системами в широких диапазонах частот, видов модуляции, методов кодирования данных и варьирования других параметров. Коммерческие реализа-

ции систем SDR подразделяются на платформы для реализации базовых станций и на устройства и терминалы потребительской категории. Как правило, производительность последних составляет 1 млн операций в секунду (ввиду постоянного совершенствования и удешевления ЦСП это значение постоянно растет) и они в первую очередь ориентированы на работу от автономных источников питания (батареи, аккумуляторы).

Как же реализовать многопротокольный беспроводной интерфейс на базе SDR? Ответов много, но самым очевидным и наиболее логичным является использование модульной архитектуры построения системы. Такой выбор, во-первых, связан со сложившимся техническим менталитетом, если так можно выразиться, инженерно-научных кадров мира, поэтому модульная архитектура на сегодняшний день является наиболее очевидным этапом дальнейшего развития систем SDR.

Одним из основных компонентов, без которого не обойтись — программируемые логические микросхемы ПЛИС и цифровые сигнальные процессоры DSP для обработки цифровых сигналов. Эти компоненты широко распространены и имеют невысокую стоимость, поэтому при грамотном и тщательном проектировании мы можем получить довольно недорогое универсальное многопротокольное радио на базе архитектуры SDR. Для таких систем (которые получили название SFF — Small Form-Factor) характерны высокие требования к производительности подсистемы цифровой обработки сигналов и высокая сложность алгоритмов (по вполне понятным и очевидным причинам). Использование связки DSP+FPGA позволяет применять традиционный подход к проектированию, снизить стоимость системы и время разработки.

Радиочастотный модуль представляет собой плату беспроводного интерфейса, обеспечивающего приём и передачу радиосигналов в некотором рабочем диапазоне. Его упрощенная структурная схема приведена на рис. 3.

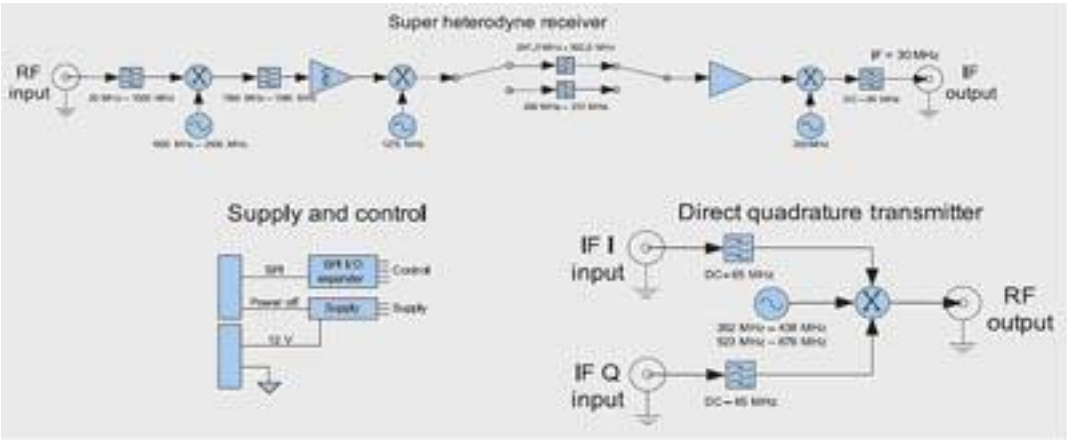


Рисунок 3 – Структурная схема приёмопередающего радиочастотного модуля

Введя в состав радиоинтерфейсной части радиосистемы, кроме антенно-фидерных устройств и приёмопередающих радиотрактов, среду распространения радиоволн — физическую среду передачи данных, мы переходим к пара-

дигме системы когнитивного радио (CRS – Cognitive Radio System). Международный союз электросвязи определяет систему когнитивного радио следующим образом [4]: «Радиосистема, использующая технологию, позволяющую этой системе получать знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установившихся правилах и о своем внутреннем состоянии; динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы, согласно полученным знаниям, для достижения заранее поставленных целей и учиться на основе полученных результатов».

Переход к когнитивному радио основывается на автоматизированных адаптивных системах радиосвязи, использующих технологии автоматического составления канала связи (ALE – Automatic Link Establishment) с автовыбором рабочей частоты. При этом выделяют параметрическую, алгоритмическую и структурную адаптацию системы.

Первая достигается изменением параметров работы отдельных элементов системы связи, таких как управление мощностью передатчика, рабочей частотой радиолинии, скоростью передачи дискретных сообщений, диаграммами направленности антенн и пр. Алгоритмическая адаптация предполагает смену алгоритма работы системы в части распределения трафика (заявок на обслуживание) между отдельными радио абонентами и корректировку с использованием виртуальных компонентов приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы программ радиосвязи (например, времени выхода в эфир). Структурная адаптация предполагает целенаправленное изменение самой структуры системы. При этом она возможна только при наличии структурной избыточности [4]. То есть если до сих пор физический уровень рассматривался как «инструмент» информационного взаимодействия, то в когнитивном радио ему отводится одна из ведущих ролей обеспечения этого взаимодействия.

Для эффективной работы таких систем связи они должны иметь системную избыточность, в том числе и по используемым диапазонам частот. Применительно к морской радиосвязи это означает, что система должна иметь возможность задействовать частотные ресурсы начиная со средневолнового (СВ) до ультракоротковолнового (УКВ) диапазонов частот, а также ресурсы спутниковой связи.

В настоящее время на морском флоте используются или находятся на стадии внедрения различные судовые и береговые системы связи и навигации, что требует унификации и интеграции используемого оборудования. Для обеспечения этой возможности была разработана стратегия электронной навигации. Создание систем радиосвязи, действительно интегрированных с другим судовым оборудованием в рамках указанной стратегии, возможно с использованием технологии программируемого радио — SDR.

Однако в настоящее время еще рано говорить о полномасштабном использовании технологии SDR в морской радиосвязи, речь идет скорее о технологии программно-управляемого радио SCR, составными частями которой являются:

— цифровая обработка сигналов;

— программируемая связная архитектура;

— распределенное информационное взаимодействие на базе объектно-ориентированного программного обеспечения.

Основная сложность перехода от технологии SCR к полномасштабному использованию технологии SDR ограничивается необходимостью использования аналоговых устройств. При этом происходит адаптация антенно-фидерных устройств к требованиям SDR за счет перехода от одиночных антенн к антенным системам — фазированным антенным решеткам с цифровым управлением. Снятие ограничений перехода к SDR технологии, связанных с характеристиками аналого-цифрового оборудования, идет по пути ухода от использования электронных компонентов общего применения и переходу к специализированным, для решения поставленной задачи, электронным компонентам.

Дальнейшее развитие автоматизации систем радиосвязи обусловлено переходом к парадигме системы когнитивного радио — CRS, при которой в состав радиоинтерфейсной части радиосистемы, кроме антенно-фидерных устройств и приёмопередающих радиотрактов, вводится среда распространения радиоволн. Основой таких систем является технология автоматического составления канала связи с автовыбором рабочей частоты — ALE. При этом для эффективной работы такой системы необходима структурная избыточность, включая возможность работы в различных частотных диапазонах

Заключение

Нельзя сказать, что технология Software Defined Radio является молодой, поскольку военные уже давно используют ее в своей аппаратуре. С коммерческой же точки зрения технологию можно считать довольно молодой и быстроразвивающейся. Компоненты для цифровой обработки сигналов, аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования совершенствуются и дешевеют с каждым днем, что постоянно приближает выход технологии SDR в массы. Как было показано в этой статье, сложность конструкции традиционных трансиверов существенно выше, чем у SDR, не говоря уже об отсутствии у первых какой-либо гибкости, так необходимой в современных условиях быстро изменяющихся стандартов. Поэтому тотальный переход к архитектуре SDR неизбежен, это лишь вопрос времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дулькейт И. В., Завьялов С. А., Свирский В. М. Использование SDR технологий в морской радиосвязи // Омский научный вестник. 2018. № 1 (157). С. 63-68. DOI: 10.25206/18138225-2018-157-63-68.

2. MSC 85/26/Add.1 Annex 20 Strategy for the development and implementation of E-navigation. URL: http://docs.imo.org

3. Дулькейт И. В., Патронов К. С., Прохоров П. В., Свирский В. М. Современные тенденции развития оборудования Глобальной морской системы связи при бедствии (ГМССБ) ПВ/КВ диапазонов // Морской вестник. 2011. № 3 (39), с. 73–77.

4. Интегрированная мостиковая система надводных кораблей и судов. URL: https://concern-agat.ru/produktsiya/isbu/integrirovannaya-mostikovaya-sistema-nadvodnykh-korablej-isudov-ims.html

5. Силин А. Технология Software Defined Radio. Теория, принципы и примеры аппаратных платформ // Беспроводные технологии. 2007. № 2. С. 22–27.

6. Гришенкова Н. П., Дулькейт И. В. Оборудование ГМССБ // Техника радиосвязи. 2013. № 1 (19). С. 61–67.

7. Report ITU-R SM.2152 «Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS)». URL: https://www.itu.int/dms_pub/itur/oth/0c/06/R0C060000560005PDFE.pdf

8. Будко П.А., Жолдасов Е.С., Жуков Г.А., Будко Н.П. SDR-технологии и новые принципы приема сообщений в симплексных радиолиниях. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sdr-tehnologii-i-novye-printsipy-priema-soobscheniy-v-simpleksnyh-radioliniyah

УДК 681.518.5

СТАНДАРТИЗАЦІЯ ІНТЕРФЕЙСУ РАДІОЗВ'ЯЗКУ НА ДІАПАЗОНАХ СЕРЕДНІХ І ВИСОКИХ ЧАСТОТ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВОГО ВИБІРКОВОГО ВИКЛИКУ В РАМКАХ КОНЦЕПЦІЇ ЕЛЕКТРОННОЇ НАВІГАЦІЇ

В.М. Кошевий, професор
С.С. Ліщенко, курсант
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *В роботі розглянуто спосіб полегшення налагодження зв'язку між судами в діапазоні середніх і високих частот з використанням цифрового вибіркового виклику, за допомогою обновлення програмного забезпечення інформаційного дисплею котрий в свою чергу інтегрований в ЕКНІС і супутниковим АІС.*

Ключові слова: *стандартизація, цифровий вибірковий виклик, інформаційний дисплей, ЕКНІС, Супутниковий АІС.*

Ця робота пропонує розумний шлях усунення недоліків існуючих із зв'язком у ПВ/КВ за допомогою DSC, таким чином, для отримання нових переваг у спілкуванні та навігації в рамках існуючих традиційних пристроїв. Запропоноване нововведення є проведене на основі модернізації ECDIS шляхом оновлення програмного забезпечення та взаємозв'язку інформаційного дисплею з обладнанням DSC. Модернізація інформаційного дисплею звільнить штурмана від рутинних процедур і від обробки абстрактних даних, замінивши їх зрозумілими діями як звичайного користувача рис.1. [1]

Інтерфейс – інформаційного дисплея це нововведення суттєво спрощує та прискорює процес забезпечення радіозв'язку DSC практично не помітними діями з точки зору часу і кількість операцій, як звичайна процедура підбору радіочастотного приймача. Інтеграція різних систем, розробка концепції інтегрованого навігаційного моста, дозволяє експлуатувати судно з одного робочого місця – інформаційного дисплея. Запропонована інтеграція дає нові можливості для розумного розмовного зв'язку КВ/ПВ DSC шляхом оцінки поточної навігаційної обстановки навколо судна; це особливо важливо в портах із інтенсивним рухом суден та водних шляхах і при поганій видимості з урахуванням людського фактору. Запропонована модернізація зберігає в експлуатації всі стандартні функції DSC та ECDIS і забезпечує повну сумісність з іншими уста-

ткуванням, що використовується та інтегруванні з ECDIS. Таким чином, нові зміни до цього обладнання необхідно зробити після внесення змін до результатів роботи інформаційного дисплею

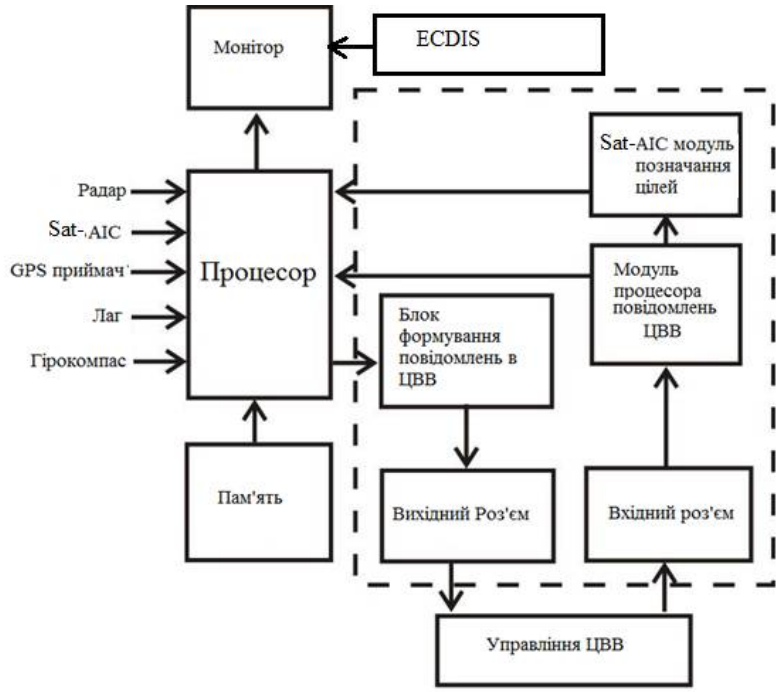


Рисунок 1 – Блок схема інтегрування DSC в ECDIS

Фінансові витрати на реалізацію цього інновації мінімальні, залучаючи лише оновлення програмного забезпечення та стандартні кабелі.

Складність користувальницького інтерфейсу.

Існуючі радіостанції ПВ/КВ DSC вимагають численних додаткових ручних операцій для встановлення спілкування, що сповільнює обмін інформацією. Введення лише морського мобільного сервісного ідентифікатора (MMSI) передбачає введеня дев'ять заків вручну на контролері DSC клавіатури. Навіть для кваліфікованого штурмана в ідеальних умовах потрібно багато часу для проведення процедури відправлення цифрових повідомлень, - процедури підтвердження Таким чином, будь-який дзвінок DSC, навіть найпростіший, потребує більше часу, ніж підняти трубку і зробити дзвінок по радіотелефону. Наприклад, у невідкладних ситуаціях Навігатори зазвичай ігнорують DSC і, замість цього, забирають телефон на каналі УКВ 16. Даремно втрачений час, на встановлення, зв’язку з ким потрібно звязатися. Штурман, який робить дзвінок йому доводиться швидко і ясно оголосити про свої наміри одержувачам, за допомогою координатів судна. В районі повинні розрізняти, чи є судно тим до якого звертаються, на підставі їх розташування та іншого трафіку в цьому районі. Отже, як зараз реалізований, DSC / радіотелефон не забезпечує швидке оперативне спілкування і його потрібно змінити. Крім того, варіанти інтерфейсу DSC серед різних виробників широкі. Штурмани вимагають стандартного інтерфейсу користування.[2]

Інформаційний дисплей.

Інформаційний дисплей (Conning Display) включає в себе всю відповідні та важливі данні для того, щоб судно могло з'єднатися з іншим. Можливість дисплея з'єднання реалізовано в рамках INS-модуля Цей дисплей Conning повинен бути інтегрований з відповідним обладнанням зв'язку та з інтегрованою навігаційною системою (INS).

Зокрема, дисплей Conning повинен відображати УКВ/ПВ/КВ DSC (данні) і тому повинні бути підключені до УКВ DSC контролера і контролера ПВ/КВ DSC. Внутрішні данні, навігаційні данні між навігаційним обладнанням (SAT-AIS, ECDIS, INS) також спрямовані в INS.

Для забезпечення зв'язку з контролером УКВ DSC та контролером ПВ/КВ DSC може бути використаний той самий протокол, який описаний в пункті 8, пункт 6, де замість програмного забезпечення ECDIS використовується програмне забезпечення Conning Display:

- натискання на значок судна SAT-AIS на дисплеї Conning для автоматичного відправивши MMSI від Conning Display до контролера DSC, передавши керуючі команди DSC для забезпечення дзвінка DSC цим;
- відображає судно, що викликає, блимаючим знаком SAT-AIS на викликуваному судні.

З'єднувальний дисплей (червоний миготливий знак у разі виклику біди), передача MMSI від контролера DSC до дисплея Conning автоматичне для ідентифікації цього викликаючого судна на дисплеї з'єднання; і відкритий обмін інформацією, не витрачаючи жодного часу на з'ясування хто викликає судно на якій частоті. Канал може бути встановлений за замовчуванням (або, можливо,обраний вручну, при необхідності, використовуючи стандартні дії комп'ютера).

Необхідно враховувати додаткове підключення супутникової системи SAT-AIS до дисплею Conning для ПВ/КВ DSC. Всі дії відповідно до протоколу виконуються за допомогою спеціального програмного забезпечення для Conning Display, використовуючи загальну морську структуру даних, засновану на роботі МГО та їх Структура даних S-100. Принцип роботи декількох шарів інформації, який може відображатися Верх один одного можуть бути використані. Всі вищезгадані пропозиції не дозволяють вносити зміни до стандартів ефективності інформаційного дисплея (резолюція MSC.232 (82)) для реалізації протоколу зв'язку [3]

ЛІТЕРАТУРА

1. NCSR 3/INF.15 -/ECDIS-AIS linking with MH/HF DSC Ukraine
2. NCSR 4/7/1 Ukraine
3. NCSR 5/6/1 Ukraine

УДК 621.391

АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ С ТРОИЧНОЙ И ЧЕТВЕРТИЧНОЙ КОДОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

В.М. Кошевой, д.т.н., проф.
Т.Ю. Гапеева, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Исследованы автокорреляционные функции сигналов с троичной и четвертичной кодовой модуляцией. Отобраны сигналы с минимальным уровнем боковых лепестков.*

Ключевые слова: *автокорреляционная функция, трехфазные последовательности, четвертичные последовательности, комплементарные свойства.*

В основе радиолокационных, навигационных, акустических, спутниковых, мобильных и многих других информационно-технических комплексов лежат различные шумоподобные сигналы. Содержательная часть сигнала определяется с помощью периодических последовательностей, для которых одним из требований является идеальность их периодической автокорреляционной функции (ПАКФ) [1].

Спрос на последовательности с идеальной ПАКФ и различными совокупностями характеристик в прикладных областях опережает предложение, поскольку конкретные наборы требований, предъявляемые к последовательностям, зависят от области применения и особенностей задач, которые решают с их помощью. Объектом нашего исследования являются трехфазные и четырехфазные последовательности.

Трехфазные последовательности или сигналы с троичной кодовой модуляцией состоят из элементов 0, ±1. Четвертичные последовательности – из элементов ±i, ±1. Подобные последовательности уступают бинарным в равномерности рассредоточения энергии периодических дискретных сигналов по периоду. Тем не менее имеются веские доводы оправдывающие пристальный интерес к ним. Дело в том, что дополнение бинарного алфавита {±1} элементами, т. е. переход к троичному {0, ±1} и четвертичному {±i, ±1} алфавиту открывает перспективы построения последовательностей с идеальной ПАКФ. При этом фильтр подавления боковых лепестков оказывается согласованным фильтром и поэтому, во-первых, идеально сжимает периодические дискретные сигналы без энергетических потерь, во-вторых, проще в реализации [2].

В данной работе мы рассчитывали автокорреляционную функцию (АКФ) фазоманипулированных сигналов по формуле:

$$\chi(k\tau_0, 0) = \sum_{n=1}^{N} S_n S_{n+k}^*$$

где S_n– комплексная амплитуда фазоманипулированного сигнала; S_{n+k}^*– комплексная амплитуда фильтра; N – количество парциальных импульсов [4].

Расчет производился в программе Matlab. Количество парциальных импульсов сигналов N=3 и N=4.

Таблица 1- Трехфазные последовательности

1 0 1	1	0	2	0	1		
1 0 -1	-1	0	2	0	-1		
1 1 0	0	1	2	1	0		
1 -1 0	0	-1	2	-1	0		
1 0 0	0	0	1	0	0		
1 0 0 1	1	0	0	2	0	0	1
1 0 0 -1	-1	0	0	2	0	0	-1
1 0 1 0	0	1	0	2	0	1	0
1 0 -1 0	0	-1	0	2	0	-1	0
1 1 0 0	0	0	1	2	1	0	0
1 -1 0 0	0	0	-1	2	-1	0	0
1 0 0 0	0	0	0	1	0	0	0

Таблица 2 – Четырехфазные последовательности

1 i 1	1	0	3	0	1		
1 –i 1	1	0	3	0	1		
1 1 -1	-1	0	3	0	-1		
1 -1 -1	-1	0	3	0	-1		
1 -1 1 1	1	0	-1	4	-1	0	1
1 1 -1 1	1	0	-1	4	-1	0	1
1 i i 1	1	0	1	4	1	0	1
1 -i –i 1	1	0	1	4	1	0	1
1 1 1 -1	-1	0	1	4	1	0	-1
1 -1 -1 -1	-1	0	1	4	1	0	-1
1 -i i -1	-1	0	-1	4	-1	0	-1
1 i –i -1	-1	0	-1	4	-1	0	-1
1 –i 1 i	-i	0	-i	4	i	0	i
1 i -1 i	-i	0	-i	4	i	0	i
1 -1 i i	-i	0	i	4	-i	0	i
1 1 –i i	-i	0	i	4	-i	0	i
1 i 1 -i	i	0	i	4	-i	0	-i
1 -i -1 -i	i	0	i	4	-i	0	-i
1 1 i -i	i	0	-i	4	i	0	-i
1 -1 –i -i	i	0	-i	4	i	0	-i

Из всего списка сигналов с рассчитанной АКФ мы выбрали сигналы с минимальным уровнем боковых лепестков. Также некоторые пары сигналов, даже не имея хороших автокорреляционных свойств обладают комплементарными свойствами. Уровень боковых лепестков результата суммирования таких сигналов будет равен нулю, а полезный сигнал (основной пик) увеличится в два раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.В. Залешин, В.Е. Гантмахер. Об одном семействе четырехфазных последовательностей с идеальной периодической автокорреляционной функцией. Вестник новгородского государственного университета, 2014, № 80

2. Ипатов В.П. Периодические дискретные сигналы с оптимальными корреляционными свойствами. М.: Радио и связь, 1992. 152 с.

3. V. Koshevyy, D. Dovghenko “The synthesis of periodic sequences with given correlation properties” Pros. AIII East-West design & Test symposium, Sevastopol, Ukraine, p.341-344, sept. 2011.

4. Кошевой В.М., Долженко Д.О. Методы синтеза дискретно-кодированных сигналов на основе использования их спектральных свойств. Судноводіння: Зб. Наук. праць / ОНМА. – Вип. 20. – Одеса: «ВидавІнформ», 2011. – с.264

ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА

УДК 681.518.5

МЕТОДИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В ECDIS

С.А. Михайлов, д.т.н., професор
А.І. Чулак, курсант
Національний університет «Одеськая морська академія»

Анотація. *Розглянуто методи захисту інформації в суднових електронних картографічних навігаційно-інформаційних систем. Наведено основну теоретичну інформацію про проблему захисту інформації в ECDIS. Обґрунтовано необхідність захисту електронних карт ECDIS від: введення вірусу, збоїв в навігаційних системах.*

Ключові слова: *електронно-картографічна система, інформаційна безпека, морські інтегровані інформаційні безпеки.*

Мореплавство, як і будь-яка інша велика сфера діяльності, розвивається паралельно з плином технічного прогресу: судна збільшуються, а команди зменшуються, так як все більша кількість процесів автоматизується. Часи, коли знаходиться в море судно було фактично повністю відрізано від решти світу, давно в минулому. В наші дні деякі бортові системи отримують оновлення під час плавання, у команд є вихід в інтернет. Питання кібербезпеки об'єктів сфери морських перевезень стоять досить гостро.

Відомою проблемою є інформаційна безпека: збої в навігаційних системах, ймовірність вірусного пошкодження електронних карт ECDIS, введення вірусу від зовнішнього носія через USB-порт. 3 березня 2014 року NCC Group випустила звіт, що стосується безпеки ECDIS-систем. У звіті були представлені результати дослідження системи одного з провідних вендорів. Відзначається, що більшість систем цього класу, вдають із себе комплект додатків, встановлених на робочу станцію під управлінням ОС сімейства Windows (часто XP) і розташований на містку судна. До робочої станції з ECDIS, за допомогою бортової LAN-мережі, з якої найчастіше є доступ в інтернет, підключені інші системи: NAVTEX, AIS, радари і GPS-обладнання, а також інші датчики і сенсори. У комплекті з ECDIS-системами зазвичай не поставляється ніяких засобів інформаційного захисту. Варто також відзначити, що Windows-системи, розгорнуті на судах, які протягом тривалого часу перебувають у рейсах, далеко не завжди встигають отримати навіть критично важливі оновлення безпеки в розумні терміни. Уразливості, знайдені дослідниками, в основному пов'язані с сервером, що встановлюються в комплексі з системою. При такому розвитку подій, атакуючий отримує доступ до читання і зміни даних з усіх сервісних пристроїв, підключеним до бортової мережі судна.

Спеціалізовані програмні засоби захисту інформації від несанкціонованого доступу володіють в цілому кращими можливостями і характеристиками, ніж вбудовані засоби мережевих ОС. Крім програм шифрування, існує багато ін-

ших доступних зовнішніх засобів захисту інформації. З найбільш часто згадуваних слід зазначити наступні дві системи, що дозволяють обмежити інформаційні потоки. Firewalls - брандмауери (дослівно firewall - вогненна стіна). Між локальної та глобальної мережами створюються спеціальні проміжні сервера, які інспектують і фільтрують весь проходить через них трафік мережевого / транспортного рівнів. Це дозволяє різко знизити загрозу несанкціонованого доступу ззовні в корпоративні мережі, але не усуває цю небезпеку зовсім. Більш захищений різновид методу - це спосіб маскараду (masquerading), коли весь вихідний з локальної мережі трафік посилається від імені firewall-сервера, роблячи локальну мережу практично невидимою. На малюнку 1 показаний приклад розташування мережевого екрану в мережі.

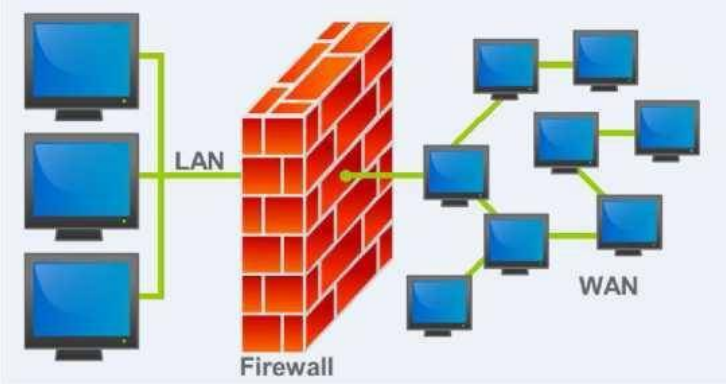


Рисунок 1 - Приклад розташування мережевого екрану в мережі

Розглянемо докладніше роботу брандмауера. Це метод захисту мережі від загроз безпеки, що виходять від інших систем і мереж, за допомогою централізації доступу до мережі і контролю за ним апаратно-програмними засобами. Брандмауер є захисним бар'єром, що складається з декількох компонентів (наприклад, маршрутизатора або шлюзу, на якому працює програмне забезпечення брандмауера). Створення брандмауер ставиться до рішення задачі екранування. Формальна постановка задачі екранування полягає

15. наступному. Нехай є дві множини інформаційних систем. Екран - це засіб розмежування доступу клієнтів з однієї множини до серверів з іншої множини (рис.2).

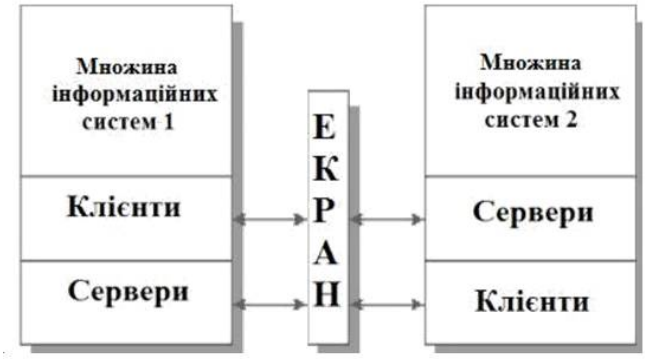


Рисунок 2 - Екран як засіб розмежування доступу

Екран здійснює свої функції, контролюючи всі інформаційні потоки між двома множинами систем. Контроль потоків полягає в їх фільтрації, можливо, з виконанням деяких перетворень. На наступному рівні деталізації екран (напівпроникну мембрану) зручно представляти як послідовність фільтрів. Кожен з фільтрів, проаналізувавши дані, може затримати (не пропустити) їх, а може і відразу "перекинути" за екран.

Крім того, допускається перетворення даних, передача порції даних на наступний фільтр для продовження аналізу або обробка даних від імені адресата і повернення результату відправнику (рис. 3).

Рисунок 3 - Обробка даних від імені адресата і повернення результату відправнику

Міжмережевий екран або брандмауер не відноситься до класу симетричних систем і для нього можуть бути введені поняття внутрішньої і зовнішньої областей. Екранування допомагає підтримувати доступність сервісів внутрішньої області, зменшуючи або взагалі ліквідуючи навантаження, викликане зовнішньою активністю. Зменшується вразливість внутрішніх сервісів безпеки, оскільки спочатку зловмисник повинен подолати екран, де захисні механізми сконфігуровані особливо ретельно. Крім того, екранована система, на відміну від універсальної, може бути влаштована більш простим і, отже, більш безпечним чином.

Отже, коректна робота ECDIS-системи дуже важлива, її компрометація може привести до самих несприятливих наслідків - травмування і навіть смертей людей, забруднення навколишнього середовища і великим економічним збиткам. «Завмерле» судно, втративши можливість коректної навігації, перекриє жвавий канал або шлюз на невизначений термін, що викличе при певному збігу обставин величезні економічні збитки. Танкер, що перевозить нафту або інші хімічні продукти і сів на мілину через навігаційних помилок, - готовий сценарій екологічної катастрофи.

ЛІТЕРАТУРА

1.Вагущенко Л.Л. Судовые навигационно-информационные системы. – Одесса, Латстар, 2004. – 302 с.

2.Petersen J.R., Eriksson O.F. Putting the mariner in the picture. // The Navigator: Aids to navigation. – 2015, No. 10, p. 4 -5.

3.Sea Review: The International Maritime Journal of the Nautical Institute of Ukraine/ March, 2015. – Odessa – Ukraine.: p.40.

4.Kevin Tester. GLONASS failure affects satellite positioning. // Seaways: The International Journal of The Nautical Institute/ September, 2014. – London – UK.: Stephens&George, Merthyr Tydfil, 2011. – p.12 - 14.

УДК 681.518.5

ІНФОРМАЦІЙНИЙ ЗАХИСТ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТА КОНТРОЛЮ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

С.А. Михайлов, д.т.н., професор
І.М. Кулешов, к.т.н., доцент
В.В.Заїм, курсант
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Проаналізовані інформаційні системи управління та контролю енергетичних установок морських суден. Виявлені загрози з боку зовнішніх інформаційних мереж. Запропоновано заходи та засоби захисту інформації для суднових енергетичних установок.*

Ключові слова: *суднові енергетичні установки, інформаційна безпека.*

Суднові системи давно вже стали електронними і комп'ютеризованими, а саме такі системи є уразливими об'єктами для кібератак. Крім того, вони також давно вже стали інтегрованими, тобто пов'язаними між собою інформаційними мережами і зв'язками. Тому, інформаційне пошкодження одного локального об'єкта негайно відбивається на роботі системи, в яку він входить, а також інших, пов'язаних з ним систем. Незважаючи на видиму автономність морського судна, як суб'єкта мореплавання, його інформаційні системи пов'язані засобами бездротового, космічного, супутникового, ефірного зв'язку з усім іншим інформаційним світом планети.

На сучасних суднах для управління різними механізмами, пристроями і системами широко застосовується автоматика. Засоби автоматизації забезпечують ефективніше використання суднових механізмів і судна в цілому за рахунок постійної підтримки оптимальних режимів їх роботи.

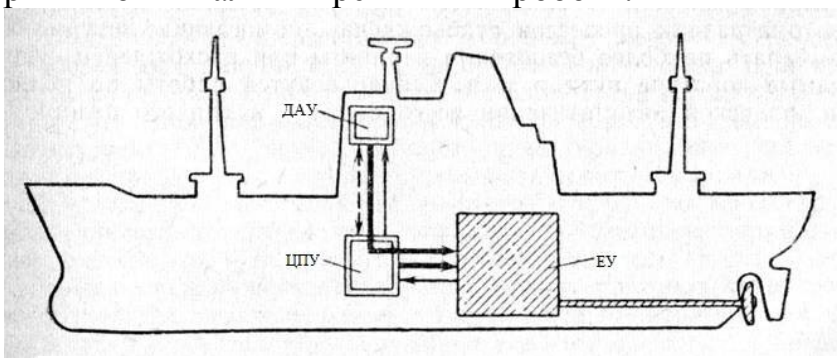


Рисунок 1 – Принцип управління енергетичною установкою на комплексно-автоматизованому судні: ДАУ - пульт дистанційного автоматичного управління в рульовій рубці; ЦПУ - центральний пост управління у машинному відділенні; ЕУ - енергетична установка.

Основний напрямок комплексної автоматизації суден – це впровадження автоматичних систем, що забезпечують дистанційне управління енергетичною установкою з ходового містка при відсутності постійної вахти у машинному відділенні. Принцип такого управління показаний на рис.1.

З появою інформаційних технологій на перший план вийшли питання забезпечення безпеки і конфіденційності інформації. Основні загрози безпеки пов'язані з перехопленням інформації спецслужб, комерційних підприємств і приватних осіб, крадіжкою оплаченого часу з'єднання, втручанням в роботу інформаційних та телекомунікаційних систем, несанкціонованим доступом до конфіденційної інформації і ін.

Отже, джерела кіберзагроз:

- сусідній комп'ютерний пристрій;
- локальна суднова мережа;
- глобальна мережа Internet;
- електронна пошта;
- заражені файли;
- пристрій зовнішньої flash-пам'яті, банальна «флешка».

Один з підходів забезпечення кібербезпеки, наприклад, комп'ютерних "хмарних технологій", полягає в побудові глибоко ешелонованої безпеки мережі. Добре відомо, що захист будь-якої мережевої інфраструктури одними лише методами створення периметра неефективна, оскільки найчастіше найбільш небезпечні атаки викликані факторами всередині мережі, наприклад:

- протиправними діями власних співробітників;
- впровадженням шкідливих програм (вірусів, троянів, тощо);
- застосуванням тимчасових комунікацій в каналі зв'язку;
- діями гостей компанії, які отримали доступ до мережі.

Рисунок 2 – Хмарні технології

При побудові системи кібербезпеки "хмарних технологій" потрібно використовувати основні механізми захисту, до яких відносяться:

- контроль доступу;
- аутентифікація користувачів;
- шифровка трафіку;
- система запобігання вторгнень в бездротову мережу;

- система виявлення чужих пристроїв і можливості їх активного придушення;
- моніторинг спотворення сигналів і DoS-атак;
- моніторинг вразливостей в безпровідній мережі і можливості аудиту вразливостей;
- функції підвищення рівня безпеки інфраструктури бездротової мережі, наприклад, аутентифікація пристроїв (X.509 і т.д.), захист даних управління - MFP (Management Frame Protection).

Пропонуються наступні методи захисту від вірусних і кібератак:

✓ Захист обладнання - апаратного забезпечення, як персональних комп'ютерів, так і комп'ютерів, підключених і працюючих в локальній судновий комп'ютерної мережі. При необхідності, комп'ютери також повинні бути захищені від впливу екстремальних умов навколишнього середовища: надмірного тепла, вібрацій, вологості, і т. д.

✓ Захист програмного забезпечення: антивірусні програми і протівовредоносное програмне забезпечення повинні захищати всю систему і постійно оновлюватися.

✓ Організація відповідного резервного копіювання даних, як бортовий, так і берегової інформаційних систем.

✓ Організація ранжирування і контроль доступу користувачів - кожен користувач на борту повинен мати доступ до локальної інформаційної мережі відповідно його рангу. Контроль може здійснюватися паролем або фізичним доступом.

✓ Відновлення при збоях - якщо робоча комп'ютерна станція або сервер виходять з ладу, вони можуть бути перезавантажувались і відновлені з попередньо створеної і збереженої резервної базою даних.

Пропонуються наступні основні базові методичні заходи з метою збереження кібербезпеки бортових комп’ютерних інформаційних систем:

1. установка суворого контролю доступу користувачів до апаратного забезпечення і комп'ютерів;
2. установка суворого контролю доступу комп'ютерів до суднової локальну інформаційну мережу;
3. організація резервного копіювання та створення резервної бази даних;
4. тестування планів дій по відновленню суднових інформаційних систем при кібератаки;
5. регулярне оновлення і перевірка антивірусної системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Васильев В.Н., Пипченко А.Н., Виницкий А.А., Михайлов С.А. Конечные автоматы судовых энергетических установок. – К.; Одесса: Высшая шк. Главное издательство, 1985 – 159 с.

2. David Patraiko. Cyber security on board. // Seaways: The International Journal of The Nautical Institute/ September, 2014. – London – UK.: Stephens&George, Merthyr Tydfil, 2011. – p.9.

3. Paul Thomas. Cyber: it’s about operational risk management. // Alert! The International Maritime Human Element Bulletin / Issue №39 September 2015. – London – UK. – p.6.

4.Sea Review: The International Maritime Journal of the Nautical Institute of Ukraine/ March, 2015. – Odessa – Ukraine.: p.40.
5.Maritime Security: Hacking into a Voyage Data Recorder (VDR), R. Samanta, IOActive Labs, 09.01.2015.

УДК 355.40
УДК 527+659+004.9

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ «УМНОГО ДОМА»

С.А. Михайлов, д.т.н., профессор
Д.С. Семенюк, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Проведен анализ функциональных возможностей компьютерных средств для реализации концепции «Умного дома». Отмечена уязвимость программного и аппаратного обеспечения таких систем, в частности, на физическом уровне, а также угрозы кибербезопасности. Предложены методы противодействия угрозам кибербезопасности.*

Ключевые слова: *Умный дом, информационная беозпасность, интеллектуальные сети, защита информации.*

«Умный дом» (англ. Digital home или Smart house) – жилой автоматизированный дом современного типа, организованный для удобства проживания людей при помощи высокотехнологичных устройств [1]. Важной особенностью «Умного дома» является то, что это наиболее прогрессивная концепция взаимодействия человека с жилым пространством, когда автоматика дома в соответствии с внешними и внутренними условиями задает и отслеживает режимы работы всех инженерных систем и электроприборов.

Система безопасности «Умного дома» объединяет совокупность функций по обеспечению комфортного проживания или работы, таких, как, охранная и пожарная сигнализация, контроль доступа, видеонаблюдение, контроль состояния инженерных подсистем и другие. Текущее состояние охраняемых зон контролируют проводные и беспроводные датчики (например, датчики окон, дверей, движения, задымленности). В зависимости от типа сигнала они вызывают соответствующую реакцию управляющей системы. Если датчик фиксирует угрозу возникновения пожара, система принимает решение отключить электроэнергию, отправить на мобильный телефон хозяину SMS-сообщение или оповестить его о случившемся через Интернет. В случае несанкционированного вторжения, система также передает тревожный сигнал на пульт охраны, включает звуковую и световую сигнализацию, информирует хозяина с помощью телефонного звонка.

Существует большое количество способов защиты компьютерной системы «умного дома» от несанкционированного доступа. К их числу относятся, например, межсетевые экраны или VPN - доступ.

Наиболее остро нуждается в защите процесс обмена информацией между компьютером и контроллером. Для того чтобы эта информация не стала до-

ступной злоумышленникам, она должна передаваться по каналам связи в зашифрованном виде. Теоретически это должно быть достаточно, чтобы исключить возможность утечки информации, однако профессионалы советуют использовать и дополнительную защиту. В качестве дополнительных средств обеспечения безопасности передачи данных можно использовать

Кроме того, для каждой группы контроллеров, выведенной в сеть Интернет, можно применять генерируемый мастер-ключ. Благодаря такой защите будет невозможно подключиться к системе, не зная этого ключа,

К серьезным последствиям может привести и банальная утечка информации. Особенно актуальна это проблема в случаях, когда доступ в здание имеется у большого количества людей. При всей опасности такой ситуации, проблему достаточно легко решить. Обезопасить «умный дом» можно с помощью представления каждому отдельному пользователю собственного уровня доступа [2]. Вся система безопасности станет гораздо надежнее, если управлять ею может только один человек, а у остальных пользователей есть доступ только к строго ограниченному набору простых функций [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Гололобов В.Н. «Умный дом» своими руками / В.Н.Гололобов. – М.:НТ Пресс, 2007. – 416 с.
2. Сопер М.Э. Практические советы и решения по созданию «Умного дома» / М.Э. Сопер. – М.: НТ Пресс, 2007. - 421 с.

УДК 627.711

ЭЛЕКТРОННЫЕ ВИРТУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА НАВИГАЦИИ

С.А. Михайлов, д.т.н., проф.
Т.Ю. Гапеева, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Проанализировано использование виртуальных средств навигации на современном этапе, рассмотрены главные проблемы, мешающие глобальному внедрению электронных средств навигации.*

Ключевые слова: *средства навигации, электронные карты.*

В настоящее время реальные районы морского судоходства оборудованы большим числом знаков навигации. Физически они представляют собой разнообразные устройства: маяки, створные знаки, буи и др. В связи с обязательным и широким применением на судах электронных карт (ECDIS) помимо реальных физических знаков навигации используют и виртуальные. Какова же роль каждого из видов и каковы разумные объемы использования средств навигации того и другого типов?

В январе 2018 года Морской институт (NI) обратился к морякам через журнал Seaways за информацией об использовании средств физической нави-

гации (AtoN) и виртуальных навигационных средств (VAtoN) [1]. Ответы на этот опрос были представлены Международной ассоциации маяков (IALA). В опрашивании участвовали примерно 200 моряков из довольно широкого географического района, включая отзывы сотрудников NI с недавним опытом работы на море. Результаты показали значительную степень удовлетворенности уровнем обслуживания, предоставляемым физическими навигационными средствами. Однако существует ряд недостатков. Самые распространенные комментарии связаны с путаницей кардинальных знаков, обесцвечивание в которых из-за износа или солнечных бликов создавало иллюзию неправильной маркировки, а верхняя часть знаков была нечеткой на расстоянии. Решением проблемы стало бы использование более заметных, возможно, флуоресцентных, красок. В связи с увеличением численности населения вокруг портов и яркости современного освещения городов, появляется проблема засветки фоновыми огнями. В некоторых районах решением проблем стало использование радиомаяков, а не буев, особенно там, где недоступны ориентиры и объекты, заметные на радаре. То есть моряки, по праву, не полагаются на плавающие объекты для фиксации местоположения и хотят иметь резервный канал информации в системах GNSS. Но в районах, занятых рыболовством или прогулочными судами существует вопрос радарной видимости.

В настоящее время происходит активное внедрение виртуальных средств навигации, отображаемых в электронных картах [2]. С каждым годом становится все больше и больше судов, оснащенных электронными навигационными картами (ECDIS) в качестве основного средства навигации, пришедших на замену бумажным картам. Обязательный для судов международного плавания переход на систему ECDIS находится в стадии реализации — до июля 2018 года. Наличие ECDIS на борту имеет множество преимуществ; но в то же время существуют риски, связанные с расслабленностью и чрезмерной зависимостью от использования электронных средств навигации, что не может быть проигнорировано.

В опросе моряки, отвечая на вопрос, существуют ли проблемы с отображением средств навигации, подчеркнули возникающую путаницу, из-за большого числа отметок, в том числе и находящихся друг за другом, что иногда можно решить изменением разрешающей способности РЛС. Этот пример иллюстрирует, что в то время как моряки находят VAtoN приемлемым инструментом для повышения безопасности мореплавания, они рассматривают их как увеличение физических средств, а не их замену.

Вывод. Недоверие моряков направлено в большей степени на надежность основных компонентов электронной навигации. Если решить эту проблему, то можно добиться снижения зависимости судоходства от физических средств навигационного оборудования и, соответственно, экономия сотен миллионов долларов [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. David Patraiko. AtoNs – a view from the bridge. Seaways, June 2018, p.10.
2. Носков А.А. Использование ECDIS для планирования и контроля перехода: Учебное пособие: НГМА, 2002. –106 с.
3. Пинский А.С. Е-навигация и безэкипажное судовождение. Журнал о науке, практике, экономике, 2016, № 6(67).

УДК 004.4

ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ АДМИНИСТРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ

Н.С. Михайлов, магистрант
Одесский национальный морской университет,

Аннотация. *Обоснована необходимость создания компьютерных сетевых систем автоматизации процессов административного управления организацией и контроля выполнения поставленных заданий. Проведен анализ возможностей существующих систем управления и контроля бизнес-процессов. Показана целесообразность интеграции такой компьютерной системы с интернет-пространством и сайтом организации для возможности дистанционного доступа, в том числе с использованием мобильных приложений.*

Ключевые слова: *автоматизация рабочих бизнес-процессов, компьютерные информационные сети, дистанционный доступ и контроль*

Актуальность проблемы автоматизации процессов административного управления и контроля исполнения заключается в фактически полной отсутствии автоматизации рабочих процессов (АРП) на кафедре университета. Помимо выполнения прямых обязанностей, сотрудники кафедры вынуждены тратить свое рабочее время на оформление документации: заявлений, планов, отчетов, справок, различных бланков. Это приводит к снижению эффективности труда, что негативно влияет и снижает эффективность деятельности персонала и работу учреждения в целом. Значительная часть рабочего времени сотрудников расходуется не по целевому назначению.

Автоматизация рабочего процесса (АРП) может быть определена как полная или частичная автоматизация всех бизнес-процедур, в рамках которой документы, информация или задачи передаются от одного участника рабочего процесса к другому для исполнения действий, в соответствии с комплексом процедурных правил. Таким образом, автоматизация рабочего процесса может быть представлена как группа задач, которая имеет определенные вводные данные, вывод данных, условия, команды/последовательности и ограничения. Современные программы для оптимизации бизнес-процессов концентрируют внимание персонала на выполнении текущих задач, скорейшем достижении конкретного результата. Такие системы предоставляют руководителю полную информацию о действиях каждого сотрудника предприятия, помогают распре-

делять рабочее время согласно целям и приоритетным направления деятельности компании.

С целью решения данной проблемы, была проанализирована работа и исследованы существующие известные системы автоматизации рабочего процесса. Результаты исследования показали, что для решения задачи могут подойти CRM (Customer Relationship Management) системы [1] – так как большинство существующих CRM-систем полностью или частично решают задачи, перечисленные при обосновании актуальности проблемы. Поэтому в качестве базовой была выбрана CRM-система Битрикс24 [2], с её дальнейшей модернизацией и последующим внедрением для кафедры университета. Также предполагалось осуществить интеграцию данной системы с интернет-сайтом кафедры, который дополнительно был разработан в рамках данной работы.

Битрикс-24 - это простая и удобная система, обеспечивающая четкое управление бизнес-процессами. Сервис может использоваться как мощная программа для построения бизнес-процессов: учет внутренней и исходящей документации, составление планов и программ, оформление заявлений и т.д. С помощью модернизации системы можно откорректировать ее работу согласно внутреннему распорядку и режиму работы.

Внедрение автоматизации рабочих процессов требует тщательного и глубокого анализа всех бизнес-процедур, компонентов системы и точек взаимодействия ее пользователей для того, чтобы избежать потенциальных проблем интеграции. Комбинация функций АРП с другими IT-системами широко практикуется как между бизнес-структурами, так и внутри них.

Важной особенностью является ситуация, когда далеко не все CRM системы могут поддерживать взаимодействие при автоматизации бизнес-процедур. На этом фоне на первый план выходят такие задачи, как разработка и обеспечение компонентов системы, которые могут безупречно исполнять функции АРП и интегрироваться в рамках разнообразных комплексных процессов.

Нами был разработан шаблон веб-сайта, который служит оболочкой, в которой содержится вся информация о кафедре университета, а также содержится список всех сотрудников, помимо этого, веб-сайт служит отличным источником для рекламной деятельности кафедры. Далее шаблон сайта был интегрирован с системой Битрикс-24 и осуществлена дальнейшая ее модернизация [3], внесена информация обо всех сотрудников кафедры. Внутри этой интегрированной системы также была реализована функция внутренней коммуникации между сотрудниками кафедры с возможностью индивидуального или коллективного обмена информацией. Предусмотрено ранжирование пользователей системы и распределение доступа информации между разными пользователями, распределение уровня доступа информации между пользователями разного ранга. Таким образом, была разработана онлайн система, которая имеет также мобильное приложение и программное обеспечение, с помощью которого сотрудники учреждения всегда могут дистанционно, например из дому, просмотреть все текущие задачи, отчитаться о выполнении заданий, просто зайдя в мобильное приложение и поменять статус задачи на «завершено», дополнительно

можно приложить подтверждающий выполнение задания файл фотоснимка или любой другой документ – схему, программу, план, отчет, заготовку статьи или тезисов и т.д.

Помимо этого, фиксируется присутствие сотрудников на рабочем месте и количество времени, потраченное на перерыв, для этого в системе нужно «отметить» свое присутствие. Все результаты посещения фиксируются и сводятся в недельный или месячный отчет и затем отправляются руководителю кафедры и факультета.

Также в системе есть определенный раздел для работы над проектами, где все сотрудники, которые отвечают за определенные разделы проекта, сформированы в одну группу, внутри которой имеют возможность обсуждать статус и направления развития проекта.

Данная система позволила значительно увеличить эффективность работы кафедры университета, все сотрудники кафедры постоянно имеют возможность дистанционного доступа к системе, видят, как идет общая работа над разделами проекта у каждого из участника группы, могут получать новые задания и отправлять свою выполненную работу дистанционно.

В дальнейшем, систему планируется модернизировать и расширить ее функциональные возможности, подключая к ней различные приложения, которые облегчают дополнительные рабочие процессы, приложение автообзвона, работа с документацией, конструктор документов, справочная информация, уведомления и т.д. В перспективе, развитие данной системы предполагается распространить на весь факультет с объединением информационных баз нескольких кафедр. Если система зарекомендует себя положительно и эффективно в масштабах факультета, то возможно ее использование для автоматизации процессов административного управления и контроля исполнения в масштабах всего университета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудинов А. CRM: Практика эффективного бизнеса. М: Изд-во Манн, Иванов и Фербер. – 2012. – 463 с.
2. Молино П. Технологии CRM. Экспресс-курс. М: Изд-во Гранд Фаир. – 2004. – 272 с.
3. Пейн Э. Руководство по CRM. Путь к совершенствованию менеджмента клиентов. М: Изд-во Гревцов Паблишер. – 2007. – 384 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА ПРИСТРОЇВ В ЕЛЕКТРО- ТА РАДІОТЕХНІЦІ

УДК 62-551.453

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДРОБНЫХ ИНТЕГРАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИХ РЕГУЛЯТОРОВ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

В.В. Бушер, д.т.н., профессор
Национальный университет «Одесская морская академия»
В.В. Горошко, аспирант
В. Кравченко, магистр
Одесский национальный политехнический университет
К. Хандакжи, к.т.н.
Технический университет Тафила, Иордания

Аннотация. *Исследованы системы управления с дробным порядком астатизма, которые для многих технических объектов обеспечивают лучшие динамические и статические показатели по сравнению с системами с целочисленным порядком. Предложена методика синтеза замкнутых систем с дробным порядком астатизма от 1.1 до 1.9, на основании которой могут быть выбраны параметры и определена структура регулятора.*

Разработан метод приближенного расчета дробных интегралов, основанный на аппроксимации старших коэффициентов разложения в ряд геометрической прогрессией. Это обеспечивает сокращение необходимых объемов памяти для хранения массивов коэффициентов и истории входного сигнала и требует значительно меньших затрат времени процессора для вычисления сигнала регулятора. Это позволяет реализовать дробные интегрально-дифференцирующие регуляторы на основе широко распространенных современных процессоров и применять методы дробно-интегрального счисления для синтеза быстродействующих систем автоматического управления. Показан пример синтеза и результаты исследований регулятора тока для двигателя с последовательным возбуждением.

Ключевые слова: *астатическая система, дробное интегрирование, дробное дифференцирование, алгоритм быстрого расчета дробного интеграла.*

1. Введение

Дробно-интегральное счисление расширяет теорию дифференциальных уравнений в область нецелого порядка производных, устраняя разрывы этого параметра. Особенностью решений дробно-дифференциальных уравнений является их тесная связь со степенными функциями. Поэтому объекты управления ряда технологических процессов с нелинейными зависимостями, аппроксимируемыми этими функциями, лучше описываются дробно-дифференциальными уравнениями, как, например, процессы в пористых структурах фильтров, катализаторов, электродов аккумуляторов и суперконденсаторов [1–4]. Соответственно, для управления такого рода процессами целесообразно использовать $PI^{\alpha}D^{\beta}$-регуляторы с дробно-интегральными и дробно-дифференцирующими составляющими, которые обеспечивают настройку замкнутого контура так, чтобы получить требуемые динамические и статические

показатели [5]. Но проблема заключается в технической реализации таких регуляторов, так как использование дискретных форм Грюнвальда-Летникова или Римана-Лиувилля, являющихся бесконечными рядами, теоретически предполагает выделение бесконечных объемов памяти и требует выполнения большого количества арифметических операций в течение периода квантования процессора.

Поэтому актуальными остаются задачи синтеза и методов технической реализации быстродействующих систем с дробно-интегральными регуляторами.

2. Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка метода технической реализации дискретных дробных интегрально-дифференцирующих регуляторов в широко распространенных однокристальных процессорах с ограниченными объемами памяти и быстродействием.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– определить структуру дробных интегрально-дифференцирующих регуляторов для получения требуемых динамических и статических показателей замкнутой системы;

– разработать алгоритм расчета дробного интеграла с минимизированными требованиями к ресурсам микропроцессоров.

3. Особенности технической реализации систем с дробным порядком астатизма

Применение дробного исчисления в системах автоматического управления основано на использовании дискретных методов расчета с постоянным шагом дробных интегральных и дифференциальных составляющих сигналов, например, формы Римана-Лиувилля, основанной на обобщении до произвольного порядка формулы Коши повторного интегрирования:

$$\mathrm{I}^{\mu} f(t) = \frac{1}{\Gamma(\mu)} \int_0^{t_i} \frac{f(t)}{(t_i - t)^{1-\mu}} dt = \frac{\Delta t^{\mu}}{\Gamma(\mu)} \lim_{\Delta t \to 0} \sum_{j=1}^{i} k_j^{\mu} f_{i-j+1},$$
$$k_j^{\mu} \approx \frac{\Delta t^{\mu}}{\Gamma(1+\mu)} \left(j^{\mu} - (j-1)^{\mu} \right). \qquad (2)$$

Очевидно, что расчеты сводятся к вычислению бесконечных сумм попарных произведений каждого измеренного значения входного сигнала на соответствующий коэффициент, величина которого постепенно убывает по мере «старения» сигнала. Поэтому предлагаются некоторые приближенные аналоговые модели на базе последовательных RC-цепей или многослойных тонкопленочных конденсаторов [6], которые при достаточно большом количестве становятся подобны фракталам. Также в среднечастотном диапазоне достаточно близкие к дробно-интегральным составляющим свойства получают с помощью фильтров высокого порядка.

Однако, за последние годы развитие микропроцессорной техники привело к массовому распространению универсальных однокристальных микропроцессоров и программируемых логических матриц, изготовленных по 14-28 нм технологическим процессам, которые используются в контроллерах Arduino, Raspberry Pi, Altera, что позволяет расширить возможности дискретных $PI^{\alpha}D^{\beta}$-регуляторов.

При синтезе замкнутой системы, соответствующей требуемому порядку астатизма $1+\mu$, $\mu \in [0,1]$, желаемая передаточная функция разомкнутого контура в относительных единицах во временной области может быть следующей:

$$H_{OPT}^{\mu}(p) = \frac{bp+1}{ap^{\mu}p} \cdot \frac{1}{p+1}, 0 < \mu < 1, \qquad (3)$$

где *a, b* – параметры настройки, относительное время $t = t_{real} / T_v$ является отношением реального времени t_{real} к некомпенсируемой малой постоянной времени T_v., соответственно в передаточных функциях $p = T_v p_{real} \Rightarrow p^{\mu} = (T_v)^{\mu} p_{real}^{\mu}$, в частотных характеристиках $-\Omega = T_v \Omega_{real} \Rightarrow \Omega^{\mu} = (T_v)^{\mu} \Omega_{real}^{\mu}$, составляющая $\frac{1}{p+1}$ соответствует некомпенсируемой части объекта управления,

Тогда, задавая предельное перерегулирование в замкнутой системе δ, можно получить семейство оптимальных нормированных переходных функций (рис. 1) [7].

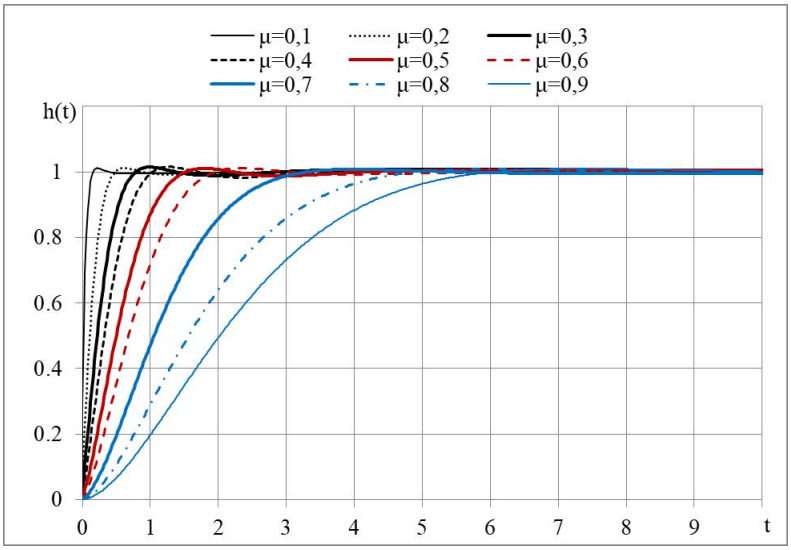


Рисунок 1 – Нормированные переходные функции для δ=0.025

Для обеспечения выбранных настроек регулятор, включенный последовательно с объектом управления, должен иметь передаточную функцию, определяемую из соотношения:

$$H_{REG}(p)=\frac{H_{OPT}(p)}{H_O(p)}, \qquad (4)$$

Так как большинство объектов – инерционные или дробно-инерционные звенья, то в составе структурной схемы регулятора обязательно будет присутствовать дробно-интегрирующее звено. Так, например, у двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением структурная схема (рис. 2) включает в себя три существенных нелинейных звена – два блока умножения и кривую намагничивания.

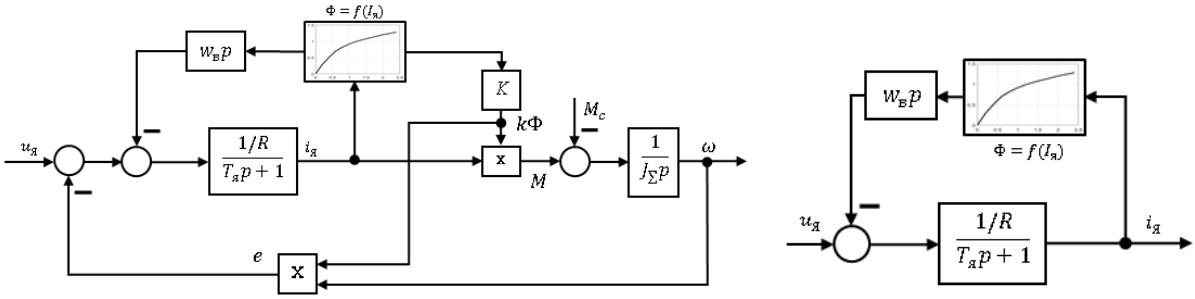


Рисунок 2 – Структурные схемы двигателя последовательного возбуждения (слева) и якорной цепи при $e=0$ (справа)

И при синтезе системы управления контур тока наиболее точно описывается передаточной функцией вида

$$H_{oy}=\frac{K}{a_1 p^{1+\mu}+a_0 p^{\mu}+1}. \qquad (5)$$

Для двигателя MCA 38/64-148/AD8 (номинальная скорость 12800 rpm, ток 1.6 A, мощность 370 W) получено $\mu=0.3188$, $a_0=0.1151$, $a_1=0.00602$, $K=0.19229$. Среднеквадратичная ошибка при обработке переходного процесса тока, полученного с помощью датчика Холла ACS712 и микроконтроллера STM32F4DISCOVERY с тактовой частотой 168 MHz, составила 0.399 %.

Регулятор, обеспечивающий настройку контура на оптимум с порядком астатизма $1+\mu$, в соответствии с (3), (4) и (5), включает в себя, кроме дифференцирующие, интегрирующие и дробно-интегрирующее звенья. Для формирования управляющей программы из (2) следует необходимость хранения в памяти процессора как массива коэффициентов, так и истории изменения входного сигнала. Максимальное количество членов ряда определяется объемом оперативной памяти. При исчерпании этого объема сигнал дробного интеграла начинает изменяться с ошибкой ε. Так, например, для μ=0.5 и ε=0.05 необходимо помнить 315 точек, а для обеспечения ε=0.02 – уже 1964. Хранение такого количества данных превышает возможности многих однокристальных процессоров.

Анализ коэффициентов в (1) показал, что, начиная с 50…100 члена ряда коэффициенты изменяются по зависимости, на доли процента отличающейся от

геометрической прогрессии, что при построении графиков в логарифмических осях соответствует прямым линиям (рис. 3).

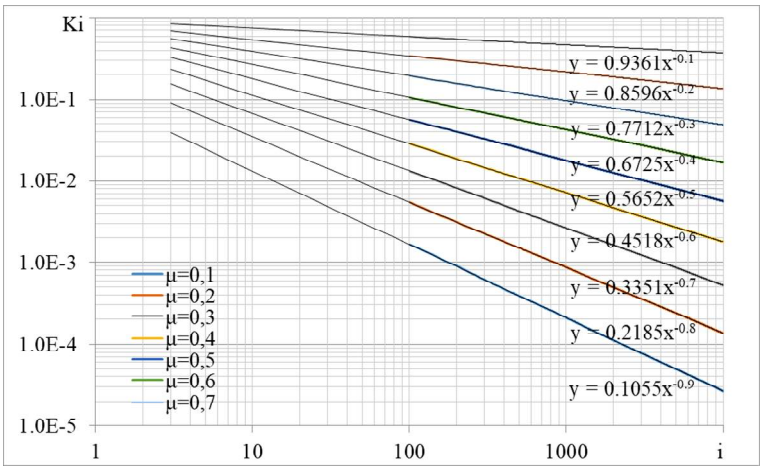


Рисунок 3 – Зависимости коэффициентов в формулах дробного интегрирования от порядкового номера

Это позволяет существенно упростить процедуру расчета дробного интеграла и свести ее к нескольким сотням сочетаний операций умножения и сложения в течение одного периода квантования. Самое важное заключается в том, что в памяти процессора необходимо хранить лишь последние значения входного сигнала и такое же количество коэффициентов.

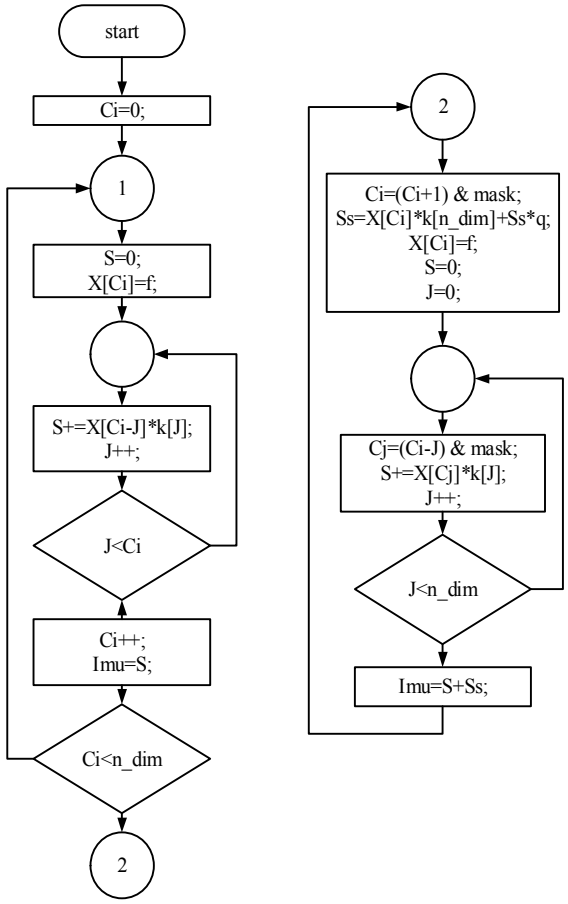


Рисунок 4 – Алгоритм расчета дробного интеграла

Для оптимизации вычислений целесообразно последние значения входного сигнала хранить в организованном в кольцо массиве с нумерацией от 0 до $n_{\dim}-1$. Если задать $n_{\dim}=2^k$ и выбрать k от 6 до 8, резервируя массивы из 64, 128 или 256 элементов, то процедура изменения номера j элемента кольцевого массива описывается простым выражением:

$$j=(j+1)\,\&\,mask,$$

где $mask=(n_{\dim}-1)=0b0...0011...11$ является двоичным числом, в котором k младших разрядов равны 1. На рис. 4 приведен алгоритм расчета дробного интеграла, в котором можно выделить две основных части.

1-й блок выполняется однократно при запуске системы и состоит из $n_{\dim}$ циклов. В нем рассчитывается точное значение дробного интеграла и заполняется массив входных значений первыми $n_{\dim}$ точками. Далее во 2-м блоке организуется «скользящий» по кольцевому массиву указатель C_i и цикл расчета составляющей дробного интеграла S для последних измеренных значений входного сигнала X со счетчиком Cj. А рассчитанное в предыдущем периоде квантования значение «старой» составляющей дробного интеграла Ss умножается на коэффициент геометрической прогрессии q и дополняется новым слагаемым $X[Ci]*k[n_{dim}]$. Результирующее значение – сумма S и Ss.

Предлагаемый алгоритм позволяет уменьшить погрешность вычисления дробного интеграла. Результат расчета эквивалентен для μ=0.5, например, хранению массивов по 500 000…2 000 000 элементов.

На основании представленного алгоритма была реализована программа расчета сигнала дробного интегрально-дифференцирующего регулятора в замкнутой системе на базе процессоров Intel Quark (Arduino Galileo), FPGA Altera Cyclone V, Atmega328P (Arduino Nano), STM32F4DISCOVERY. Последний был использован для управления током двигателя последовательного возбуждения. На рис. 5 сопоставлены расчетный и экспериментальный графики переходных процессов.

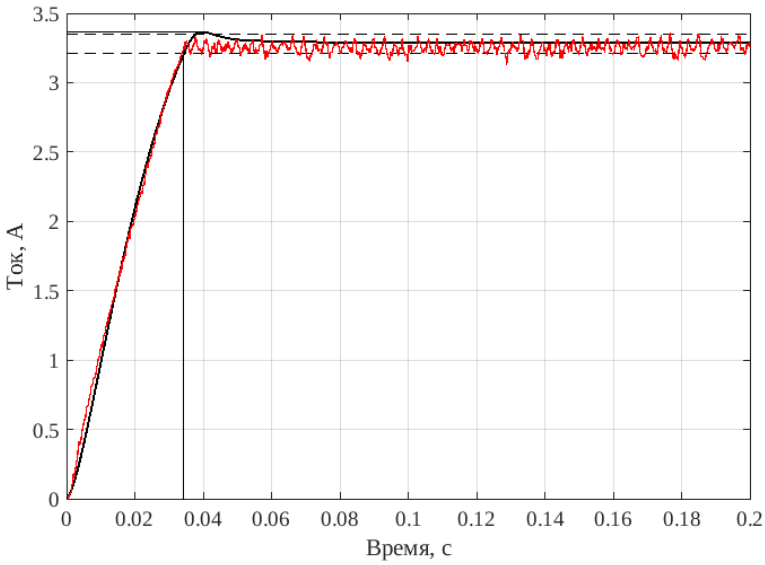


Рисунок 5 – Графики переходных процессов в системе управления с дробным порядком астатизма 1.3188

Видно, что регулятор позволил добиться управления с высокой точностью, быстродействием при практически полном отсутствии перерегулирования.

4. Выводы

1. Предложена методика синтеза замкнутых систем с дробным порядком астатизма от 1.1 до 1.9, на основании которой могут быть выбраны параметры и определена структура регулятора, позволяющего получить переходные функции с быстродействием от T_ν до $4.5T_\nu$ и перерегулированием не более 2,5 %,.

2. Предложен алгоритм приближенного расчета дробных интегралов, основанный на аппроксимации старших коэффициентов разложения в ряд геометрической прогрессией, что обеспечивает сокращение необходимых объемов памяти для хранения массивов коэффициентов и истории входного сигнала в сотни-тысячи раз и во столько же раз сокращает затраты времени процессора для вычисления сигнала регулятора. Это позволяет на базе современных микроконтроллеров, таких, как Intel® Quark™ SoC X1000, STM32F4, FPGA Altera Cyclone V, реализовать дробные интегрально-дифференцирующие регуляторы с высоким быстродействием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Freeborn, T., Maundy, B., Elwakil, S. (2015). Fractional-order models of supercapacitors, batteries and fuel cells: a survey. Materials for Renewable and Sustainable Energy, 4, 1–7.

2. Tarasov, V. (2005). Fractional Liouville and BBJKI Equations. Journal of Physics: Conference series, 7, 17–33.

3. Gebhart, B. (1991). Svobodnokonvektivnyie techeniya, teplo– i massoobmen. [Freeconventional flow, heat and mass transfer] in 2 books. Moscow, Mir.

4. Aoki, Y. Sen M., Paolucci S. (2005). Approximation of transient temperatures in complex geometries using fractional derivatives. Technical Note of department of aerospace of Notre Dam, 21.

5. Baleanu, D., Tenreiro, Machado, J., Luo, A. (2012). Fractional dynamics and control. New York: Springer, 309.

6. Petras, I., Podlubny, I., O'Leary, P. (2002). Analogue realization of Fractional Order Controllers. Tech. University of Kosice, 84.

7. Busher, V. Synthesis and technical realization of control systems with discrete fractional integral-differentiating controllers [Text] / V. Busher, A. Aldairi // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729–3774. Industry Control System. – Kharkov: PC Technology Center, 2018. – Vol. 2, No 4 (94), (2018). – P. 63–71. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.139892

УДК 629.12-8.005

МОНІТОРИНГ ПРОЦЕСІВ, ЯКІ ШВИДКО ЗМІНЮЮТЬСЯ У ЧАСІ, З ПОСЛІДУЮЧИМ АНАЛІЗОМ РЕЗУЛЬТАТІВ

В.А. Завадський, к.т.н., професор
Р.Ю. Харченко, старший викладач
Національний університет «Одеська морська академія»
С.М. Дранчук, к.т.н., доцент
Одеський національний морський університет

Анотація. *Запропоновано метод моніторингу процесів, які швидко змінюються у часі, з використанням 8 датчиків, який заснований на вимірюванні частоти вихідних сигналів датчиків синхронним методом з дорахуванням на початку та в кінці періоду з дискретністю моніторингу не менш 8 мс.*

Ключові слова: *моніторинг, динаміка, вимірювання частоти*

В ряді наукових та технічних досліджень потребується провести аналіз процесів, які протікають в об'єкті дослідження та швидко і динамічно змінюються у часі. Такими процесами можуть бути раптове зштовхування об'єкту з нерухомою перешкодою, випробування тяги реактивних двигунів та ін. При такому дослідженні виникає необхідність розподілу процесів моніторингу параметрів об'єкту дослідження та аналізу динаміки протікання процесу у часі. Процес моніторингу у такому випадку повинен проходити дуже швидко з мінімально можливим інтервалом опитування у часі, тоді як аналіз динаміки протікання процесу у часі може бути виконаний після закінчення випробувань і необмежений часом.

В даній роботі пропонується метод проведення моніторингу процесів при тестуванні тяги реактивних двигунів та деформації їх корпуса, які швидко та динамічно змінюються у часі з використанням датчиків з частотними виходами, з послідуючим накопленням отриманої інформації у персональному комп'ютері, що дозволяє провести послідуючий аналіз динаміки протікання процесів після закінчення випробувань.

Структурна схема моніторингу наведена на рис.1. Датчиками (Д1…Д8) є резистивні тензометричні датчики, які побудовані за мостовою схемою, та мають аналоговий вихід у вигляді напруги. Для перетворення аналогового вихідного сигналу від датчиків використовується аналогово-частотне перетворення їх сигналів у частоту в діапазоні 2…20 кГц з формою «меандр» за допомогою блоків БАЧП, які розташовуються поблизу датчиків.

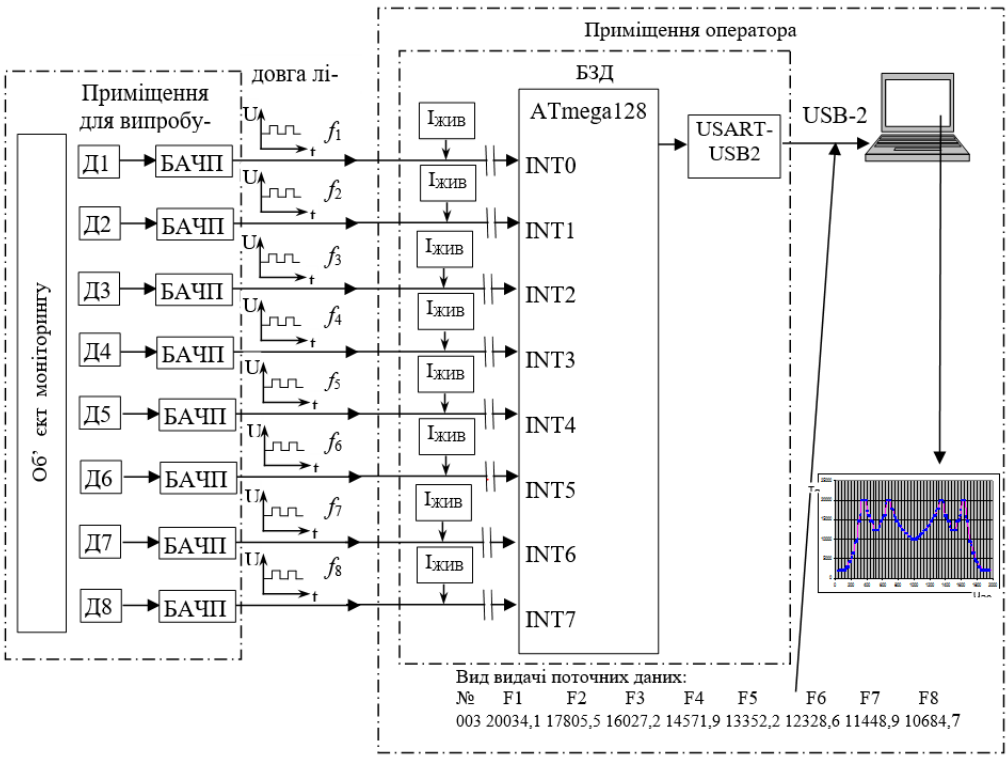


Рисунок1 – Структурна схема 8-канального моніторингу процесів, які швидко змінюються у часі

Частотний сигнал від таких блоків може бути переданий на значну відстань від місця тестування об'єкту без значних перешкод. Більш того, це дозво-

ляє подавати живлення на тензометричні датчики та блоки БАЧП і отримувати необхідну інформацію за допомогою тільки двох дротів від кожного інформаційного каналу, якщо для їх живлення використовувати джерело струму 60…125 мА [1]. Блок збору даних (БЗД), який розташовується поблизу персонального комп'ютера та на значній відстані від об'єкту дослідження, побудований на мікроконтролері AT mega-128 та виконує наступні задачі:

- вимірює за заданий час опитування (від 5 до 10 мс) частоту вихідного сигналу кожного датчика;
- формує загальний сигнал, в якому в символьному вигляді міститься інформація про значення частоти усіх датчиків;
- за допомогою інтерфейсу USART передає загальний сигнал у перетворювач інтерфейсу USART в інтерфейс USB-2, а далі у персональний комп'ютер (ПК);
- виконує живлення датчиків та блоків аналого-частотного перетворення за допомогою джерела живлення 100 мА ($I_{ЖИВ}$).

Оскільки потребується мінімальний час опитування для вимірювання частоти кожного каналу, використовується синхронний метод з дорахуванням тактових імпульсів на початку та в кінці періоду [2]. Кількість імпульсів вимірюваної частоти підраховується у зовнішніх перериваннях INT0…INT7 по фронту сигналу. Кількість імпульсів тактової частоти на початку та у кінці періоду визначається 16-розрядним таймером, який працює у режимі захоплення. Як показали дослідження використання такого таймеру при паралельному визначенні фронту сигналів вхідної частоти приводить до відкладення обробки зовнішніх переривань, що визначає збільшення похибки при підрахунку імпульсів тактової частоти, а значить і загальної похибки виміру частоти (рис.2 а). Такий випадок можливий, якщо на вхід більш ніж одного зовнішнього переривання надходять одночасно фронти декількох вимірюваних частот. В роботі пропонується використовувати послідовне визначення фронту сигналів вхідної частоти. Після початку відліку часу опитування дозволяється визначати фронт сигналу вхідної частоти першого каналу по INT0, потім другого каналу по INT1 і т.д. до восьмого каналу. Це значно зменшує розкид вимірювання частоти (рис.2.б) і підвищує точність визначення частоти (до 0,01 %).

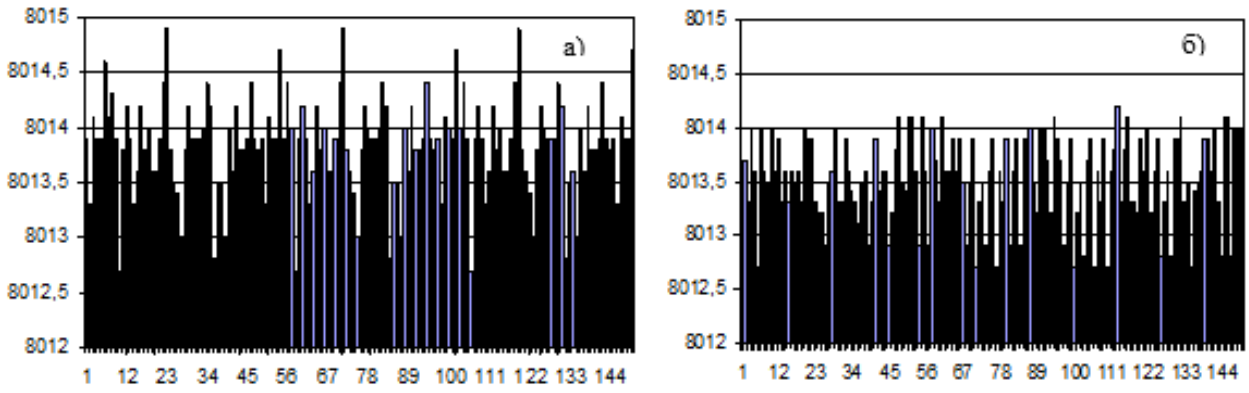


Рисунок 2 – Гістограми розкиду експериментально визначених значень частоти при паралельному (а) та послідовному (б) опитуванні переривань

Мінімальний час опитування при послідовному визначенні фронтів сигналів вхідної частоти визначається як:

$$T_{ОПТ\,\min} = \left(T_X + T_{NB} + T_{NE}\right) \cdot N_K = \left(\frac{1}{f_{\min}} + \frac{0{,}5}{f_{\min}} + \frac{0{,}5}{f_{\min}}\right) \cdot N_K \qquad (1)$$

де T_X – період вхідного сигналу; T_{NB}, T_{NE} – період до визначення фронту вхідного сигналу на початку та по закінченню часу опитування, відповідно; N_K – кількість вхідних каналів; $f_{\min}$ – мінімальне значення вхідної частоти.

Для інтервалу частот від 2 до 20 кГц та 8 каналів вимірювання мінімальний час опитування, який визначає дискретність процесу моніторингу, складає біля 8 мс.

Після закінчення першого циклу процесу вимірювання частот всіх каналів, одразу починається послідуючий цикл вимірювання. І одночасно з цим циклом вимірювання паралельно в основній програмі виконується розрахунок частот усіх каналів, переведення отриманих значень частот у символьний вигляд та передача їх по інтерфейсу USB-2 у персональний комп'ютер як текстовий файл. Цей текстовий файл приймається програмою HyperTerminal у режимі Capture Text для збереження в пам'яті комп'ютера. Цей файл після закінчення моніторингу можливо обробити необхідною програмою та проаналізувати динаміку процесу, який досліджується.

Для безперервного моніторингу необхідно, щоб час розрахунку частот, переведення їх у символьний вигляд та передавання текстового файлу у персональний комп'ютер, не перевищував часу одного циклу вимірювання. Розрахунок показує, що для виконання цього процесу необхідний час не менш 2 мс, а для передавання цього файлу по інтерфейсу USB-2 зі швидкістю 115200 Бод необхіден час 6,3 мс. Таким чином мінімальна дискретність процесу моніторингу обмежується виразом (1) і складає для 8 каналів не менш 8 мс.

Для тестування запропонованого методу моніторингу на вхід кожного каналу вимірювання подавались тестові частотні сигнали на протязі 2 сек, які змінювались у часі кожні 10 мс. Експериментальні дослідження показали добре співпадіння між заданим законом зміни частоти у часі та заміряними даними (рис.3).

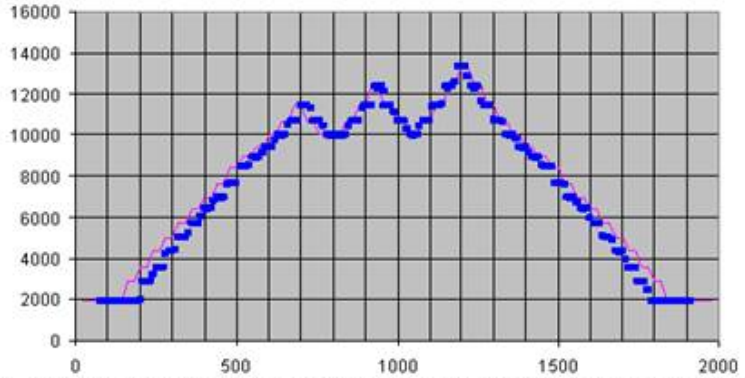


Рисунок 3 – Експериментальна перевірка запропонованого методу моніторингу динаміки процесів, які швидко змінюються у часі:
точки – експериментальні заміри частоти;
суцільна лінія – подана динаміка зміни частотного сигналу

Висновки. Запропонований метод моніторингу динаміки процесів, які швидко змінюються у часі, дозволяє проводити моніторинг від 8 датчиків з дискретністю не менш 8 мс зі зберіганням результатів моніторингу у вигляді текстового файлу для послідуючого аналізу динаміки протікання процесу у часі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дранчук С.Н., Олейник М.А.Синхронный метод измерения частоты с досчетом в конце периода для частотных датчиков судового оборудования. Тезисы доклада в сб. Матеріали науково-методичної конференції «Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки». 14.12.2011 – 15.12.2011, Одеса: ОНМА, 2012, с.57-58

2. Касаткин А.С. Автоматическая обработка сигналов частотных датчиков. – М.: Энергия, 1966. – 120 с.

УДК 621.3.011.71

ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ВНУТРІШНІХ ОПОРІВ ДЖЕРЕЛ АВТОНОМНИХ ТРИФАЗНИХ МЕРЕЖ

О.В. Глазєва, к.т.н., доцент
В.В. Бушер, д.т.н., професор
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Наведено приклад практичної реалізації методу підбору параметрів навантаження для створення умов постачання максимальної потужності, в тому числі при несиметрії віток джерела. Надано алгоритм послідовності дій для визначення реактивного та резистивного опорів навантаження і розрахунку внутрішніх опорів трифазного джерела. Обґрунтовано недоліки, які виявились при знаходженні максимальної потужності трифазного кола методом двох ватметрів, показано необхідність використання методу трьох ватметрів, який підвищив точність виміру потужності для отримання узгодженого режиму роботи джерела та навантаження.*

Ключові слова: *узгоджений режим робот, активна потужність, активний триполюсник, внутрішній опір, трифазне джерело, змінний струм.*

Питання постачання електричної енергії від активного багатополюсника до пасивного є важливими і в електроенергетиці, і в техніці зв’язку, а також у багатьох інших випадках.

У класичних посібниках з електротехніці описано умови постачання максимальної потужності від активного двополюсника до пасивного [1], але для випадку триполюсників ці питання не розглянуто достатньо повно. Так, в роботі [3] було отримано бажані умови для випадку лінійних триполюсників постійного та змінного струму, але не показано, як здійснити пошук параметрів, які задовольняють ним.

Зупинимося на триполюсниках змінного струму.

На схемі, наведеної на рис. 1, підключено один до одного активний та пасивний триполюсники змінного струму, з’єднані зіркою. В такому випадку стає можливим використовувати метод накладання струмів для розрахунку кола.

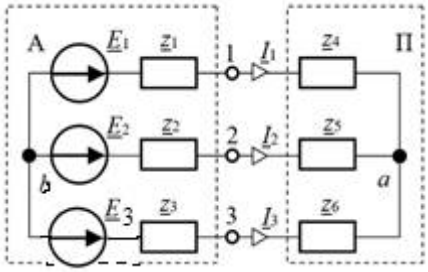


Рисунок 1 – Розрахункова схема змінного струму

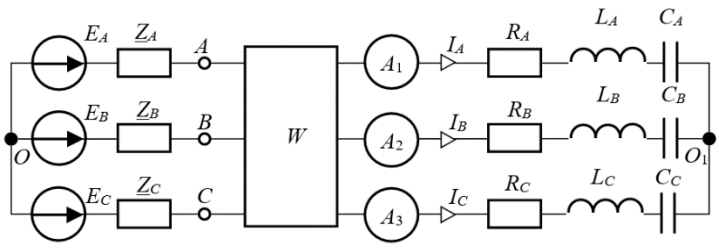


Рисунок 2 – Схема для визначення внутрішніх опорів трифазного трипровідного джерела

Комплексні опори навантаження мають шість змінних:

$$\underline{z}_4 = r_4 + jx_4, \qquad \underline{z}_5 = r_5 + jx_5, \qquad \underline{z}_6 = r_6 + jx_6 \ ,$$

тому, максимум потужності спостерігається за умови, що шість часткових похідних будуть дорівнювати нулю:

$$\frac{\partial P}{\partial r_4} = 0, \ \frac{\partial P}{\partial r_5} = 0, \ \frac{\partial P}{\partial r_6} = 0, \ \frac{\partial P}{\partial x_4} = 0, \ \frac{\partial P}{\partial x_5} = 0, \ \frac{\partial P}{\partial x_6} = 0. \qquad (6)$$

Методом накладання в комплексній формі було знайдено комплексні опори віток навантаження, що дорівнюють спряженим значенням опорів відповідних віток джерела, при яких джерело постачає у навантаження максимально можливу потужність:

$$\underline{z}_4 = \overset{*}{\underline{z}}_1, \ \underline{z}_5 = \overset{*}{\underline{z}}_2, \ \underline{z}_6 = \overset{*}{\underline{z}}_3.$$

Мета роботи – розробка методу експериментального визначення параметрів схеми заміщення трифазного джерела за допомогою створення узгодженого режиму роботи.

Розглянемо схему з невідомими Z_A, Z_B, Z_C навантаженням, де R_A-R_B-R_C, L_A-L_B-L_C, C_A-C_B-C_C – магазини резистивних, індуктивних і ємнісних опорів відповідно; W – трифазний ватметр (рис. 2).

Задача полягає в тому, щоб, змінюючи параметри фазних опорів навантаження за допомогою відповідних магазинів, добитися максимально можливої активної потужності навантаження (максимум показу трифазного ватметра).

Шукані внутрішні комплексні опори фаз джерела будуть дорівнювати спряженим комплексам опорів відповідних фаз навантаження:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_1 = \underline{Z}_A = R_A + j\cdot\left(X_{CA} - X_{LA}\right) &= \overset{*}{\underline{Z}}_4; \\ \underline{Z}_2 = \underline{Z}_B = R_B + j\cdot\left(X_{CB} - X_{LB}\right) &= \overset{*}{\underline{Z}}_5; \\ \underline{Z}_3 = \underline{Z}_C = R_C + j\cdot\left(X_{CC} - X_{LC}\right) &= \overset{*}{\underline{Z}}_6. \end{aligned} \qquad (7)$$

Алгоритм пошуку опорів навантаження складається з трьох етапів:

1. Враховуючі, що в наслідок резонансу напруги в схемі можуть бути ве-

ликі струми, в схемі на стороні джерела та на стороні навантаження включають додаткові опори.

2. У кожній фазі по черзі за допомогою магазинів конденсаторів C створюється резонанс напруги, виникнення якого визначається за максимумом показів відповідних амперметрів (рис. 2).

3. Далі, регулюючі опори R_A, R_B, R_C дістають максимальної сумарної потужності фаз. Ця операція повторюється, доки максимальне значення сумарної потужності ватметрів не перестає збільшуватися. Зняті з магазинів значення опорів дозволяють по формулах (2) визначити шукані внутрішні опори фаз джерела. Такий шлях пошуку в деяких випадках може приводити до отримання кількох екстремумів. Попередні дослідження показали, що метод двох ватметрів для рішення цієї задачі непридатний. Тому для досягнення мети необхідно використовувати метод трьох ватметрів.

Процедуру пошуку у вигляді алгоритму відображено на рис. 3.

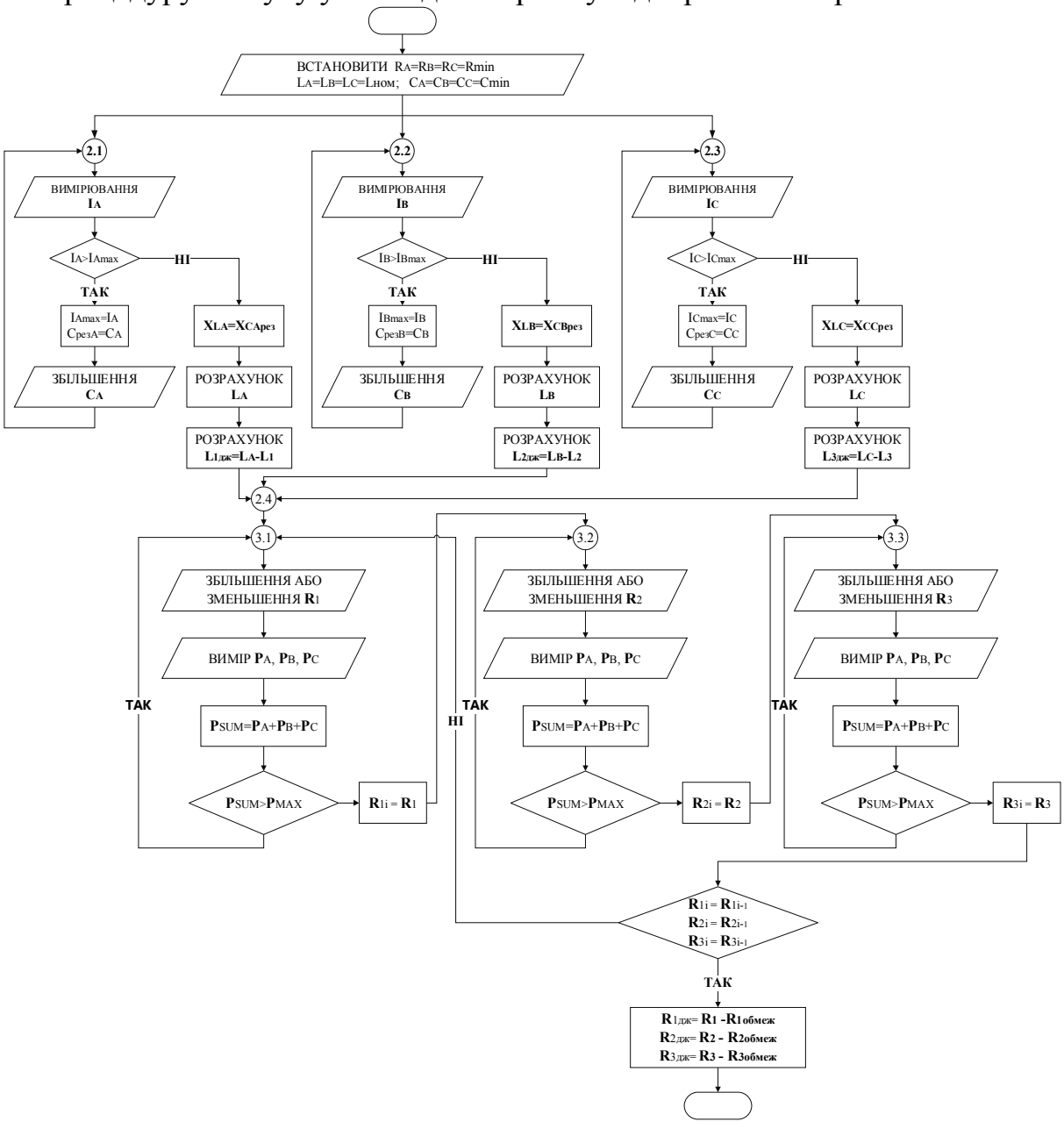


Рисунок 3 – Алгоритм визначення внутрішніх опорів джерела

Покажемо приклад знаходження внутрішніх опорів джерела змінного струму за допомогою моделі системи, створеної в середовищі Multisim (рис. 4).

Вихідні дані для проведення експерименту: трипровідне електричне коло зі скритими параметрами джерела, три ватметра, опори навантаження $R_1 = R_2 = R_3 = 15$ Ом; індуктивність навантаження $L_1 = 70$ мГн; $L_2 = L_3 = 80$ мГн, ємність навантаження $C_1 = C_2 = C_3 = 67{,}6$ мкФ.

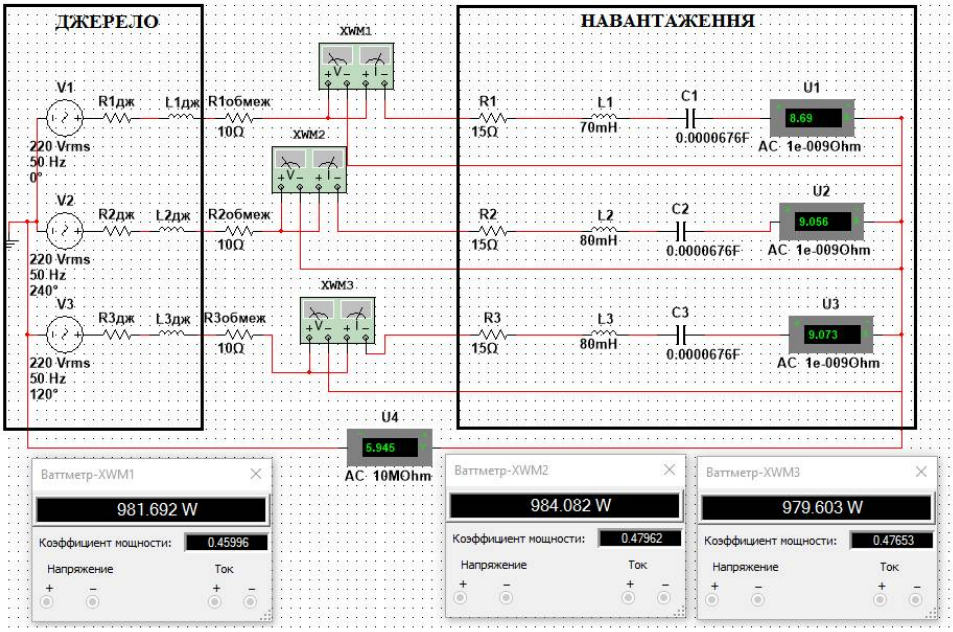


Рисунок 4 – Визначення потужності методом трьох ватметрів

При резонансі напруги струм в вітці кола досягне максимуму, тому, для обмеження струму, встановимо опори $R_{1обмеж} = R_{2обмеж} = R_{3обмеж} = 10$ Ом.

Встановимо резонанс напруги по черзі в фазі ***A***, потім в фазі ***B*** та в фазі ***C***. Так як $C_1 = C_2 = C_3 = 67{,}6$ мкФ, то

$$X_{C1} = X_{C2} = X_{C3} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 67{,}6 \cdot 10^{-6}} = 47{,}11 \text{ Ом}.$$

Умова резонансу напруги: $X_C = X_L = 47{,}11$ Ом, що відповідає значенню індуктивності $L_A = L_B = L_C = 150$ мГн. Отже, підібрав значення індуктивностей у кожній фазі навантаження отримаємо: для фази А значення індуктивності $L_1 = 70$ мГн; для фази В та С – $L_2 = L_3 = 80$ мГн. При підборі значень індуктивностей враховувалось, що індуктивність кожної фази складається з невідомої індуктивності джерела та індуктивності фази, яку ми підбираємо:

$$L_A = L_{1дж} + L_1\ ; \qquad L_B = L_{2дж} + L_2\ ; \qquad L_C = L_{3дж} + L_3\ ,$$

звідки

$$L_{1дж} = L_A - L_1 = 150 - 70 = 80 \text{ мГн};$$
$$L_{2дж} = L_B - L_2 = 150 - 80 = 70 \text{ мГн};$$
$$L_{3дж} = L_C - L_3 = 150 - 80 = 70 \text{ мГн}.$$

При резонансі напруги повний опір вітці кола дорівнює: $Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}=R$, тому, згідно з методикою, використовуючи метод простих ітерацій, будемо підбирати значення опорів R_1, R_2, R_3 такими, щоб отримати найбільше сумарне значення потужності трьох ватметрів.

В табл. 1 наведено отримані дані підбору значень активних опорів для створення узгодженого режиму роботи джерела

Таблиця 1 – Результати пошуку максимуму сумарної потужності

1-а ітерація														
Підбір резистору R_A					**Підбір резистору R_B**					**Підбір резистору R_C**				
R_A, Ом	P_1, Вт	P_2, Вт	P_3, Вт	$\sum P$ Вт	R_B, Ом	P_1, Вт	P_2, Вт	P_3, Вт	$\sum P$ Вт	R_B, Ом	P_1, Вт	P_2, Вт	P_3, Вт	$\sum P$ Вт
15	948,467	984,057	984,001	2916,525	15	848,614	1039	1039	2926,614	15	888,381	969,686	1077	2935,067
14	929,491	995,883	995,083	2921,257	14	864,420	1020	1050	2930,442	14	898,799	981,117	1059	2938,916
13	907,353	1009	1009	2925,353	13	873,162	998,370	1062	2933,532	13	910,074	993,489	1037	2940,563
12	881,631	1022	1022	2925,631	12	886,941	972,510	1075	2934,451	12	922.302	1007	1011	2940,302
11	851,838	1037	1037	2925,838	11	901,875	942,14	1090	2934,015	12,1	921,033	1006	1014	2941,033
10	817,412	1053	1054	2924,412	11,5	894,256	957,928	1082	2934,184	12,2	919,775	1004	1017	2940,735
10,5	835,242	1045	1045	2925,242	11,9	888,381	969,686	1077	2935,067					
10,9	848,614	1039	1039	2926,614	11,8	889,832	966,816	1078	2934,648					
10,8	845,343	1040	1041	2926,343										
2-а ітерація														
10,9	921,033	1006	1014	2941,033	11,9	980,423	978,229	986,719	2945,371	12,1	979,119	981,053	985,205	2945,377
11,4	937,0	998,590	1007	2942,59	12	979,119	981,053	985,205	2945,377	12	980,4	982,561	982,427	2945,388
12	954,587	990,045	999,091	2944,323	12,1	977,825	983,831	983,704	2945,36	11,9	981,691	984,082	979,603	2945,377
12,8	975,582	980,634	989,115	2945,331										
13	980,423	978,229	986,719	2945,371										
13,1	982,7786	977,041	985,535	2945,362										

За результатами підбору активних опорів R_1, R_2, R_3 отримаємо:

$$R_{1дж}=R_1-R_{1обмеж}=13-10=3 \text{ Ом};$$

$$R_{2дж}=R_2-R_{2обмеж}=12-10=2 \text{ Ом};$$

$$R_{3дж}=R_3-R_{3обмеж}=12-10=2 \text{ Ом}.$$

$L_{1дж}=80$ мГн; $L_{2дж}=70$ мГн; $L_{3дж}=70$ мГн

«Відкриємо» скриті параметри джерела (рис. 5), та бачимо, що отримані параметри співпадають з встановленими.

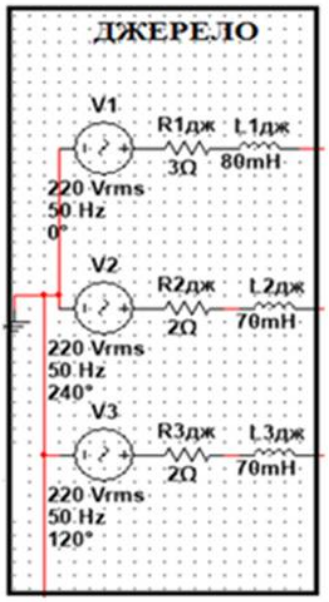


Рисунок 5 – Параметри трифазного несиметричного джерела

Висновки

Таким чином, запропоновано метод знаходження параметрів схеми заміщення трифазного джерела змінного струму з використанням резонансу напруги та узгодженого режиму роботи джерела та навантаження.

Показано приклад практичної реалізації запропонованого методу підбору параметрів навантаження для створення умов постачання максимальної потужності, в тому числі при несиметрії віток джерела на моделі в програмі Multisim. Надано послідовність дій для визначення необхідних реактивного та резистивного опорів навантаження і розрахунку внутрішніх опорів трифазного джерела.

Показано, що метод двох ватметрів не дозволяє знайти максимальну потужність трифазного кола із-за виникнення багатьох екстремумів. Тому, для забезпечення високої точності пошуку параметрів для отримання узгодженого режиму роботи джерела та навантаження необхідним є метод трьох ватметрів. Застосування запропонованого методу в потужних мережах з малими внутрішніми опорами викликає деякі складнощі через отримання неприпустимих перевантажень за струмом при створенні резонансу напруги, що потребує включення додаткових резисторів, які в сою чергу призводять до втрати точності вимірювань.

Створену в Multisim модель можна використовувати при проведенні лабораторних занять з курсів «Теоретичні основи електротехніки», «Основи теорії кіл» та «Електротехніка».

ЛІТЕРАТУРА

1. Новгородцев А.Б. Теоретические основы электротехники. 30 лекций по теории электрических цепей: Учебное пособие. 2-е издание. – СПб.: Питер, 2006. – 76 с.: ил.

2. Теоретичні основи електротехніки. Збірник задач: навчальний посібник /О.В. Корощенко, В.Ф. Денник, О.А. Журавель та ін..; за заг. ред. О.В. Корощенка. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2012. – 673 с.:іл.

3. Корощенко О.В. Спосіб визначення внутрішніх опорів трифазного джерела для постачання максимальної потужності від активного триполюсника [Текст] / О.В. Корощенко, О.М. Рак, О.В. Глазєва // Электротехнические и компьютерные системы. – Киев: Техника, 2017. – Вып. 25(101). – С. 240–244.

УДК 629.5.078

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ТЕПЛОВЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ ПОПАДАНИЯ ИНОРОДНОГО ТЕЛА В УПОРНЫЙ ПОДШИПНИК ГЛАВНОГО ДВИГАТЕЛЯ СУДНА

А. Г. Калуев, к.т.н.
Национальный университет «Одесская морская академия»
А. Н. Рак, к.т.н., доцент
Донецкий государственный технический университет
Космас Здрожис, к.т.н.
Александр Технологический образовательный институт в Салониках

Аннотация. *В докладе представлена методика расчета, базирующаяся на теории переходных процессов при моделировании аварийной ситуации по причине попадания инородного тела в упорный подшипник Главного двигателя судна. Произведенные расчеты конкретного случая аварии и полученные обоснования, позволяют производить анализ и прогнозирование аварийных ситуаций в будущем, в том числе, при проведении расследования аварийных случаев, а также использовать данный метод техническими экспертами классификационных обществ в рамках ПТЭ и представителями портовых надзорных органов в соответствии с требованиями ИМО.*

Ключевые слова*: упорный подшипник, главный двигатель, аварийная ситуация, классификационное общество, инородное тело (ИТ).*

Выход из строя упорно-опорного подшипника может привести к невозможности работы главного двигателя (ГД), потере судном мореходности, авариям, которые могут привести к пожарам, взрывам, гибели судов, людей, груза. Недавние события, произошедшие с т/х «Новочеркасск» Азовского морского пароходства, являются тому подтверждением.

Аварийная ситуация произошла на переходе указанного судна, когда в центральном посту управления (ЦПУ) сработал сигнал о максимальной температуре масла на выходе из упорно-опорного подшипника ГД. Ввиду сложной навигационной обстановки судно продолжило движение на пониженных оборотах.

Однако, примерно через 1 час ГД был остановлен. После вскрытия смотровых лючков упорного подшипника для осмотра, обнаружили заклинивание сегментов переднего хода (ПХ) – глубокие задиры. Продолжить переход на пониженных оборотах ГД, вынуждены были отказаться.

Экспертной комиссией Капитана порта Мариуполь, были выставлены возможные причины аварии:

1. Плохое качество циркуляционного масла ГД (содержание воды в масле 4% при допустимом 2%);
2. Нарушение ПТЭ ГД;
3. Выход из строя системы смазки подшипника из-за засорения питающего трубопровода подвода масла к упорному подшипнику;
4. Возможное закрытие клапана подвода масла к упорному подшипнику.

Рассмотрим некоторые предпосылки возникновения аварийной ситуации:

А) В случае обводнения масла до 10-20% существенного изменения условий работы гидродинамических подшипников при такой удельной нагрузке (0,9 МПа) в ходе экспериментальных исследований, проведенных в ДонГТУ в 1986-1989 гг.) не наблюдалось.

Вывод: выйти из строя подшипник не мог. Контроль качественных показателей масла экипажем выполнялся (имеются записи в журнале о качестве нефтепродуктов).

Б) Засорение питающего трубопровода подвода масла к подшипнику невозможно, ввиду его конструктивных особенностей при весьма достаточном диаметре 50мм, и при использовании надежного винтового масляного насоса с тройным сетчатым фильтром.

Вывод: При полном отсутствии смазки наибольшие разрушения наблюдались бы на наибольшем диаметре, на периферии подшипника и гребня.

В) В случае малой скорости вращения ГД, не позволяющей создание «гидродинамического клина».

Вывод: Наибольшие разрушения имели бы место на минимальном диаметре вала.

Г) В случае закрытия трубопровода подвода масла к упорному подшипнику, все же уровень масла в картере упорного подшипника находился бы на уровне сливного трубопровода на разъёме корпуса и при этом,

поступление масла обеспечивается через просверленное в тарелке клапана отверстие диаметром 4мм.

Вывод: Произошло бы медленное нагревание упорного подшипника, но не резкое повышение, как в нашей ситуации.

Анализ, фотографий, отчетливо показал:

1) Следы механического воздействия поверхностного трения (светлый фон, указывающий на цвет металла-подложки, нанесенного на чугунную поверхность перед заливкой баббита по всей поверхности подшипника;

2) Глубокие задиры, вплоть до чугуна-материала подшипника, повреждение гребня (царапины глубиной до 3 мм с рваными краями.

Вывод: 1. Поскольку разрушение рабочих поверхностей подшипника произошло в средней его части, то наиболее вероятной причиной является присутствие ИТ, исключившего создание масляного клина в зазоре и, непосредственно повредившего рабочие поверхности подшипника.

2. В случае, когда происходит полное выплавление баббитового слоя подшипника – это, как правило, результат полужидкостного и полусухого трения, ведущего к выделению тепла, связанного с повышением температуры. У подшипников, выполненных из мягких материалов (баббиты), несущая способность ограничивается наступающим при повышенных температурах размягчением материала с последующим разрушением его под действием высоких давлений в масляном слое еще до возникновения полусухого трения.

3. Все это, и только вместе учтенное, могло бы привести к выходу из строя подшипника.

Руководствуясь вышеперечисленными критериями была смоделирована ситуация на ЭВМ и проведен расчет вариантов и режимов:

1. С нормальным и «обводненным» маслом.

2. Аварийный режим с нормальным и обводненным маслом.

По методике, которая приведена ниже, произведены рассчеты:

I. Теплоотвод через смазочный материал, вытекающий из подшипника, определяется по [1], Вт:

$$Q = c \cdot V \cdot \rho \cdot (t_{вых} - t_{вх}) \cdot 10^{-3} = c \cdot V \cdot \Delta t \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где ρ – плотность масла, кг/м^3;

c – удельная теплоемкость масла, Дж/кг^{o}С;

V – объем масла, прокачиваемого через подшипник, м^3;

$\Delta t = t_{вых} - t_{вх}$ – разность температуры масла на выходе из подшипника и входе в него, ^{o}С.

При наличии в масле воды, его плотность и теплоемкость определяются согласно [2]:

$$\rho = \rho_{воды} \cdot b + (1 - b) \cdot \rho_{масла}, \quad (2)$$

$$c = c_{воды} \cdot b + (1 - b) \cdot c_{масла}, \quad (3)$$

где b – содержание воды, %.

Величина масляного слоя в соответствии с [3] определяется:

$$h_o = a \cdot \sqrt{d_{ср}}, \quad (4)$$

где $d_{ср}$ – средний диаметр подшипника, м. При расчете в формулу подставляется значение в м., а конечный результат представляется в мкм;

а – коэффициент, учитывающий чистоту обработки поверхностей:

$$d_{ср} = 0{,}5 \cdot (D_1 + d_1), \quad (5)$$

где D_1 – внешний диаметр подшипника, согласно его основных геометрических размеров, м;

d_1 –внутренний диаметр подшипника согласно геометрических размеров, м.

Объем, занимаемый маслом в подшипнике, м^3, определяется его конструкцией.

$$V^1 = \pi \cdot (D_1 / 2)^2 \cdot h_o - \pi (d_1 / 2)^2 h_o, \quad (6)$$

Масса масла в зазоре, кг:

$$m = \rho \cdot V^1, \quad (7)$$

Объем масла, прокачиваемого через подшипник, м^3:

$$V = \nu \cdot m / S \quad (8)$$

где ν – вязкость масла, м^2/с (для справки 1с СТ=10^{-6} м^2/с);

S –проходное сечение подшипника, м^2.

По номограмме рис.1, приведенной в [4] для рабочей температуры необходимо определить вязкость следующим образом: зная класс используемого в данном типе ГД масла, и его вязкость, проводим прямую линию, параллельную прямой данного класса вязкости. Затем из точки, соответствующей рабочей температуре восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с полученной прямой. Точка пересечения и есть искомая вязкость, которую принимаем при расчетах.

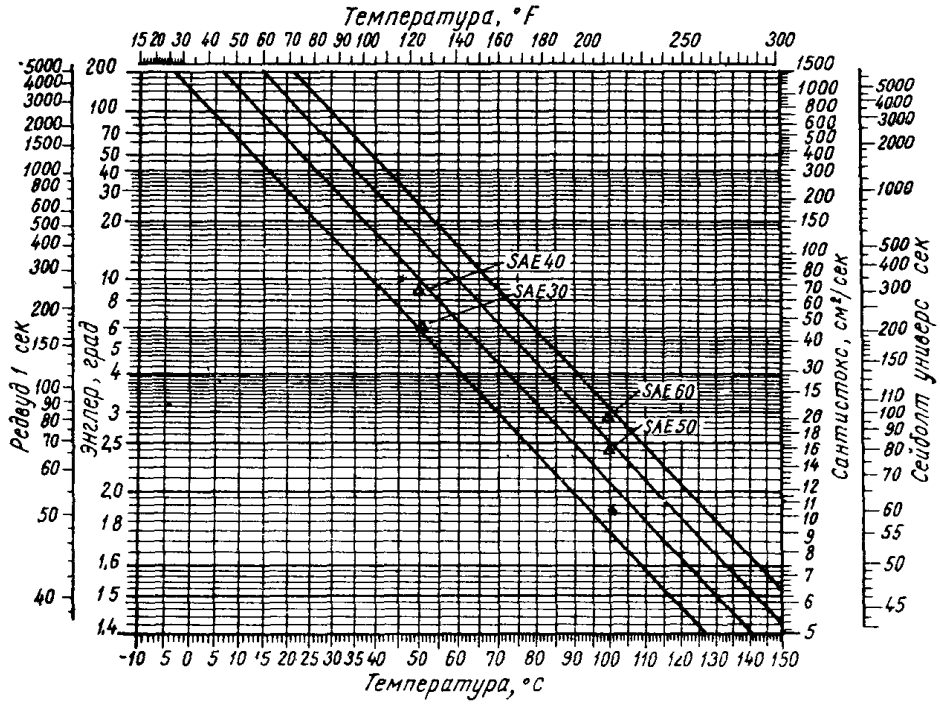


Рисунок 1 - Номограмма для определения вязкости смазочных масел (по классификации SAE) в зависимости от температуры

Исходя из предыдущих расчетов, определяем проходное сечение подшипника с учетом присутствия инородного тела:

$$S = h_o(D_1 - (d_1 + 1)), \quad (9)$$

где l –длина инородного тела, м.

Линейная скорость вращения вала м/с, определяется:

$$\upsilon_в = \frac{\pi \cdot n \cdot d_{ср}}{60}, \quad (10)$$

Коэффициент теплоотдачи подшипника (КТО) по [5], Вт/м^2 ^{O}С:

$$\alpha = 7 + 12\sqrt{\upsilon_в}, \quad (11)$$

Необходимо учитывать, что данные КТО носят ориентировочный характер, а для более точных данных необходимы специальные исследования.

II. Определяем суммарную площадь поверхности теплоотвода подшипника, м^2 исходя из конструктивных данных.

$$S_\Sigma = 2S_T + S_{бок}, \quad (12)$$

Торцовая поверхность подшипника, м^2

$$S_T = \pi \cdot (R_1^2 - r_1^2), \quad (13)$$

Боковая поверхность подшипника, м^2.

$$S_{бок} = \pi \cdot R_1 \cdot h, \quad (14)$$

где h – толщина подшипника, м.

Превышение температуры подшипника над температурой окружающей среды определяем из соотношения:

$$\alpha \cdot S_\Sigma \cdot \theta = Q, \quad (15)$$

Откуда получаем, что:

$$\theta = \frac{Q}{\alpha \cdot S_\Sigma}, \quad (16)$$

где θ – температура масла в подшипнике, ^{o}С :

Моделирование теплового переходного процесса в подшипнике проводилось согласно [5]:

$$\theta_{подш} = \theta + \theta_{окр}, \quad (17)$$

$$C\frac{d\theta}{dt} + \alpha \cdot S_\Sigma \cdot \theta = Q$$

где: $C = m \cdot c$ – теплоемкость, Дж/ ^{o}С; m – масса подшипника, кг; t – время, с.

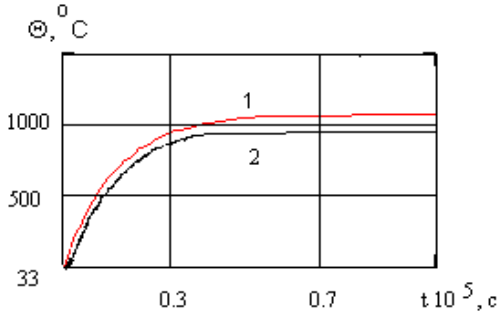


Рисунок 2 – Кривые нагревания подшипника 1- в чистом масле, 2- в масле, содержащем 4% воды

Выводы:

1. Повышение температуры произошло практически мгновенно, в течении нескольких минут, вследствие внезапного изменения режима работы подшипника с 47^0С до 50^0С в момент срабатывания в ЦПУ сигнала о нарушении температурного режима, и при этом жидкостное трение сменилось граничным.

2. Внешним осмотром, а также прикосновением ладони к корпусу подшипника, поскольку температура по логометру вышла за пределы измерений, установлено:

- даже при легком прикосновении ладони к корпусу подшипника удалось ее удержать в течении нескольких секунд, что свидетельствовало о необратимости процесса нагрева.

3. Указанные повреждения произошли в начальный момент аварийной ситуации (первые 10 -15 мин.), и практически последующие действия не могли их устранить в судовых условиях,

4. Дальнейшие действия, направленные на спасение судна и груза были наиболее целесообразными, т.к. любые технические меры для сохранения подшипника уже стали неэффективными.

5. В случае установки запасных или бывших в употреблении (БУ) сегментов они были бы «уничтожены» поврежденным гребнем за последующие 10 часов движения малым ходом. На гребне уже была нарушена: шероховатость поверхности, плоскостность, твердость, что стало невозможным для создания условий образования гидродинамического масляного клина.

6. Проведенными расчетами подтверждается правильность выводов о вероятной причине выхода из строя подшипника:

а) «Обводнение масла» никоим образом не могло служить причиной выхода из строя подшипника (t=39.15 ^{o}C).

7. Таким образом, главной причиной выхода из строя подшипника, является «Инородное тело», так называемая «стальная проволока», приведшая к полному расстройству технологического процесса работы гидродинамического подшипника, составляющего t=1099 ^{o}C для нормального масла, для «обводненного масла» t = 933.5 ^{o}C.

ЛИТЕРАТУРА

1. Решетов Д.Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов.4 изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение,1989. –496с.: ил.

2. Арнольд Л.В., Михайловский Г.А., Селиверстов В.М. Техническая термодинамика и теплопередача: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. – М.: Высш. школа,1979. – 446 с., ил.+прил.

3. Орлов П.И. Основы конструирования. Кн.2 – М. "Машиностроение",1972. стр.525.

4. Справочник судового механика (том первый) Изд.2-е перераб. и доп. Под общей редакцией канд. техн. наук Л.Л. Грицая – М.: "Транспорт",1973. – 696 с.

5. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: Учеб. для вузов по спец. «Электромеханика»/ Г.А. Сипайлов, Д.И. Санников, В.А. Жадан. – М.: Высш.шк.,1989. – 239с.: ил.

ОСВІТНІ ТА ПРОФЕСІЙНІ СТАНДАРТИ

УДК 378.046-021.64(477)

УРОВЕНЬ МЛАДШЕГО СПЕЦИАЛИСТА В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ

В.В. Шепель, ст. преподаватель,
О.В. Ласман, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *В статье рассматриваются вопросы уровня младшего специалиста в системе высшего образования Украины.*

Ключевые слова: *Европейское пространство высшего образования, Рамка квалификаций Европейского пространства высшего образования, Национальная рамка квалификаций.*

Все страны-участницы Болонского процесса приняли на себя обязательство по разработке национальных рамок квалификаций, которая была бы совместима со Всеохватывающей Рамкой Квалификаций EHEA (European Higher Education Area) (QF-EHEA). [1]

Основные функции рамок квалификаций:

- определить, что конкретно, обучающиеся должны знать и понимать, на что должны быть способны на базе конкретной квалификации (результаты обучения);
- проиллюстрировать, как взаимодействуют квалификации в системе образования или в системе высшего образования.

В EHEA рамки квалификаций предлагаются на двух уровнях:

- общеевропейском;
- национальном.

Рамка квалификаций EHEA дает описание общепринятых циклов высшего образования на основании такого набора дескрипторов результатов обучения:

- знание и понимание;
- применение знаний и понимания;
- формирование суждений;
- коммуникация;
- умение обучаться.

Если же обратиться к уровню младшего специалиста, то он в настоящее время является предметом дискуссий и грядущих изменений. Сравнив Национальную рамку квалификаций (НРК) и Рамку квалификаций EHEA, можно увидеть, что действующие требования к образовательно-квалификационному уровню младшего специалиста в целом отвечают требованиям к 5 уровню (НРК) и короткого цикла Рамки квалификаций EHEA.

Образовательно-квалификационный уровень младшего специалиста прекратил свое существование в качестве моста между ПТО и Высшим образованием. Согласно со ст. 45 нового Закона «Про высшее образование» (2014г.), лишь сертификат ЗНО используется для приема в ВУЗ. [2]

Также, следует обратить внимание, что квалификация младшего специалиста и младшего бакалавра имеет некоторые различия. В связи с возникшей неопределенностью, пересмотр дела младшего специалиста был отложен до 2019 года. [3]

Таким образом, колледжи и техникумы, которые получат лицензию на обучение младших бакалавров и бакалавров, останутся частью системы высшего образования, а те, кто будет вести подготовку младших специалистов, перейдут в разряд профессионально-технических учебных заведений (так как по закону «О высшем образовании», отсутствует такая степень высшего образования, как «младший специалист»). Но на данный момент, уровень «младшего специалиста» стоит между уровнем образования профессионально-технического учебного заведения и бакалавром.

Также, возможно, будет пересмотрена работа колледжей с высшими учебными заведениями. Данные тандемы уже не раз показывали свою эффективность на территории Украины, обмениваясь ценными кадрами, учебной базой и материальными ресурсами. Однако это все еще будет устанавливаться в несколько отдаленном будущем. Определить точные сроки - достаточно трудная задача, но завершение процесса создания профильной школы и определение статуса колледжей и техникумов окончательно точно решится до 2030 года. На данный же момент ситуация находится в, так называемом, «переходном периоде», в котором колледже все еще сохраняют свой статус высших учебных заведений. [4]

ЛИТЕРАТУРА

1. Правові засади реалізації Болонського процесу в Україні: монографія / Колектив авторів: Бугров В., Гожик А., Жданова К., Зарубінська І., Захарченко В., Калашнікова С., Козієвська О., Линьова І., Луговий В., Оржель О., Рашкевич Ю., Таланова Ж., Шитікова С.; за заг. ред. В. Лугового, С. Калашнікової. – К.: ДП «НВЦ «Пріоритети», 2014. – 156 с. ISBN 978-966-8809-86-6 (ст. 54-61)
2. Закон України про вищу освіту (ст. 45).
3. http://www.ipq.org.ua/upload/files/files/03_Novyny/Rodion%20Kolyshko_UKR.pdf
4. https://uk.nure.info/blog/150-dolya-molodshoho-specialista-v-ukrayini.html

УДК 378:005.6(477)

ОСНОВНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ВНУТРЕННЕГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Ю.С. Медведева, к. геогр. н., доцент,
В.Ю. Гинкул, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *В статье рассматриваются основные составляющие внутреннего обеспечения качества высшего образования в учебных заведениях.*

Ключевые слова: *высшее образование, качество высшего образования, результаты обучения.*

В конце 1990-х - начале 2000-х годов вопрос контроля качества образования, предоставляемого ВУЗами, стал на повестке дня всех европейских стран. Стало очевидным, что для того, чтобы предоставлять качественное высшее образование, недостаточно только называться университетом, - необходимо соответствовать ряду требований. Также интернационализация и рост международной мобильности студентов и преподавателей нуждались в системе универсальных требований к учебным заведениям, программам, дипломам и степеням. [1]

Процесс обеспечения качества высшего образования в Украине уходит корнями в прошлое, когда контроль качества образования производился административно-командными методами, что вполне логично, так как потребителем услуг образования в той системе было государство. Европейская система, наоборот, формировалась в условиях природного выбора, когда требования к качеству образования выдвигались непосредственными потребителями образовательных услуг – отраслями. [2]

Основные европейские стандарты и рекомендации по внутреннему обеспечению качества в ВУЗах:

- Политика учебного заведения и процедуры обеспечения качества.
- Студентоцентризм.
- Качество преподавательского состава.
- Учебные ресурсы и поддержка студентов.
- Информационные системы. [1]

В части создания политики заведения и процедур обеспечения качества ВУЗы должны открыто заявить про свои намерения, создать атмосферу признания важности качества и его обеспечения, разработать и постоянно воплощать стратегию повышения качества, доступную для широкой общественности, предусматривая участие студентов и других заинтересованных сторон в этом процессе. Учебные программы должны содержать четко определенные обязательные результаты обучения. Персонал должен проявлять готовность и желание создавать условия, которые помогали бы студентам достичь этих результатов. [2]

Развитие взаимоуважения в отношениях ученика и преподавателя существенно влияет на качество образования и преподавания в университете. В частности, важна обратная связь - когда студенты не просто получают оценки за выполненные задания, но и понимают, почему такие оценки, и из чего они состоят.

Преподаватели представляют собой важнейший учебный ресурс. Учебные заведения должны убеждаться в компетентности своих преподавателей, применяя справедливые и прозрачные процедуры набора и развития преподавательского состава. Качество преподавательского состава - личная ответственность вузов. Также важно, чтобы у преподавателей был доступ к информации о том, как другие оценивают их работу. [1]

Учебные ресурсы должны быть легкодоступными для студентов и учитывающими их потребности и отзывы. ВУЗы должны гарантировать, что ресурсы, которые обеспечивают учебный процесс, достаточные, а также отслеживать, пересматривать и усовершенствовать их. ВУЗам следует периодически сравнивать себя с другими подобными заведениями, что позволит составить представление о себе и узнать про другие способы улучшения деятельности. [2]

Университет должен вовремя предоставлять и обновлять информацию о своей деятельности – это также является составной частью системы обеспечения качества образования. Официальный сайт ВУЗа является важнейшей составляющей политики прозрачности. Важно, чтобы официальный сайт предоставлял действительно существенную информацию - в частности, о программах, которые предлагаются, их описание, о критериях отбора на эти программы, ожидаемые учебные результаты и квалификации, применяемые процедуры преподавания, обучения и оценки, показатели успеваемости, учебные возможности, информацию о трудоустройстве выпускников и тому подобное. [1]

Для эффективного повышения уровня качества высшего образования в ВУЗах наиболее правильным является подход, в котором преобладают общие принципы, а не конкретные требования, отсутствует жесткость процедур, которые являются важной частью автономии ВУЗов, предложенные стандарты и рекомендации больше сфокусированы на содержании, чем на технологиях их достижения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Як побудувати систему внутрішнього забезпечення якості освіти в університеті відповідно до європейських стандартів: чеський досвід для українських ВНЗ. Электронный ресурс. [Режим доступа]: https://saiup.org.ua/novyny/yak-pobuduvaty-systemu-vnutrishnogo-zabezpechennya-yakosti-osvity-v-universy/.
2. Сидоренко Н.С. Внутрішнє забезпечення якості вищої освіти в Україні як суспільно-освітній пріоритет, Public Administration and Local Government, 2016, issue 4(31).

УДК 378.091.279.7(4)

ЕВРОПЕЙСКАЯ КРЕДИТНАЯ ТРАНСФЕРНО-НАКОПИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА. ПРИНЦИПЫ ОЦЕНИВАНИЯ.

Ю.С. Медведева, к. геогр. н., доцент,
К.П. Батрину, курсант
Н.А. Богданова, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *В статье рассматриваются основные принципы оценивания в Европейской кредитной трансферно-накопительной системе.*

Ключевые слова: *Европейская кредитная трансферно-накопительная система, высшее образование, Европейское пространство высшего образования.*

Европейская кредитная трансферно-накопительная система (ECTS) является системой зачетных единиц, используемой в Европейском пространстве высшего образования, куда входят все страны-участницы Болонского процесса. Она призвана облегчить планирование, реализацию, оценку, признание и подтверждение квалификации и освоения единиц обучения, а также содействовать развитию студенческой мобильности. Зачетные единицы ECTS основаны на трудозатратах студента, необходимых для достижения ожидаемых результатов обучения. Зачетные единицы присваиваются как квалификации или программе в целом, так и их структурным элементам (таким как курсы, диссертации, стажировки на рабочем месте и лабораторные работы). Оценка трудозатрат должна постоянно пересматриваться на основе мониторинга и обратной связи от студентов. [1]

В рамках ECTS оценочная шкала была разработана для улучшения понимания и сопоставления оценок, использующихся в различных национальных системах. У нее нет национальных ссылок и она нацелена на объективную оценку способностей студента относительно других студентов в данной системе. Ее цель – не замена национальных систем, но улучшение понимания систем других стран. Оценочная шкала ECTS основана на уровне студента при конкретном оценивании, то есть как он/она выполнила работу по отношению к другим студентам. Система ECTS классифицирует студентов по большим группам, и таким образом упрощает интерпретацию разрядов. Это группирование лежит в центре системы оценивания ECTS. Система ECTS изначально делит студентов между группами «зачтено», «не зачтено», а затем оценивает работу этих двух групп по отдельности. Студенты, получившие оценку «зачтено», делятся на пять подгрупп: лучшие 10% получают оценку A, следующие 25% - оценку B, следующие 30% - оценку C, следующие 25% - оценку D и последние 10% - оценку E. Те, кто не смог выполнить работу на «зачтено», делятся на две подгруппы: FX (Не зачтено – необходимо еще поработать для получения оценки) и F (Не зачтено - необходима серьезная работа). Такое разделение позволяет дифференцировать между студентами, которые почти сдали и теми, которые абсолютно не обладают необходимыми знаниями и навыками. [2]

Оценочная шкала ECTS может быть представлена в виде таблицы:

Оценка ECTS	% студентов, обычно получающих оценку	Комментарии
A	10	Использование таких слов, как «отлично» или «хорошо» не рекомендуется, так как они не совпадают с переносимой системой оценок ECTS, основанной на процентах
B	25	
C	30	
D	25	
E	10	
FX	--	Не зачтено – необходимо еще поработать для получения зачета
F	--	Не зачтено – необходима серьезная работа

Основные требования для разработки оценок ECTS: наличие достаточно детальных первичных данных, группы достаточного размера для подтверждения обоснованности, соответствующие статистические методы и регулярный контроль качества результатов, полученных при использовании шкалы. Очень важно количество участников группы, используемой в качестве основы для оценок ECTS. В тех случаях, когда оценивают большое количество студентов по одной учебной единице/модулю в одно и то же время, ситуация проста, так как результаты оценивания могут быть использованы напрямую для группирования, и, таким образом, для оценок ECTS. [2,3]

Система ECTS на сегодняшний день единственная относительно успешно функционирующая система в Европейском пространстве высшего образования. Это инструмент, обеспечивающий прозрачность, сравнимость объема изученного материала и, соответственно, возможность академического признания квалификаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по использованию ECTS. - Режим доступа: http://netceng.eu
2. http://lpehea.in.ua/sites/default/files/documents/2014/04/18/2004ru.pdf
3. Принципы присуждения баллов по системе ECTS. – Режим доступа: https://www.ateneum.edu.pl

ABSTRACTS

УДК 656.61(477)

PERSPECTIVE TASKS OF SHIPPING IN UKRAINE

V. A. Golikov, V.V. Golikov
National university “Odessa maritime academy”

Abstract. The technology of scientific research of sea and river ergodic transport systems according to physical, logical and heuristic estimates of the navigation situation is presented. Guaranteed safety of navigation, which normalizes the ship situation, is provided by control algorithms implemented methods and methods of the modern applied theory of automatic control, in particular the methods of identification (calculation and observatories).

Keywords: transport strategies, strategy tasks, methods and solutions, control algorithms, guaranteed security.

УДК 629.56.064.5+620.9+629.5

INCREASING THE EFFICIENCY OF HYBRID SHIP PROPULSION COMPLEXES BASED ON VARIOUS CRITERIA OF ENERGY MANAGEMENT STRATEGIES

V. Budashko
National university “Odessa maritime academy”

Abstract. On the basis of classification of topologies of circuitry solutions of ship power plants (SPP) of combined propulsion complexes (CPC), for mechanical, electric and hybrid types of engines the flowchart of control strategies for the criterion of the minimum energy consumption is determined. The change in the technical component of the traditional approach to the construction of hybrid CPC power supply systems applies the principle of modifying the structure of the SPP with the integration of an additional static power source as the dynamic reserve, which has allowed meeting modern requirements for energy efficiency, levels of vibration, noise and degradation effects produced for SPP CPCs in all energy fields for energy transfer to propellers. The simulation of energy transfer to propellers in MatLab/Simulink is carried out using optimization blocks and identifying markers.

The result is to identify the main advantages and disadvantages of SPP CPC depending on the topology of energy distribution systems. In accordance with the chosen structure of the electricity distribution system, the principles of the transmission of electricity in the SPP of the CPC and energy systems and their management strategies in terms of improving efficiency and elimination of these shortcomings were obtained. Finally, the mathematical apparatus for researching energy transfer processes from the point of view of designing and managing the methods of designing and controlling the hybrid SPPs of the CPC has been improved in order to reduce fuel consumption, emissions to the environment and improve the maintainability, flexibility and comfort level.

The originality of the proposed methodology is to improve the implementation of the SPP CPC by developing methods for identifying markers of degradation effects that affect the processes in the SPP CPC, and in implementing these methods in the calculation and information systems.

The method involves iterative optimization parameters of the SPP CPC, it can be used as the means of intellectual design, which is the result of the use of improved performance SPP CPC.

Keywords: expert system, decision support system, design, ship power plant, combined propulsion complexes, thrusters

УДК 656.62.052.8

ENGINE ROOM SIMULATORS DEVELOPMENT PROSPECTS IN MARINE ENGINEERS TRAINING ON ELECTRICAL POWER PLANT OPERATION

V. Shevchenko,
National university "Odessa maritime academy"

Abstract. Marine engine room simulators development directions on marine electrical power plant operation are presented in the paper. Diesel-generator protection settings possibilities are analyzed using the simulators of two market leaders. Adjustable and non-adjustable parameters are defined and the list of perspective settings features for future simulators generations were offered. Synchronization methods in modern marine electrical power plants were analyzed and directions on synchronization process study improvement using engine room simulators were defined.

Keywords: engine room simulator, electrical power plant, generators protection, synchronization process.

Section 1. SHIPBOARD ELECTRICAL EQUIPMENT, ELECTRONIC EQUIPMENT AND CONTROL SYSTEMS

УДК 621.311

OPTIMIZATION ON FAST-ACTING OF SHIP DIESEL-GENERATOR STARTING PROCESS

V. Lukovtsev, D. Steblinskiy
National university "Odessa maritime academy"

Abstract. The problem of development of effective algorithm of prevention of exit of ship diesel-generators is set in the out-of-limit speed modes in the process of starting and acceleration to nominal frequency of rotation.

Keyword: emergency diesel-generator, algorithm, theorem of Eldbaum, optimal management, raznos, out-of-limit turns

УДК 532.5:53.08

DEVICE FOR DETERMINATION DEFINITION FEATURES FUEL

A. Sandler
National university "Odessa maritime academy"

Abstract. Effective control of the properties of fuels and fuel mixtures must be carried out in order to construct a comprehensive monitoring system for the parameters of the ship's power plant. Existing control systems do not fully meet their monitoring and monitoring requirements in terms of their specifications and specifications. The capabilities of existing known systems have

limitations on the depth of use and compensation of the impact of operating factors. A new circuit design of a device for monitoring the detonation properties of fuels is proposed. The developed device implements an invariant measurement of fuel parameters, which affects the efficiency and safety of navigation.

Keywords: detonation properties, fuel, device.

УДК 621.382.2(042)

EMULATING MOTOROLA M68HC05 FAMILY MICROCONTROLLER OPERATION BY MODERN ATMEL MICROCONTROLLER

R. Kudelkin, **V. Lukovtsev**,
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. the paper describes an example of replacing (emulating) a widely used Motorola M68HC05-C2 microcontroller used in technological equipment with an Arduino Mega 2560 kit. The proposed replacement allows restoring the performance of expensive equipment without having to buy the entire equipment, due to the termination of the release of the specified microcontroller. Replacement is possible by low-skilled personnel who do not possess the competencies of professional system programmers and electronics engineers.

Keywords: M68HC05-C2, emulating, Arduino, microcontroller.

УДК 629.12-8.005

SPECIAL FEATURES OF THE USE OF SEMICONDUCTOR TEMPERATURE-SENSITIVE ELEMENTS IN THE SHIP EQUIPMENT

V. Zavadsky, **V. Kruc**
National University "Odessa Maritime Academy»

Abstract. temperature-sensors modern types are considered for shipboard equipment, the advantages of semiconductor temperature-sensors and methodology research diagram and investigation scheme of gauge characteristics of the sensor are shown.

Keywords: temperature-sensors, gauge characteristics, semiconductor.

УДК 629.5.064.5:621.391

DISTRIBUTED - CENTRALIZED CONTROL OF THE SPP OBJECTS SYSTEM WITH INFORMATIONAL BACK-UP COMMUNICATION CHANNELS

V. Mykhailenko, **O. Mahda**
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. the description of the combined control and monitoring of the parameters of the SPP objects system is given in the work. The application of this system will increase the efficiency and reliability of measurement and control processes.

Keywords: control system, SPP objects, centralized controller.

УДК 629.5.07

ANALYSIS OF SMART TECHNOLOGIES ON THE SEA. ARTIFICIAL INTELLIGENCE A-SUITE IN THE CONTROL SYSTEM OF THE SHIP

R. Kharchenko, O. Orlovska
National University “Odessa Maritime Academy"

Abstract. New information technologies affect all industries with a great scientific, technical and innovative potential. Marine industry in this sense is no exception. In order for navigation to remain effective and provide a prospect for further development in accordance with the requirements of the time, modern transformation of traditional business processes is required. Software solutions for the new generation will help transform the maritime industry and enable it to adapt to new realities.

Keywords: information technology, artificial intelligence, monitoring, dynamic, measuring of frequency

УДК 681.121

THE EFFECT OF FLUID PRESSURE ON THE READINGS OF A STRAIN GAUGE FLOW METER

V. Tsatsko, T. Gaur, Yu. Babiy
Odessa National Maritime University

Abstract. The flow meter of a liquid was considered, in which, to increase the reliability and accuracy of the measurement, it was proposed to measure the flow of liquid by the difference in static pressure in two different sections of the pipe. The influence of geometrical sizes and physical properties of a liquid on the magnitude of the error is established. The questions of influence of pressure of a liquid on the parameters of a strain gauge flow meter at flow rates corresponding to systems of supply of inland water, fuel, oil, loading of petroleum products are considered. The recommendations for choosing the form of the measuring pipeline in different systems are given.

Keywords: liquid, flow meter, strain gauge, fuel, seawater, petroleum products.

УДК 629.5.048

INTELLIGENT CONTROL OF THE MICROCLIMATE PARAMETERS IN THE VESSEL ROOMS

S. Mikhailov, **R. Kharchenko**
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The complex use of the apparatus of adaptive, fuzzy and neuro-fuzzy networks in determination and regulation of optimal values of the parameters of regulators in microclimate control systems of ship premises is offered.

Keywords: neurocontroller, hybrid network, phasification, knowledge base.

УДК 629.5.073

VESSEL SYSTEM OF NIGHT VISION

N. Kharchenko, A. Chulak, V. Zaim
National University “Odessa Maritime Academy"

Abstract. the ship's systems of night vision are considered. The main theoretical information is given. The urgency of use in modern navigation is given.

Keywords: ship systems of night vision, relevance of use in modern navigation.

УДК 629.5.052.6

APPLICATION OF OPTICAL SENSORS IN SHIP'S AUTOMATION SYSTEMS

A. Ryabtsov, **A. Bondarenko**
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. The article is devoted to the possibility of using optical liquid crystal sensors for measuring of temperatures and forces (pressures) in ship’s automation systems and devices.

Keywords: Liquid crystal optical converters, temperature sensors, pressure sensors

УДК 004.735

COLORING RULES APPLICATION IN WIRESHARK SOFTWARE ENVIRONMENT FOR ENHANCING OF TRAFFIC ANALYZING QUALITY IN INDUSTRIAL DATA TRANSFER NETWORKS

V. Shapo
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. Possibilities and advantages of coloring rules application in Wireshark network traffic analyzing software system are reviewed in this paper. Focus at industrial data transfer networks Profinet traffic highlighting, very popular at building of modern industrial automation systems, is made.

Keywords: Wireshark, Profinet, coloring rules, network data analysis.

Section 2. ENERGY EFFICIENCY AND RELIABILITY OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

УДК 629.12

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF ELECTRIC DRIVE CONTROL SYSTEMS OF SHIP ELECTRICAL INSTALLATIONS

O. Kochetkov, **D. Shatilov**
Odessa National Maritime University

Abstract. In order to improve the accuracy, reliability and efficiency of vessel power equipment and control automation, it is proposed to use low power position sensors based on the Hall effect. In modern conditions, there are many technological advantages of Hall sensors. They differ in reliability, accuracy and consistency of data. You can use the proposed method to evaluate the energy consumption characteristics.

Keywords: automation of technological process, electric drive of marine electrical installations, position sensors, ultra low power consumption.

УДК 621.316.95

THE PROSPECT OF USING SOLID-STATE BATTERIES ON SHIPS

S. Samonov, A. Kulbatskyi, V. Dubovik
National University "Odesa Maritime Academy"

Abstract. Major achievement in accumulator batteries technology perfection originates prospects of application that on board of ships as main and emergency power sources. Most safe, reliable and durable accumulators toward this end are “solid electrolyte” type accumulators and batteries.

Keywords: ship lithium ion batteries, solid-state batteries.

УДК 629.5.065:629.5.064.3

SOME ENERGY SAVING ASPECTS OF THE HYDRAULIC CRANE PUMP VARIABLEe FREQUENCY DRIVE

A. Shestaka,
National University "Odessa Maritime Academy"
L. Melnikova
Odessa National Polytechnic University

Abstract. The use of hydraulic drives in deck cranes is quite common practice, since the hydraulic crane in capital costs is significantly cheaper compared to a similar functional and load-

carrying electric crane. However the control of the hydraulic crane is devoid of energy saving advantages, primarily because of the archaic approach to managing the engine of the main pump, in fact, in the absence of control as such. Even modern cranes have only a contactor start circuit with the switch "star - delta". Further, the speed of the electric drive is not regulated. The speed of the mechanisms is regulated by hydraulic means using the scheme "regulated volume pump –constant volume hydraulic motor". This means that regardless of the loading of the working mechanisms hydraulic drives the main pump operates at a speed close to the nominal, creating in the system an excess pressure that is continuously dumped through the bypass valves even at the work of all mechanisms with a load lower than the nominal, since the operating point of the system "Hydraulic pump - Hydromotor" is calculated on condition of nominal loading and simultaneous operation of all mechanisms. In all other cases, the pressure in the system is redundant. Based on the analysis of possible operating modes of the deck crane, as well as on the basis of calculations of the required power of the pump, the algorithm of the allowable reduction of engine speed of the main pump was substantiated, developed and proposed, which provides a significant reduction in the power consumption without loss in productivity at work of an incomplete number of mechanisms and during technological pause The results of the proposed upgrade were supported by simulation of the processes in an upgraded scheme using the Matlab Simulink software environment. The simulation results fully confirmed the feasibility and effectiveness of the proposed replacement of the basic framework for a modernized using VFD to reduce energy consumption according to the number of working mechanisms as well as during the technological pauses. It should be noted that the proposed use of VFD provides for setting operating speed of the main pump assuming nominal load each of the mechanisms. More precise control of the main pump can be realized by the task in the pressure system required to work with the specific value of the load moment of each of the mechanisms. But such a decision will involve some interference with the hydraulic system of the crane to install the necessary operating pressure sensors in the circuits of individual hydraulic drives.

Keywords: energy efficiency, pump, variable frequency drive, hydraulic deck crane, algorithm.

Section 3. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY AND POWER QUALITY

УДК 621.362.2

THE USE OF MULTI-PHASE PULSE CONVERTERS IN MEANS POWER SUPPLY OF RADIO SYSTEMS

I. Maliavin
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The principle of operation and advantages of multiphase pulse converters of electric energy in comparison with single-phase converters is shown. An example of the implementation of a mixed power supply system based on multiphase pulse converters is given.

Keywords: multiphase pulse converters (MPC), single-phase pulse converters (SPC).

УДК 629.5.064.5

THE ELECTROMECHANICAL LABORATORY STAND FOR THE QUALITY OF AUTONOMOUS POWER GRID INVESTIGATION

A. Drankova, **M. Mukha**, **S. Mikhaykov, I. Krasovskyi**, **M. Khymchak**, **A.Tsybukh**
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The electromechanical laboratory stand is presented based on the equipment of the Mitsubishi Electric, designed to study and investigation the quality of electric power of the autonomous power grid. The stand consists of two-machine aggregates with asynchronous machines of different power and frequency converters, programmable logic controllers of block and modular type, operator graphic panel, temperature and pressure transmitters, digital oscilloscope. The results of the quality investigation of electric power of the autonomous power grid in the starting modes of asynchronous electric drives with typical fan and pump load are given.

Keywords: electric power quality, programmable logic controllers, operator graphic panel, frequency converter, asynchronous motor, sensors, oscillograms.

УДК 629.5.064.5:502.51

EVALUATION OF ELECTRIC ENERGY QUALITY OF THE SHIP'S ELECTRIC POWER SUPPLY WITH THE IMPLEMENTATION OF THE DECONTAMINATION SYSTEM OF THE BALLAST WATER

A. Drankova, **I. Krasovskyi**, **V. Vladyslav, D. Horbunov**
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The work, the operating modes principle of the Ballast Water Management System GloEn-Patrol ™ produced by PANASIA of the container ship “Guanzhou Trader” are given. The model "Ship’s electrical power supply - ballast system" is developed in MATLAB Simulink. Passive C-filters are calculated for the electricity power quality of the ship's electrical supply. The estimation of electric energy quality indices, namely, the harmonic coefficients and the total harmonic distortion of the voltage and current of the ship's electrical supply during operation of the ballast system in different operating modes of the decontamination system is given.

Keywords: power quality measuring, frequency converter, asynchronous motor, ballast pump, voltage and current oscillograms, total harmonic distortion (THD).

Section 4. MODERN SYSTEMS OF AUTOMATED ELECTRIC DRIVE, COMPONENTS AND DIAGNOSTICS

УДК 629.5.064.5

METHODS OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE MANAGEMENT SYSTEMS OF FACILITIES OF THE MINE-POWER PLANT DEPENDING ON THE OPERATING MODE

V. Mikhaylenko, M. Kopilov
National University “Odessa Maritime Academy”

Abstract. Proponing the method of performance of the robot ACS of the CEU on the basis of the three-dimensional system of adaptive control of local controllers.
Keywords: control system, CEU object, adaptation, controller

УДК 004.896

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE WALKING ROBOT ON THE BASIS OF ARDUINO UNO

Iu. Kurganskyi
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract: This is a practical implementation of a walking robot with limited voice interactivity: the interaction of sensors, motors, MP 3 player, microprocessor, the corresponding algorithms. The servo-driven control programs developed using the Arduino environment are described. They synchronize the operation of the four limbs of the robot and are controlled by signals from digital and analog sensors of obstacles and sound. MP 3 player stimulates artificial intelligence.
Keywords: robot, ARDUINO, sensor, sketch, object-oriented programming

Section 5. MATHEMATICAL MODELING OF PROCESSES AND PHENOMENA IN ELEMENTS OF POWER PLANTS.

УДК 539.3

MODELING OF THE STRESS STATE IN DETAIL THE CYLINDRICAL SHAPE WITH INTERNAL OR INSIDE CRACKS UNDER VIBRATION

V. Popov
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The problems are solved on determination of the stress intensity factor (SIF) for the plane circular or ring cracks in a finite cylinders under torsion oscillation. The methods of solution consist in reducing problems to solving the Fredholm integral equations of the second kind. The obtained numerical solution of this equations permits to propose the high-accurate approximate formula to calculate the SIF.
Keywords: torsional oscillations, finite cylinder, plane circular crack, external ring-shaped crack, stress intensity factor

УДК 539.3

MODELING AND RESEARCH OF THE STRESS STATE IN CYLINDRICAL DETAILS WITH INTERNAL AND EXTERNAL CRACKS UNDER SUDDEN LOADING

O. Demydov, V. Popov
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The axisymmetric dynamic problems of determining the stress state in the region of circular and ring-shaped cracks in a finite cylinder are solved. The source of the loading is the rigid circular plate, which is coupled with one of the cylinder ends and loaded by the torsional moment, which depends on time. The proposed method consists in the difference approximation only of the time derivative. The original problem is reduced to a system of homogeneous boundary value problems, which are solved successively. Their solution contains an unknown displacement jump on the crack. The integral equation with respect to the unknown jump reduces to the Fredholm integral equation of the second kind. The found numerical solution of this equation gave the possibility to obtain the approximate formula for the SIF calculation. Analysis of the results shows that the SIF increases during the transient process to a level exceeding the SIF value under static loading. Increasing the weight of the plate and the height of the cylinder cause to increasing the duration of the transient process and reduces the magnitude of the SIF's maximum.

Keywords: stress intensity factor (SIF), an axisymmetric dynamic problem, finite differences, finite cylinder, a circular crack, a ring-shaped crack, torsional moment.

УДК 539.3

MODELING AND ANALISYS OF THE STRESS STATE NEAR A CRACK THAT EXTENDS FROM THE INCLUSION IN VIBRATION

V. Popov, A. Misharin
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. The problem of determination the dynamic SIF is solved for crack and inclusion, which begin of one point, in vibration. The oscillations are the result of harmonic longitudinal load at the cracks edges. The original problem is reduced to the system of two singular integro-differential equations with the fixed singularity. The numerical method of this system solving which considers real asymptotic unknown function and special quadrature formulas for singular integrals is proposed.

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

УДК 539.3

MODELING OF THE STRESS STATE IN DETAILS IN THE FORM OF A CYLINDER OF ARBITRARY CROSS SECTION WITH CRACKS IN CONDITIONS OF VIBRATION

O. Kyrylova
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The problem of determining the stress state near the thin rigid crack in an infinite cylinder of arbitrary cross-section under oscillations of plaine deformation. The approximate formulae for calculation of stress intensity factors with the help of which the influence on the frequency

of oscillations, geometric dimensions of the cylinder and location of the crack was researched were received.

Keywords: The cylinder of arbitrary cross-section, plane deformation, crack, stress intensity factors.

УДК 539.3

THE STRESS STATE SIMULATION IN THE VICINITY OF THE THREE SEGMENTS BROKEN LINE AS DEFECT UNDER VIBRATION

V. Popov, **O. Lytvyn**
National University «Odessa Maritime Academy»

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

Keywords: rigid inclusion, harmonic waves, singular integral equations, fixed singularities.

УДК 539.3

MATHEMATICAL MODELING OF PRESSURE VARIATION IN FUEL DRIVES OF ICE

G. Varvaretska
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. The initial-boundary value problem of fuel flow in the fuel line and its differential analog is considered. Using a modified method of finite difference over time (case of discretization with a non-uniform step), a mathematical model of this problem and its solution are obtained for determining the distribution of pressure in the fuel of the wire.

Keywords: method of finite difference over time, uneven step, tedious conditions, system of solutions.

УДК 539.3

ARBITRARY ORIENTED CRACK IN ANISOTROPIC QUARTER PLANE

K. Arkhypenko, O. Kryvyi
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. To solve the problems about arbitrary oriented defects in anisotropic quarter plane, a method based on the use of the space of generalized functions with slow growth properties was developed. Two-dimensional integral Fourier transform was used to construct the system of fundamental solutions for anisotropic quarter plane with the concentrated jumps of stresses and displacements in this space. The latter allows the problems about the defects to be reduced to systems of singular integral equations (SIE) with fixed singularities. As an example the problem about the

crack exiting to the boundary of the quarter plane has considered, for which the system of SIE with fixed singularities is obtained. The efficient numerical-analytical method for solving systems of SIE with fixed singularities is proposed.

Keywords: anisotropic quarter plane, space of generalized functions with slow growth, systems of singular integral equations, fixed singularities, the crack exiting to the boundary.

УДК 629.12.001.2

MODELING OF PROCESSES IN THE SHIP'S REFRIGERATION UNIT BY ELECTROTHERMAL ANALOGIES METHOD

D. Vasilets, **G. Naleva**, **O. Onishchenko**
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. the purpose of the article is to present the method of temperature changes modeling processes, electrical and energy parameters of electric drives refrigeration units compressors using the methods and principles of the theory of automatic control, structural transformations, electrothermal analogies and similarity. A detailed transition from differential and algebraic equations to the electric schemes of modeling processes in the refrigeration unit of a small vessel, based on the application of electrothermal analogies, is described.

Keywords: electrothermal analogies, refrigeration unit, modeling, temperature, electric drive, compressor.

УДК 621762.22+621.926.55

MATHEMATICAL MODELING OF THE MATERIAL CRUSHING PROCESSES (GRINDING WITH ASSOCIATED MIXING AND AGGLOMERATION)

N. Orlova
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. A probabilistic approach to the study of grinding, concomitant mixing and agglomeration in vibratory mills is considered. The qualitative analysis of the processes was carried out from the standpoint of Markov processes continuous in time and discrete in space. This method is mainly associated with the evaluation of experimental data and the search for optimal parameters.

Keywords: vibration grinding mixing optimal parameters.

УДК 621.431

RESEARCH OF DIAGNOSTIC PARAMETERS OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE SHIP DIESEL GENERATOR SETS

M. Yakimenko, I. Gvozdeva, V. Lukovtsev
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. The paper contains the ranking of interrelated parameters that are the most important for assessing the technical condition of diesel generator sets, which is based on statistical analysis of experimental data. The nonlinear regression model of the changing the average cylinder temperature as a function of the load current is proposed and substantiated

Keywords: diagnostic parameter, diesel-generator set, regression model.

Section 6. RADIO ENGINEERING, RADIO ELECTRONIC DEVICES AND COMMUNICATION

УДК 681.518.5

CYBER DEFENSE OF INTRACOURSE INFORMATION SYSTEMS

Y. Shevtsov, **L. Peronkova**
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. The important role of increasing cyber defense of information systems on ships is analyzed. The factors that reduce the reliability of electronic equipment are shown. A method for protecting information systems is proposed.
Keywords: cyber defense, information systems, radio-electronic equipment.

УДК 621.396.969

AUTOCORRELATION FUNCTION AND RESPONSE OF THE AGREED FILTER

V. Koshevoy, Yu. N. Orlovskiy
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. feature of radio information systems is that the transmission of signals and their reception takes place against obstacles. The effect of interference reduces the reception quality of signals and, consequently, the efficiency of the entire system. Therefore, the fight against interference in radio information systems is one of the most important tasks.
Keywords: autocorrelation function, noise, filter filtering, optimum filter, signal.

УДК 681.5.013

SYNTHESE OF OPTIMAL FILTER

V. Koshevoy, **M. Bocharova**
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. Considered finding the optimal filter for the signal in the case of white noise. It is shown that the optimal filter is a matched filter.
Keywords: signals, noises, filters, optimal filters, white noise.

УДК 004.94:629.5

LOOK AT THE WORLD "REAL". ANALYSIS OF TRENDS VIRTUAL AND ADDED REALITY

O. Shyshkyn, O. Orlovska, A. Chulak

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. Many marine accidents were caused by a human error, including things such as inadequate watch and/or error handling of ships. In addition, new navigation equipment was developed using Information Technology (IT) technology to provide various types of information for safe navigation. In spite of these efforts, the reduction of marine accidents did not occur to the extent expected, because navigation equipment provides too much information, and this information is not well organized, so users find it complicated and not useful. In this perspective, the method of representing navigation information is more important than the amount of this information and research needed to present information in order to make this information more understandable and allow decisions to be made correctly and promptly. In this article, we use Enhanced Reality (AR) technologies to represent information. AR is a three-dimensional computer graphics technology that combines virtual reality and the real world. Recently, this technology is widely used in our daily lives, as it can more effectively provide information to users. Therefore, we offer a new concept - a navigation system based on AR technology.

Keywords: augmented reality, virtual reality, AIS, safety, information technology, navigation.

УДК 629.12-8.005

FEATURES OF THE CALCULATION AND THE USE OF STABILIZERS VOLTAGE IC

V. Zavadsky, R. Zubkov
National university “Odessa maritime academy”

Abstract. an analysis of methods of calculation of compensation voltage stabilizers on integrated chips, analyzed the use of stabilizers and voltage regulated systems of automatic regulation, are examples of the necessary calculations.

Keywords: current, voltage, compensation, parametric.

УДК 621.396

ANALYSIS OF THE USE OF PROGRAMMED RADIO TECHNOLOGIES IN MARITIME RADIOCOMMUNICATIONS

V. Grishchenko, Y. Malyarenko, O. Orlovska
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. the global communication system used in the navy in distress and for safety is morally obsolete and is currently under revision and modernization, the main focus of which is the integration of communication equipment with other ship equipment in accordance with the electronic navigation strategy. To implement this strategy, and also considering that the navy uses coherent equipment of various frequency ranges, it is necessary to use the programmable radio technology (SDR – Software Defined Radio).

Keywords: GMDSS, programmed radio, navigation, digital processing, cognitive radio.

УДК 681.518.5

STANDARDIZATION OF RADIO INTERVENTION RANGE ON MEDIA AND HIGH FREQUENCY RANGES BY USING DIGITAL SELECTION CALLING WITHIN THE FRAMEWORK OF THE CONCEPT OF ELECTRONIC ADVANCEMENT

V. Kosheviy, **S. Lishchenko**
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The paper considers how to facilitate the establishment of communication between vessels in the range of medium and high frequencies using a digital selective call, by updating the Conning Display software based on the ECDIS interface

Keywords: Standardization, DSC, Information (Conning) Display, ECDIS SAT-AIS.

УДК 621.391

ANALYSIS OF THE CORRELATION FUNCTION OF DISCRETE SIGNALS WITH THE TERTIARY AND FOURTH CODE MODULATION

V. Koshevyy, **T. Hapieieva**
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The autocorrelation functions of ternary and quaternary code modulation signals are investigated. Selected signals with a minimum level of side lobes.

Keywords: autocorrelation function, three-phase sequences, quaternary sequences, complementary properties.

Section 7. INFORMATION SECURITY

УДК 681.518.5

METHODS OF PROTECTION OF INFORMATION IN ECDIS

S. Mikhailov, A. Chulak
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. Methods of information security in ship electronic cartographic navigation and information systems are considered. The main theoretical information about the problem of information security in ECDIS is given. The necessity of protecting ECDIS electronic cards from: introduction of a virus, crashes in navigation systems is substantiated.

Keywords: electronic-cartographic system, information security, marine integrated information security.

УДК 681.518.5

INFORMATION PROTECTION SYSTEM OF DIRECTION AND CONTROL OF SHIPPING ENERGY SETTINGS

S. Mikhailov, I. Kuleshov, V. Zaim
National University "Odessa Maritime Academy»

Abstract. Information systems of direction and control of shipping energy settings are analyzed. Threats from external information networks are detected. Measures and means of information protection for ship power settings are offered.

Keywords: shipping energy settings, information security.

УДК 355.40
УДК 527+659+004.9

CYBERSECURITY, INFORMATION AND PHYSICAL SAFETY

FOR "SMART HOME" COMPUTER NETWORK

S. Mikhailov, D. Semenyuk
National University "Odessa Maritime Academy»

Abstract. The analysis of functional possibilities of computers facilities is conducted for realization of conception of the «Smart house». Show vulnerability of hardware and software of such kind of systems, in particular, at physical level, and also threats of cybersecurity. The methods of counteraction to the threats of cybersecurity are offered.
Keywords: Smart house, cybersecurity, intellectual networks, defense of information

УДК 627.711

ELECTRONIC VIRTUAL AIDS TO NAVIGATION

S. Mikhailov, T. Hapieieva
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The use of virtual aids to navigation at the present stage is analyzed, the main problems that hinder the global introduction of electronic aids to navigation are considered.
Keywords: aids to navigation, electronic cards.

УДК 004.4

INTEGRATED AUTOMATION SYSTEM OF ADMINISTRATIVE MANAGEMENT AND CONTROL

N. Mikhailov
Odessa National Maritime University

Abstract. The necessity of creating computer network systems for automating the processes of administrative management of an organization and monitoring the fulfillment of assigned tasks is substantiated. The analysis of the capabilities of existing management systems and business process control has been carried out. The feasibility of integrating such a computer system with the Internet space and the organization's website for remote access, including using mobile applications, is shown.
Keywords: automation of working business processes, computer information networks, remote access and control

Section 8. MODELING OF PROCESSES AND DEVICES IN ELECTRO - AND RADIO ENGINEERING

УДК 62-551.453

TECHNICAL IMPLEMENTATION OF FRACTIONAL INTEGRAL-DIFFERENTIATING REGULATORS IN MICROPROCESSOR CONTROL SYSTEMS

V. Busher,
National University «Odessa Maritime Academy»
V. Goroshko, V. Kravchenko,
Odessa National Polytechnic University

K. Khandakji,
Technical University Tafila, Jordan

Abstract. Astatic control systems with a fractional order have been studied. This systems for many technical objects provide better dynamic and static characteristics compared to systems with integer order. A method for the synthesis of closed systems with fractional astatism from 1.1 to 1.9 is proposed, on the basis of which parameters can be selected and the structure of the regulator can be determined.

A method for the approximate calculation of fractional integrals, based on the approximation of the highest expansion coefficients in a series by a geometric progression, is developed. This provides a reduction in the necessary memory for storing the arrays of coefficients and the history of the input signal and requires significantly less processor time to compute the controller signal. This allows realizing fractional integral-differentiating controllers based on widely used modern processors and applying the fractional integral number methods for the synthesis of high-speed automatic control systems. Shown is an example of the synthesis and results of current control studies for an engine with sequential excitation.

Keywords: astatic system, fractional integration, fractional differentiation, algorithm for fast calculation of a fractional integral.

УДК 629.12-8.005

MONITORING PROCESSES THAT ARE RAPIDLY CHANGING IN TIME WITH NEXT ANALYSIS RESULTS

V. Zavadsky, R. Kharchenko
National University “Odessa Maritime Academy"
S. Dranchuk
Odessa National Maritime University

Abstract. the proposed method of monitoring processes, which are rapidly changing in time, using 8 sensors, which is based on the measuring sensor output signals frequency synchronous method with add-calculations at the beginning and at the end of the period with discreteness of monitoring does not less than 8 ms.

Keywords: monitoring, dynamic, measuring of frequency

УДК 621.3.011.71

FEATURES OF THE METHOD FOR DETERMINING THE INTERNAL RESISTANCES OF SOURCES OF AUTONOMOUS THREE-PHASE NETWORKS

O. Glazeva,
National University «Odessa Maritime Academy»
V. Busher
Odessa National Polytechnic University

Abstract. An example of the practical implementation of the method selection of the load parameters to create conditions of supply at maximum capacity, including the phase asymmetry of the sources is considered. The algorithm sequence for determining reactive and resistive impedances of the loads and calculate the internal resistance of a three-phase source is given. Grounded lack of accuracy, which appear when finding the maximum power three-phase circuit by two wattmeter’s method, demonstrates the necessity of using three wattmeter’s method, which improved the accuracy of the power measurement to obtain the coordinated modes of the source and load.

Keywords: coordinated mode of operation, active power, active three poles unit, internal resistance, three-phase source of power, alternating current.

УДК 629.5.078

THE APPLICATION OF THE THEORY OF THERMAL TRANSITION PROCESSES IN THE SIMULATION OF AN EMERGENCY SITUATION IN THE INTRUSION OF A FOREIGN BODY INTO A RESISTANT BEARING OF THE MAIN VESSEL ENGINE

A. Kaluyev,
Odessa National University «Odessa Maritime Academy»
A. Rak,
Donetsk National Polytechnic University
Dr. Kosmas Zdrozis
Alexander Technological Educational Institute of Thessaloniki

Abstract. This report presents a calculation method based on the theory of transients when simulating an emergency due to a foreign body falling into the thrust bearing of the main engine of a ship. The calculations of the specific accident case and received justification allow analysis and prediction of emergency situations in the future, and in the investigation of accidents. The proposed method may be useful when used by technical experts of classification societies and representatives of port authorities as required by IMO

Keywords: thrust bearing, main engine, technical experts, classification societies, foreign body (FB).

Section 9. EDUCATIONAL AND PROFESSIONAL STANDARDS

УДК 378.046-021.64(477)

THE LEVEL OF THE YOUNGER SPECIALIST IN THE SYSTEM OF HIGHER EDUCATION OF UKRAINE

V. Shepel, O. Lasman
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The issues of the level of junior specialist in the system of higher education of Ukraine are considered in this article.

Keywords: European Higher Education Area, Qualifications Framework in the European Higher Education Area, National Qualifications Framework.

УДК 378:005.6(477)

MAJOR COMPONENTS OF INTERNAL QUALITY ASSURANCE OF HIGHER EDUCATION

Y. Medvedieva, V. Hinkul
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The main components of internal quality assurance in higher education institutions are considered in this article.
Keywords: higher education, quality of the higher education, outcomes of learning.

УДК 378.091.279.7(4)

EUROPEAN CREDIT TRANSFER AND ACCUMULATION SYSTEM. PRINCIPLES OF EVALUATION

Y. Medvedieva, K. Batrynu, N. Bogdanova
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. The basic principles of evaluation in the European credit transfer and accumulation system are considered in this article.
Keywords: European credit transfer and accumulation system, higher education, European Higher Education Area.

Наукове видання

М А Т Е Р І А Л И

науково-методичної конференції

"СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І АВТОМАТИКА"

05.12.2018 – 06.12.2018

Комп'ютерна верстка *Глазєва О.В.*

Підписано до друку 28.01.2019. Формат 60×84/16.
Ум. друк. арк. 13,25. Наклад 300. Зам. № И19-02-64.

НУ «ОМА»
Свідоцтво ДК № 1292 от 20.03.2003
65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8
тел./факс: (0482) 34-14-12
publish@ma.odessa.ua