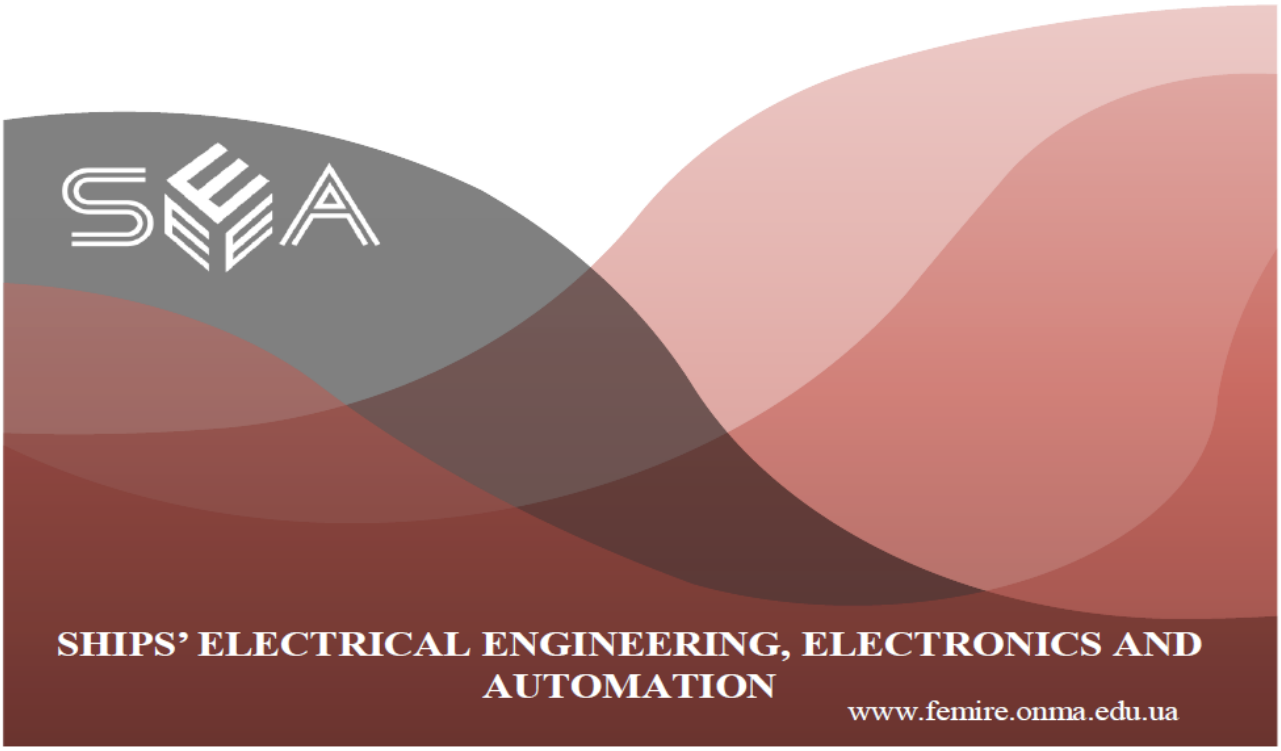
Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Одеська морська академія»
Одеське відділення Інституту морської техніки, науки і технології Великобританії (IMarEST)
Морський інститут України (Nautical Institute of Ukraine).

М А Т Е Р І А Л И

IX Міжнародної науково-технічної конференції

«СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І АВТОМАТИКА»

05.11.2019 – 06.11.2019



Одеса – 2020

Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції

Материалы IX Международной научно-технической конференции

Materials of the 9th international scientific and practical conference

---

СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І АВТОМАТИКА

СУДОВАЯ ЭЛЕКТРОИНЖЕНЕРИЯ, ЭЛЕКТРОНИКА И АВТОМАТИКА

SHIPS' ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONICS AND AUTOMATION

SEEA-2019

Збірка матеріалів конференції

05-06 листопада 2019 року Одеса, Україна

05-06 ноября 2019 года Одесса, Украина

November 05-06 2019 Odessa, Ukraine

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Захарченко В. М. – д.т.н., професор (Україна);
Голіков В.А. – д.т.н., професор (Україна);
Будашко В.В. – д.т.н., доцент (Україна);
Романюк В.В. – д.т.н., професор (Польща);
Петрушин В.С. – д.т.н., професор (Україна);
Муха М. Й. – д.т.н., доцент (Україна);
Бушер В.В. – д.т.н., професор (Україна);
Космас Здрозис – к.т.н., (Греція);
Михайлов С. А. – д.т.н., професор (Україна);
Гвоздева І. М. – д.т.н., професор (Україна);
Кошевий В. М. – д.т.н., професор (Україна);
Попов В. Г. – д. ф-м. наук, професор (Україна);
Хандакжи Камаль – к.т.н., (Йорданія);
Базил Шафик – к.т.н., (Сирія);
Луковцев В. С. – к.т.н., доцент (Україна).

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

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

Члени оргкомітету: **Будашко В. В.** – декан факультету електромеханіки і радіоелектроніки, д.т.н., доцент;
Кар'янський С. А. – декан факультету автоматики, почесний секретар Одеського відділення IMarEST, к.т.н., доцент;
Торський В. Г. – почесний секретар Морського інституту України, к.т.н., професор кафедри морських технологій;
Голобородько А.І. – начальник відділу технічних засобів навчання.

Відповідальний секретар: **Глазєва О. В. –** к.т.н., доцент кафедри суднової електромеханіки і електротехніки.

У збірнику матеріалів конференції розміщено тези доповідей, які заслуховувались на пленарних та секційних засіданнях міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», що відбулась 05-06 жовтня 2019 року у Національному університеті «Одеська морська академія». Конференцію присвячено 100-річчю зі дня народження професора, доктора технічних наук *Крінецького Івана Івановича*, який завідував кафедрою теорії автоматичного управління та обчислювальної техніки (ТАУ та ОТ).

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

Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – 250 с.

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

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

ВІКОВИЙ ЮВІЛЕЙ ПРОФЕСОРА І.І. КРІНЕЦЬКОГО

20 жовтня 2019 року виповнюється 100 років з дня народження відомого вченого в галузі автоматичного керування доктора технічних наук, професора Кринецького Іван Івановича.

Після закінчення в 1945 році Московського авіаційного технологічного інституту І.І. Крінецький почав трудову діяльність в галузі авіаційної автоматики інженером льотно-дослідницького інституту.

У 1952 році захистив кандидатську дисертацію. В 1953-1955 роках працював головним інженером Змійської МТС (машинно-технологічної станції), завідувачем кафедри Північно-Осетинського сільгоспінституту і доцентом Української сільгоспакадемії. З 1955 по 1960 рік - доцент Київського інституту інженерів цивільної авіації. У 1960 році захистив докторську дисертацію. З 1961 по 1967 рік працював начальником кафедри в Одеському вищому інженерно-морському училище (ОВІМУ). З 1967 по 1980 рік завідував кафедрами автоматики ряду інститутів, де був керівником фундаментальних науково-дослідних робіт, а також займався педагогічною діяльністю. Їм були організовані громадські наукові організації: в 1968 році - філія Науково-дослідного і проектного інституту транспорту і комунікацій Мінвузу СРСР, а в 1972 р. - науково-технічний центр з суднової автоматики Мінрибгоспу СРСР. З 1980 р. - начальник кафедри ОВІМУ, де їм була створена галузева науково-дослідна лабораторія.

І.І. Крінецький провідний фахівець в області теорії автоматичного управління і методології наукових досліджень. У 1953 році їм вперше була розроблена теорія нелінійних систем, яка була захищена в докторській дисертації. У 1965 році спільно з доцентом Фокіним А. В. була створена фундаментальна теорія інваріантності нелінійних систем, а в останні роки - методологія і технологія наукових досліджень. Під його керівництвом створена наукова школа, підготовлено 80 кандидатів технічних наук та 12 докторів технічних наук.

І.І. Крінецький автор 222 наукових праць, у тому числі: підручника з суднової автоматики, 8 монографій, 8 навчальних посібників, 10 авторських свідоцтв.

Професор Крінецький І. І. володів високою лекторською майстерністю і успішно поєднував наукову та навчальну діяльність з активною громадською роботою. Був на громадських засадах керівником навчального науково-виробничого об'єднання «Морфлотавтоматика», головою проблемної комісії південного наукового центру академії наук УРСР і керівником низки наукових семінарів.

У 1988 році Крінецький І.І. був нагороджений Почесною Грамотою Президії Верховної Ради УРСР.

Помер І.І. Крінецький 24 квітня 1991 року на 72-му році життя в наслідок тривалої хвороби.

Колеги Івана Івановича Крінецького зберігають добру пам'ять про цю чудову людину.

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

В.В. Будашко
Методологія розробки навчальних курсів в умовах скорочення аудиторних годин…….. **10**

Секція 1. СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

В.А. Шевченко, С.Ф. Самонов, В.О. Дубовик, А.А. Кульбацький
Підготовка фахівців з експлуатації високовольтного обладнання з використанням розподільчого пристрою NXAIR фірми Siemens…… **22**

Д.И. Лацюк
Особенности электронно управляемых двухтактных дизелей WARTSILA типа RT-FLEX……..…….. **24**

А.К. Сандлер
Чувствительный элемент волоконно-оптического акселерометра на основе сапфирового стекла…….. **27**

О.В. Кочетков
Підвищення ефективності енергосистем суднового електричного обладнання при використанні перетворювачів напруги з імпульсним регулюванням……... **34**

О.М. Рак, Базіль Шафік, О.В. Глазєва, В.Б. Власов
Деякі аспекти розрахунку і експлуатації підрулюючих пристроїв морських суден…… **38**

В.В. Бушер, А.С. Лозгачов
Модернизация грузового крана на балкере дедвейтом 61000 тон…… **42**

І.П. Завальнюк, Р.В. Гринько
Адаптивне керування судновими компресорними установками…….. **45**

В.А. Завадський, С.М. Дранчук, А.В. Чайка
Аналогово-частотний перетворювач для тензометричних датчиків суднового обладнання…… **50**

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

О.В. Кочетков, А.Р. Карапетян, О.М. Леднёв
Модернізація систем керування і автоматики суднового електрообладнання за рахунок використання сучасних засобів вимірювання та контролю…….. **54**

Р.И. Куделькин, В.С. Луковцев
Компьютерная визуализация процесса точной синхронизации судовых синхронных генераторов……. **57**

Т.О. Гаур, О.І. Зарицька, О.О. Скрибантович, В.І. Цацко
Дослідження суднової баластно-осушувальної системи з тензометричним витратоміром рідини……. **61**

В.В. Крючков, А.А. Демиров, И.М. Гвоздева, В.А. Щербинин
Экспериментальное исследование характеристик датчиков температуры в составе судовой системы контроля и сигнализации……. **65**

А.А. Митрофанов, И.М. Гвоздева
Повышение оперативности управления судовыми интегрированными системами путём усовершенствования человеко-машинного интерфейса….. **68**

В.С. Михайленко
Перспективы снижения содержания вредных выбросов от агрегатов СЭУ **72**

В.С. Луковцев, Д.С. Стеблинський, С.М. Сакали
Алгоритм оптимального управління пуском суднового дизель генератора на базі теореми Фельдбаума…… **76**

А.Н. Рак, А.Г. Калуев, С.В. Бабий
Автоматические регуляторы напряжения синхронных генераторов и способы их технической реализации……. **79**

А.Н. Рак, А.Г. Калуев, С.В. Бабий
Применение программируемых логических контроллеров в системе автоматического ввода в действие резервного генератора……. **85**

М.С. Химчак
Проблемы использования и перехода на топливо с пониженным содержанием серы…….. **90**

Секція 2. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

O.M. Mazur, T.S. Obnyavko, O.A. Onishchenko
Terminology used for a multipurpose vessels of the auxiliary fleet…… **94**

М.Ю. Зозуля, І.М. Гвоздева, В.В. Лещенко, Р.К. Тер-Барсегян
Дослідження процесів в енергозберігаючій судновій електромеханічній системі пасажирського ліфту…… **101**

А.І. Шестака, Л.В. Мельнікова
Гасіння коливань вантажу засобами частотно-керованного електроприводу…….. **104**

Секція 3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

І.П. Малявін
Особливості використання різних схем управління в імпульсних перетворювачах постійної напруги модульної структури при асиметрії електричних процесів…….. **109**

В.М. Захарченко, М.Й. Муха, А.О. Дранкова, І.І. Красовський, В.А. Недосєйкін
Вплив якості електроенергії суднової мережі на показники енергоефективності регульованих електроприводів…… **112**

Секція 4. СУЧАСНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, КОМПОНЕНТИ ТА ДІАГНОСТИКА

Є.В. Дзюба, В.С. Петрушин
Моделювання та дослідження роботи приводу насосу забортної води регульованої продуктивності у різних експлуатаційних режимах…….. **116**

О.С. Жуков, Ю.В. Курганський, А.О. Карпеленя, В.В. Бушер
Дослідження системи контролю клімату в залі ресторану пасажирського судна…… **119**

М.Й. Муха, А.О. Дранкова, І.І. Красовський, С.С. Міхайков
Реалізація модуля керування навантаження на базі ПЛК для частотно-регульованого електропривода…… **127**

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

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

В. Г. Попов, О.В. Литвин
Моделювання напруженого стану в околі дефекта у вигляді N-ланкового включення в умовах вібрації……. **132**

В. Г. Попов, А.С. Мішарін
Моделювання і дослідження напруженого стану біля довільно орієнтованих тріщин на продовженні жорсткого включення в умовах вібрації……. **136**

О.Ф. Кривий, Ю.О. Морозов
Кільцева міжфазна тріщина в кусково-однорідному трансверсально-ізотропному просторі……. **139**

М.О. Кривий, С.В. Сагін
Математична модель мастильного шару в парах ковзання суднових енергетичних установок…….. **143**

O. Demydov, V. Popov
Modeling and investigation of the stress state in cylindrical components partly delamination from a rigid base under sudden torsional loading…….. **147**

О.І. Кирилова
Моделювання напруженого стану у порожнинних циліндрах довільного перерізу з тріщинами за гармонійних коливань повздовжнього зсуву…… **151**

Г.В. Налева, Д.В. Унгаров, О.А. Онищенко
Математична модель системи управління електроприводом компресора суднової холодильної установки…….. **155**

V. Popov
An iterative method for modeling wave fields in bodies with thin rigid inclusions at oscillation of longitudinal shear…….. **159**

К.М. Архипенко
Два міжфазні дефекти в анізотропній площині…….. **163**

Н.Д. Орлова
Визначення функціональної залежності коефіцієнта агломерації від параметрів вібрації…… **167**

Секція 6. РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ ТА ЗВ'ЯЗОК

В.М. Кошевой, Л.М. Джаиани
Синтез пары сигнал-фильтр для амплитудно-немодулированных сигналов **171**

В.М. Кошевой, М.Ю. Бочарова
Синтез оптимального фильтра для произвольной помехи…… **173**

В.М. Кошевой, А.А. Орловская
Анализ и синтез четвертичных и шестертичных сигналов……..... **175**

Секція 7. МОРСЬКА ЕЛЕКТРОНІКА ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА

Ю.С. Шевцов, А.С. Кононенко
Стратегия безопасности компьютерных систем в морском судоходстве… **180**

И.М. Викулин, В.Э. Горбачев, Н.С. Михайлов
Сенсоры магнитного поля для электронных систем охраны судна…… **182**

Р.М. Лук'яненко, С.А. Михайлов
Принцип організації дистанційного управління автономними надводними суднами…… **186**

С.А. Михайлов, А.І. Чулак
Вимоги стандарту міжнародної гідрографічної організації до кібербезпеки електронних навігаційних систем…….. **189**

Р.Ю. Харченко
Підвищення ефективності функціонування суднових ергатичних систем управління. …… **193**

И.И. Кринецкий
Прогноз погоды простыми методами…… **197**

И.И. Кринецкий
Использование магнитных антенн для установления надежных радиосвязей…… **201**

С.А. Михайлов, А.А. Орловская
Требования Американского бюро судоходства к уровням обеспечения кибербезопасности…… **205**

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

В.А. Завадський, В.І. Журавель
Особливості використання напівпровідникових газових датчиків у суднновому устаткуванні…… **210**

В.Ф. Шапо
Обеспечение кибербезопасности в беспроводных промышленных сетях передачи данных на базе оборудования Phoenix Contact……. **213**

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

В.В. Бушер, С.О. Чабан
Система согласованного управления электроприводами палубного крана MacGregor 30 t …….. **219**

В.В. Бушер, О.В. Глазєва, В.Ю. Пісчанський, К. Хандакжи
Аналіз пропульсивної установки контейнеровоза місткістю 16000 контейнерів при реалізації «PTH mode» …… **225**

В.В. Бушер, О.В. Глазєва, К.О. Морозов, Космас Здрозис
Дослідження високовольтних перетворювачів частоти в суднових електроенергетичних системах…….. **231**

Секція 9. **ОСВІТНІ ТА ПРОФЕСІЙНІ СТАНДАРТИ**

Ю.С. Медведєва, В.В. Рябоконь
Розвиток «SOFT SKILLS» у закладах вищої освіти…… **238**

Ю.С. Медведєва, А.С. Кушнірук
Аудіовізуальні технології як складова формування комунікативної компетентності у закладах вищої освіти…… **240**

А.С. Кушнірук, В.В. Шепель
Організація самостійної роботи студентів…….. **241**

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС…… **244**

ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

УДК 629.56.064.5+620.9+629.5

МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРОБКИ НАВЧАЛЬНИХ КУРСІВ В УМОВАХ СКОРОЧЕННЯ АУДИТОРНИХ ГОДИН

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

Анотація: *У даній роботі описується методологія дизайну нового курсу проектування суднового пропульсивного комплексу на основі опору руху судна та збурюючих сил, що діють на нього. Приводом для розробки нового курсу на цю тему стало перепроектування освітньої програми підготовки бакалавра за спеціальністю «Річковий та морський транспорт», спеціалізації «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики» Національного Університету «Одеська морська академія». Зміни методики викладання полягали у тому, що нова програма була необхідна для засвоєння теоретичного матеріалу і призвела до впровадження динамічних моделей комплексу суднових рушіїв для моделювання руху судна. Інтеграція таких моделей в освітнє середовище є складним завданням. Результати проектних зусиль обговорюються в даній роботі шляхом аналізу моделей, розроблених здобувачами при першому освоєнні курсу, і отриманих від них зворотних зв'язків продовж подальшого навчання.*

Ключові слова: *освітня програма, методологія, ECTS, опір руху судна, суднові рушії, DMI-модель*

METHODOLOGY FOR DESIGN OF LEARNING COURSES IN THE CIRCS OF CLASSROOM HOURS REDUCTION

V. Budashko, Dr. of Technical Sciences, Associate professor
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *This paper describes the methodology for designing the new course of design for the ship propulsion complex based on the resistance of the ship's movement and the driving forces acting on it. The reason for the development of the new course on this subject was the redesign of the educational program of bachelor's training in the specialty "River and Sea transport", specialization "Operation and Mounting of ship electrical equipment and automation" of the National University "Odessa Maritime Academy". Changes in teaching methodology consisted in the fact that the new program was not necessary for the assimilation of theoretical material and led to the introduction of dynamic models of the ship propulsion system for modeling the movement of the ship. Integrating such models into the educational environment is challenging. The results of the design effort are discussed in this paper by analyzing models developed by first-time course learners and feedback received from them during further training.*

Keywords: *educational program, methodology, ECTS, ship's movement resistance, propulsion, DMI-models*

1. Вступ.

Намагаючись допомогти здобувачам освіти отримати чіткий огляд освітньої програми, за якою вони навчаються, всі освітні програми ступеня бакалавр (*BSc*) у Національного Університету «Одеська морська академія» (НУ «ОМА») протягом останніх кількох років були перероблені, включаючи великі курси. Ідея полягає в тому, що здобувачі стають більш ефективними в успішному завершенні освітнього процесу, коли вони мають кращий огляд загальної

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

програми, як наслідок меншої кількості курсів (предметів). Наприклад, у попередній програмі за спеціальністю «Річковий та морський транспорт», спеціалізації «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики» програми курсів (предметів), як правило, складалися із двох, трьох або чотирьох кредитів *ECTS* (*European Credit Transfer System*) – європейська система для вимірювання ваги компонентів навчальної програми. В Україні один *ECTS* становить приблизно 30 годин навчального навантаження. Кожен рік містить шістдесят кредитів *ECTS*, а в НУ «ОМА» вони поділяються на два періоди (семестри) на рік. Тому кожен період (семестр) містив приблизно 60/2/3 = 10 курсів (предметів) у попередній програмі. В новій програмі, з одного боку, намітився логічний шлях по збільшенню за кредитами курсів, з іншого – зменшення аудиторних (контактних) годин за рахунок збільшення терміну плавального цензу до необхідних 12 тижнів, яке призвело до зменшення тривалості періодів (семестрів). Тобто, з'явилася потреба об'єднувати курси у великі *ECTS*, які проходять протягом двох періодів, тобто, наприклад курс суднового автоматизованого електроприводу (3 *ECTS*) в один період (6 семестр) і курс автоматизованих пропульсивних електричних установок (3 *ECTS*) в наступному (7 семестр).

У рамках всеуніверситетської програми реорганізації освітніх програм бакалавра, два курси освітньої програми пропонується об'єднати в новий курс. Один з них зосереджувався на автоматизації електроприводів суднових рушіїв, а інший – на розрахунку опору руху судна згідно буксировочної потужності, розрахунку потужності приводного двигуна та удосконаленню обраної системи живлення та управління. Зміст нового курсу приблизно такий же, як і попередніх, але використовує іншу методику викладання: він більш орієнтований на проектування, ніж раніше. Це означає, що курсанти (студенти) отримують завдання (наприклад, група з чотирьох) на початку курсу, і оцінка базується на їх виконанні завдання протягом періоду навчання. Це відрізняється від «класичних» курсів, які є індивідуальними і оцінюються за допомогою іспиту в кінці курсу. Лекції, що стосуються теоретичного матеріалу, мають місце в новому, орієнтованому на проект курсі, але тепер вони забезпечують негайну підтримку завдання проекту, а не підтримку підготовки до випускного екзамену.

Причина того, що курс був орієнтований на проект, міститься у створенні нової навчальної програми, яка є сумішшю класичних курсів та проектно-орієнтованих курсів. Кожен період (семестр) складається з класичних лекцій *ECTS*, що присвячені методам розрахунків різноманітних суднових електроприводів, класичних лекцій з фундаментальної теорії інженерії та проектно-орієнтованих. Звичайно, ці всі лекції базуються на курсах теоретичних основ електротехніки, теорії електроприводу, електричних машин. Проектно-орієнтовані лекції більш конкретизовані, ніж інші курси за той же період, і стосуються конкретних тем, наприклад, суднового пропульсивного електричного

комплексу (установки). Важливо, що ці міркування не є остаточними і можуть бути змінені та доповнені.

Місце нового курсу в навчальному плані визначається тим, що суднові автоматизовані електроприводи і автоматизовані пропульсивні електричні установки добре піддаються засвоєнню у проектно-орієнтованій формі. У будь-якому випадку, той факт, що курс орієнтований на проектне рішення, вимагав нових методів навчання та нового способу оцінювання. Це відкрило шлях до впровадження нового елемента у курсі: динамічні моделі суднових пропульсивних комплексів (*DMI*-моделі), що здатні імітувати плавання суден у часовій області.

2. Мета і задачі дослідження.

Метою даної роботи є опис дизайну курсу проектування суднових автоматизованих пропульсивних електричних установок з акцентом на інтеграцію *DMI*-моделі [1] в освітнє середовище. Буде показано, як *DMI*-модель дозволяє курсантам (студентам) управляти кермом судна (принаймні в цифровому форматі) від початку освоєння матеріалу і як відбувається мотивація їх під час навчання для освоєння основ і принципів роботи суднових автоматизованих електроприводів і систем управління ними, включаючи їх найважливіші компоненти.

3. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Більшість процесів проектування починаються із встановлення вимог до проекту, який має бути розробленим. Якщо це стосується, наприклад, суднового автоматизованого пропульсивного електричного комплексу (САПЕК), то, насамперед, це також стосується і курсу, який присвячено цьому проекту. Отже, які вимоги до проектного курсу нового САПЕК?

Все починається, з загальної точки зору, із вимог до створення дисциплін у галузі вищої освіти [2]. В НУ «ОМА» знання методології викладання та критеріїв оцінювання результатів є обов'язковим для всіх працівників, які займаються викладанням. Одним з найважливіших аспектів цього є те, що цілі навчання, методи навчання та оцінювання повинні бути узгоджені із освітніми програмами. Це основоположна вимога до навчальних дисциплін (курсів), у порівнянні із судном, ймовірно схоже на очевидну вимогу щодо його конструкції, яка стверджує, що судно повинне плавати вертикально. Вимоги щодо верифікації навчальних цілей, методів викладання та оцінки зображується у «трикутнику навчання», що відображено на рис. 1 [3]. Як обговорювалося у вступі, методика викладання та оцінка для нового курсу відрізняються від попередніх. Відповідно до цього це також означає, що цілі навчання повинні бути переоцінені. Дизайн нового курсу з основ проектування та розрахунку САПЕК було досягнуто завдяки ретельному підходу, який включав переоцінку цілей навчання, застосування нової методики навчання, що зумовлює інтеграцію *DMI*-моделей суден та нових методів оцінки.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

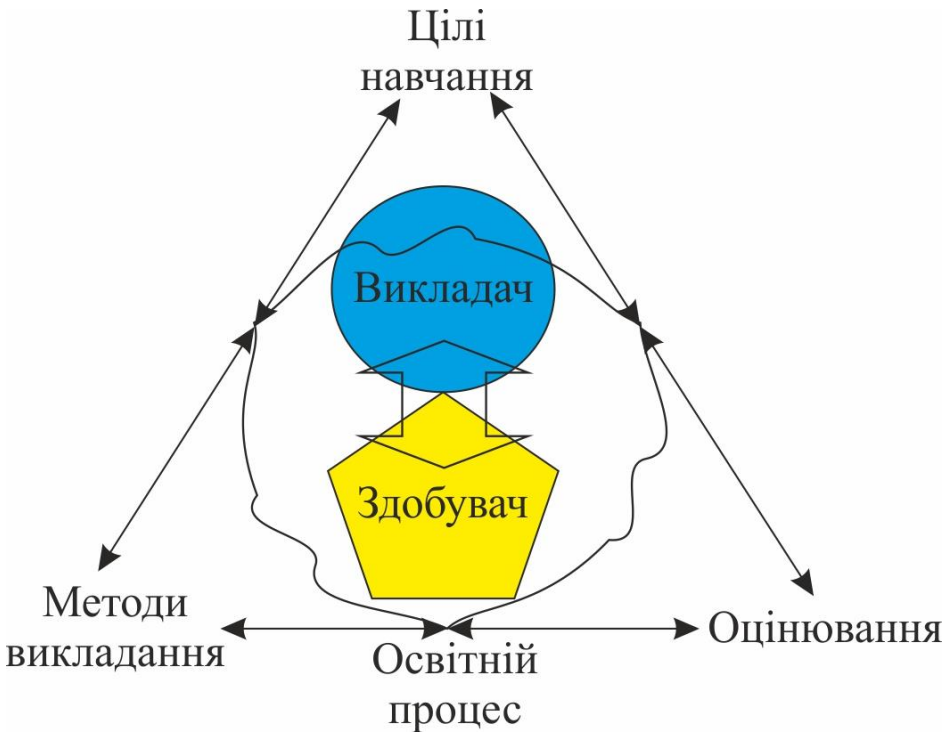


Рисунок 1 – Трикутник навчання

Зрозуміло, що розробка нового курсу повинна починатися із встановлення цілей навчання, адже цілями навчання насправді є вимоги викладача до здобувача вищої освіти щодо отримання ними результатів навчання наприкінці курсу. Відповідно до трикутника навчання це також означає, що цілі навчання пред'являють вимоги як до методів навчання, так і до оцінювання: оцінка є перевірочним інструментом щодо досягненням здобувачем всіх цілей навчання, а методи навчання повинні підтримувати здобувачів у досягненні зазначених цілей. Таким чином, перелік цілей навчання може бути використаний як специфікація вимог до курсу [4]. Тому перше, що було виконано при розробці нового курсу САПЕК, це визначення переліку навчальних цілей. Цілі навчання на попередніх курсах можна використовувати як відправну точку, але, оскільки новий курс заснований на іншій методології викладання, це потребує їх критичного переоцінювання. На практиці це означає, що дві нові цілі навчання було визначено і додано в новий курс в результаті включення *DMI*-моделей для розрахунку опору руху судна в основну систему розрахунків експлуатаційних режимів суднової енергетичної установки (СЕУ) комбінованого пропульсивного комплексу (КПК) [5], а інші були отримані з цілей навчання на попередніх курсах.

Перелік цілей навчання для нового курсу САПЕК наведено в таблиці 1. Цілі співвідносяться з програмою курсу та по суті визначають тематику його розділів, до яких застосовуються дещо різні підходи з точки зору результатів, методики оцінювання та зворотнього зв’язку від здобувачів. Цей факт зумовлює розглядати генерацію задач дослідження, які базуються на результатах інших досліджень по кожному окремому розділу нового курсу.

Таблиця 1 – Цілі навчання нового курсу «Суднові автоматизовані пропульсивні електричні комплекси»

Цілі навчання, в залежності від прив'язки до об’єкту	Принципи, засоби реалізації
Опис найважливіших компонентів СЕУ КПК та їх функції	Суднова документація, практичний досвід
Змістовне моделювання поведінки судна у часовій області за допомогою комп'ютерної *DMI*-моделі судна, яка описує динаміку судна і систему рушія у середовищі *MatLab*/*Simulink*	Практичні та лабораторні заняття
Розрахунок динамічних характеристик руху судна із застосуванням методів обчислювальної гідродинаміки [6]	Курс лекцій, практичні заняття
Імплементація визначених значень опору руху судна та динамічних характеристик у розрахункове середовище математичних моделей [7]	
Формалізація математичних на підставі (гідромеханічних) модельних експериментів з використанням розмірного аналізу та визначення методів застосування їх у випробуванні буксирування [8]	Курс лекцій, практичні заняття, фізичний експеримент
Вплив кавітаційних каверн на лопатях гребних гвинтів на їх гідродинамічні характеристики [9]	Курс лекцій, практичний досвід
Процес адаптації геометричних змін гребних гвинтів щодо діаграми відкритої води та відповідності до обраного пропульсивного комплексу [10]	Курс лекцій, практичний досвід, суднова документація
Інсталяційні та конструктивні змінні гребних гвинтів щодо узгодження із корпусом обраного двигуна пропульсивного комплексу [11]	
Пояснення характеристик на діаграмі вільної води конкретного типу гребного гвинта	Курс лекцій, практичний досвід
Визначення робочої точки гвинта на діаграмі вільної води за допомогою комп'ютерної моделі 12]	
Обґрунтування геометричних змінні двигунів внутрішнього згоряння [13]	Курс лекцій, суднова документація, практичний досвід
Параметризація характеристичних показників продуктивності суднових дизельних двигунів [14]	
Характеристика лінійки суднових дизельних двигунів [15]	Суднова документація, практичний досвід
Розрахунок робочого циклу дизеля та побудова індикаторної діаграми та теплового балансу за допомогою комп'ютерної моделі [16]	Курс лекцій, практичні заняття, суднова документація
Структуризація письмового звіту	Отримані результати, курс лекцій, суднова документація
Застосовування загальних навичок звітності: правильні посилання, рисунки, креслення, таблиці та текст налаштовуються один на одного тощо	
Структуризація публічної доповіді	
Використання аудіовізуальних посібників для презентації [17]	

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

4. Методологія розробки.

Спочатку, концептуальні вимоги, які були встановлюються для повного обсягу нового курсу, досліджуються та узагальнюються. Далі, навчальний процес організується із інтеграцією *DMI*-моделі базового суднового автоматизованого пропульсивного електричного комплексу (установки). Потім результати, отримані в процесі освоєння теоретичного матеріалу, а отже і результати проектних рішень обговорюються у трьох аспектах. Перший порівнює *DMI*-моделі для опору судна, гвинта і електричного двигуна на початку проектування і в кінці, включаючи вихідні дані субмоделей. Другий порівнює результати моделювання руху судна з початковою і кінцевою моделями, після чого у третьому обговорюється зворотний зв'язок, отриманий від здобувачів, які приступили до навчання із самого початку. І в завершенні робляться висновки про успішність проектних рішень і вводить можливі удосконалення та розширення нового курсу.

Кожна група складається з трьох/чотирьох здобувачів. Завдання, які отримують всі групи, полягає в тому, щоб збільшити точність моделі основного пропульсивного комплексу судна включенням більш точніших принципів. У них є вісім тижнів, щоб виконати завдання. Через ці вісім тижнів вони повинні скласти звіти та презентувати його для визначення наявності прогресу. Насамперед, ці звіти є проміжними, щоб здобувачі мали можливість продемонструвати частина їх підсумкового звіту. Таким чином, підсумковий звіт поступово розвивається продовж цього періоду настільки, щоб уникнути на восьмому тижні великої роботи. Таким чином визволяється час для підсумкових іспитів за класичними курсами, які здійснюються у той самий період.

На початку курсу здобувачі отримують «початкову модель» основного пропульсивного комплексу судна і опис проекту, що описує надану модель, включаючи різні призначення.

Після визначення цілій навчання для нового курсу, основна увага повинна приділятися методам навчання, які спрямовані на підтримку здобувачів щодо їх отримання. У зв’язку з тим, що впровадження методики викладання у першу чергу орієнтована на проектування, тобто здобувачі мають знайти шляхи вирішення основної задачі як сукупності допоміжних завдань.

Наприклад, для вивчення взаємозв’язку між кавітацією суднового гвинта та індукованими цим коливаннями тиску, необхідно проаналізувати роботу гвинтів з різними значеннями дискового співвідношення методами обчислювальної гідродинаміки [18]. Метод вирішення *RANS*-рівнянь (усереднених рівнянь Рейнольдса Нав'є-Стокса) для кавітаційних моделей використовується для обчислювання кавітаційного потоку гребного гвинта з узгодженням результатів із вимірюваними даними. Для цього дані моніторингу характеристик гвинта, окрім ступеню нахилу, повинні враховувати дискове співвідношення та напрямок обертання.

Розуміння того, що моделювання та аналіз поведінки нелінійного суднового електроприводу, яким є електропривод гребного гвинта, мають велике значення для концептуалізації конструкції КПК, вибору компонентів, вибору стра-

тегії управління та налаштування системи керування рухом [19]. Концептуальні рішення проектування пропульсивного комплексу, такі як визначення кривої навантаження, вимагають відносно простої стаціонарної імітаційної моделі, у той час як для проектування та налаштування ПІД-регулятора системи управління гребними двигунами, потрібна нелінійна модель імітації часової області, яка фіксує особливості конструкції пропульсивної установки. Лінеаризація моделі стохастичної суднової системи руху призначена для аналізу поведінки комплексу гребних двигунів у хвилях та для початкового проектування та налаштування контролерів. Крім того, на цьому етапі, здобувачам необхідно здійснити ретельний аналіз умов, за яких може виникнути локальна нестабільність системи, та у подальшому, вже у лінеаризованій моделі, розширити вхідні дані і перевірити результати за допомогою порівняння з нелінійною моделлю.

Після засвоєння здобувачами відповідних методів оптимізації [20], вивчається вплив на динамічні характеристики КПК таких геометричних параметрів, як кількість лопатей, діаметр гвинта, коефіцієнт розширеної площі, геометричний крок, тощо, та робочий діапазон кожного параметра. Нарешті, запропоновано новий алгоритм для оптимального проектування гвинта з урахуванням гідродинаміки, а також проблем акустики.

Врахування експлуатаційних характеристик гвинта здійснюється для вільної води та за корпусом. Характеристики для вільної води розраховуються для сил і моментів, що діють на гребний двигун при роботі в рівномірному потоці рідини, паралельному центральній лінії валу; отже, характеристики для вільної води, за винятком похибок, зумовленими неоднорідністю потоку гвинта, за визначенням є постійним навантаженням. Характеристики за корпусом – це характеристики, що створюються гребним гвинтом при роботі в змішаному полі неспадання за корпусом [21]. Очевидно, що ці останні характеристики мають як сталі, так і несталі компоненти за самою природою середовища, в якому працює гребний гвинт. Тому, необхідно обидва типи характеристик враховувати, але розглядати окремо: спочатку зосередитися на характеристиках гребного гвинта на вільній воді, оскільки вони формують основні експлуатаційні параметри, а потім переходити до характеристик роботи гребного гвинта за корпусом.

$$\frac{\partial \vec{\upsilon}}{\partial t} = -(\vec{\upsilon}\nabla)\vec{\upsilon} + \nu_w \Delta \vec{\upsilon} - \frac{1}{\rho}\nabla P_v + \vec{f}_m; \quad \nabla \cdot \vec{\upsilon} = 0, \tag{1}$$

де ∇ – оператор набла; Δ – векторний оператор Лапласа; t – час, [с]; ν_w – коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\times 10^{-6}$ [м^2/с]; ρ – щільність довкілля, [кг/м^3]; P_v – тиск потоку, [Па]; $\vec{\upsilon} = (\upsilon^1, \ldots, \upsilon^n)$ – векторне поле швидкостей; $\vec{f}_m$ – векторне поле масових сил.

Блок моделі, яка описує гребний гвинт, містить лінійні наближення моментів та упорів на діаграмі відкритої води через відповідні коефіцієнти:

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

$$T_p = \rho \cdot D^4 \cdot K_T \cdot n \cdot |n|;$$
$$Q_p = \rho \cdot D^5 \cdot K_Q \cdot n \cdot |n|; \quad (2)$$

де T_p – упор гвинта, Н, n – частота обертання валу гвинта, рад/хв., Q_p – момент на валу, Н·м; ρ – густина води кг/м^3, D – діаметр гвинта, м, K_T – коефіцієнт упору гвинта, K_Q – коефіцієнт моменту.

Блок динаміки обертання валів вимагає двох визначень: необхідного крутного моменту гвинта і прикладеного крутного моменту гребного двигуна. Крутний момент двигуна трансформується з блоку обертової динаміки валу як обертаючий момент, що подається на лопаті гвинта, використовуючи коефіцієнт передачі і коефіцієнт корисної дії. Так, фактично, в реальній стартовій моделі втрати в трансмісії і на валу враховуються. Другий закон Ньютона щодо крутного моменту враховує будь-які зміни швидкості обертання гвинта, що з урахуванням коефіцієнту передач також призводить до швидкості обертання двигуна. Вони представляють два виходи блоку обертової динаміки валу: швидкість обертання гвинта і швидкість обертання двигуна. Субмодель двигуна в стартовій моделі передбачає постійну ефективність двигуна, що забезпечує спосіб прямого обчислення моменту двигуна від маси палива, що подається в циліндри. Із (2) отримаємо:

$$n = sign\left(\frac{T_p}{\rho \cdot D^4 \cdot K_T}\right)\sqrt{\left|\frac{T_p}{\rho \cdot D^4 \cdot K_T}\right|};$$
$$Q_p = \frac{D \cdot K_Q}{K_T} \cdot T_p; \quad (3)$$
$$P_p = \frac{\pi D \cdot K_Q \cdot T_p}{30 K_T} sign\left(\frac{T_p}{\rho \cdot D^4 \cdot K_T}\right)\sqrt{\left|\frac{T_p}{\rho \cdot D^4 \cdot K_T}\right|}.$$

Коефіцієнти K_T і K_Q залежать від конкретного типу гвинта і можуть, в залежності від цього, корегуватися.

Метою завдання є підвищення рівня деталізації субмоделей, і тому справа належної підготовки означає визначення обертів гребного двигуна як вхід до блоку дизельного двигуна у вихідній моделі. Це також означає, що верхній рівень загальної моделі суднового пропульсивного комплексу не повинен змінюватись, поки здобувачі виконують завдання під час курсу, що відповідає двом цілям:

– розуміння загальної системи від початку курсу оглядом від складного до менш складного (зверху вниз);

– можливість на чомусь зупинитися, якщо є відчуття «втрати себе» у виконанні завдання.

Перше завдання полягає у ознайомленні здобувачів з принципами роботи комбінованих пропульсивних комплексів, функцією різних компонентів та вихідною моделлю. Здобувачі мають завдання виконати ряд експериментів (моделювання руху) із вихідною моделлю та досягнути наступних результатів:

– зменшення ітерацій налаштування споживання для палива з кроком на 25% через певний проміжок часу;

– визначення відгуку моделі на раптову зміну коефіцієнтів збурення, не змінюючи налаштування паливних систем;

– збільшити коефіцієнтів корисної дії;

– налаштування паливних регуляторів повинно відповідати синусоїдальній формі;

– запропонувати експеримент власного характеру, при наявності.

Перший експеримент імітує оператора, який змінює подачу палива (впливає на регулятор) через часові інтервали, щоб змінити швидкість руху судна. Цей експеримент розроблений для того, щоб здобувачі співвідносили результати абстрактної моделі суднового пропульсивного комплексу з реальним об'єктом. В експерименті використовується власний досвід і спонукає здобувача з'ясувати, що насправді відбувається, коли вони змінюють положення регулятору обертів. Результати цього моделювання з вихідною моделлю з'являються протягом декількох секунд (оскільки модель дуже швидка), і є можливість негайно оцінити свій особистий досвід до результатів.

Другий експеримент імітує раптове збільшення опору руху судна через, наприклад, погіршення стану довкілля. Експеримент також покликаний співвідносити результати моделі з реальним об'єктом. Здобувачі повинні мати можливість зрозуміти що станеться, якщо положення регуляторів обертів не змінюється, а підвищений опір призводить до зниження швидкості судна.

Третій експеримент насправді є першою спробою, щоб змусити здобувачів усвідомити, що точність стартової моделі потрібно підвищити. У вихідній моделі можна безмежно збільшувати навантаження, що також означає, що неможливо досягти максимальної швидкості судна. Оскільки справжнє судно має ці обмеження, всі здобувачі повинні усвідомити, що результатам вихідної моделі не можна сліпо довіряти. Експеримент змушує учнів задуматися про залежність максимальної швидкості судна від потужності гребних двигунів.

Четвертий експеримент покликаний допомогти здобувачам перетнути потенційний бар'єр для початку роботи з *Simulink*. Після перших трьох експериментів здобувачі повинні почати розуміти принципи роботи вихідної моделі в *Simulink*; наступним кроком є внесення змін до цієї моделі (СЕУ КПК). Тому четвертий експеримент навчає лише навичкам програмування в *Simulink*.

П'ятий експеримент, нарешті, – це можливість добре вмотивованих учнів показати своє розуміння та осмислення вихідної моделі та запропонувати її вдосконалення.

Результатом першого завдання є розділ курсового проекту, що містить опис вихідної моделі, результати п'яти експериментів та обговорення цих результатів. Цей розділ необхідно скласти з викладачем через два тижні після початку курсу. Якщо група здобувачів не зможе засвоїти основи роботи СЕУ КПК протягом перших двох тижнів, решту курсу їм буде важко зрозуміти. Ось чому розділ курсового проекту, яку здобувачі подають наприкінці другого тижня, обговорюється з кожною групою окремо. Це дає лектору можливість впливати на

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

здобувачів, які відстають, щоб збільшити зусилля. Здобувачам, які успішно працюють, вказують, що вони на правильному шляху, але ж розумно показати їм можливість вдосконалення, щоб уникнути втрати мотивації.

Такий же підхід застосовується для виконання наступних розділів курсового проекту з урахуванням отриманих здобувачами результатів.

5. Оцінювання результатів.

Як вимірювати якість освітнього процесу? Відповідь не лежить на поверхні, але принаймні її можна отримати у відповідях здобувачів на запитання по курсу. Очевидно, що як викладач Ви отримуєте багато відповідей від здобувачів під час курсу, але в НУ «ОМА» також пропонують заповнити анонімну анкету після курсу, даючи здобувачам можливість «вільно говорити». Загалом позитивні відповіді, отримані від здобувачів під час курсу, повинні бути підтверджені у відповіді на анкету. Курс в цілому здобувачі оцінювали за шкалою від 1 до 10. Результати повного анкетування наведені в таблиці 2. Більшість балів вище 7,5, що є досить високим порівняно з оцінками, які зазвичай даються здобувачами для інших курсів в анкеті. Зауважимо, що анкети заповнюють лише 25% здобувачів, які закінчили курс, у зв'язку із індивідуальними графіком і траєкторією навчання, тому з результатів не можна зробити жодних важливих висновків.

Таблиця 2 – Оцінювання «зворотнього зв'язку» від здобувачів.

Опис оцінки	Оцінка за десятибальною шкалою
Курс загалом	7,32
Складність та цікавість теми	8,01
Актуальність курсу для всієї освітньої програми	8,44
Здатність до командної роботи	7,87
Дотримання структурно-логічної схеми навчання за попередніми курсами	6,68
Методичне забезпечення курсу	7,84
Матеріально-технічне обладнання	6,7
Наявність матеріалів у системі дистанційного доступу	8,25
Загальна організація курсу	7,7
Характеристика викладачів (організованість, зрозумілість викладання, захопленість, зворотній зв'язок, взаємодія)	8,33
Здобувачі-тренери	6,19
Чіткість мети, що очікується	7,57
Оцінка	6,21
Кількість часу, витраченого на курс у кредитах ECTS	7

Найнижчі бали були отримані за те, наскільки добре навчальний курс слідує за попередніми знаннями та оцінками. Останнє викликано невдачею індивідуального опитування в кінці курсу. Щоб переконатися, що всі здобувачі засвоюють всі розділи курсу, підсумкову модель потрібно відтворити під час екзамену на комп'ютері. Місце проведення цього опитування пов'язане з комп'ютерними класами, де *Matlab*/*Simulink* присутній, а також справжнім рів-

нем підготовки здобувачів за цим програмним продуктом. Звідси низький бал оцінювання. Ця проблема має вирішуватися поступово під час наступних курсів. Труднощі з подальшим засвоюванням полягають у тому, що здобувачі не мають жодних попередніх знань про СЕУ КПК.

6. Висновки.

Передача знань та розуміння основ і принципів роботи СЕУ КПК, гребних двигунів з різноманітними джерелами енергії та взаємодії між ними є складною метою та актуальною проблемою сьогодення. Первинні моделі середньої складності підтримують досягнення цієї мети, змушуючи здобувачів замислюватися над законами гідродинаміки, суднової енергетики та електротехніки, які регулюють роботу СЕУ КПК. Незважаючи на те, що багато можливостей для вдосконалення та розширення курсу все ще існують, і він знаходиться у стадії вдосконалення, тепер робиться висновок, що на основі спостережень за ходом навчання здобувачів та за їх відгуками, проектні зусилля були успішними.

В майбутньому курс планується розширити, щоб включити більше типів СЕУ КПК. Також можливі вдосконалення в організації, які вже будуть впроваджені наступного разу, коли курс розпочнеться, виходячи зі збільшення кількості зацікавлених здобувачів за спеціальністю «Річковий та морський транспорт».

ЛІТЕРАТУРА

1. Spelitz, S. Automatic geometry, metrology, and visualization techniques for 3D scanned vessels [Text] / S. Spelitz, V. Moitinho de Almeida, C. Lang-Auinger // Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage. – 2019. – e00105. ISSN 2212-0548. Doi: 10.1016/j.daach.2019.e00105.

2. Шляхи реалізації кредитно-модульної системи організації навчального процесу і тестових форм контролю знань студентів: Матеріали метод. Семінару [Текст] / Під ред. О. М. Цабієва. – Вип. 2. – Одеса: Наука і техніка, 2008. – 128 с.

3. Friesen, N. Tact and the pedagogical triangle: The authenticity of teachers in relation [Text] / N. Friesen, R. Osguthorpe // Teaching and Teacher Education. – 2018. – V. 70. – P. 255-264. ISSN 0742-051X. Doi: 10.1016/j.tate.2017.11.023.

4. Chaudy, Y. Specification and evaluation of an assessment engine for educational games: Empowering educators with an assessment editor and a learning analytics dashboard [Text] / Y. Chaudy, T. Connolly // Entertainment Computing. – 2008. – V. 27. – P. 209-224. ISSN 1875-9521. Doi: 10.1016/j.entcom.2018.07.003.

5. Budashko, V. Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes [Text] / V. Budashko, V. Nikolskyi, O. Onishchenko, S. Khniunin / Eastern–European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – V. 3. – № 8(81). – P. 10 – 21. Doi: 10.15587/1729–4061.2016.72543.

6. Budashko, V. Formalization of design for physical model of the azimuth thruster with two degrees of freedom by computational fluid dynamics methods [Text] / V. Budashko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – V. 3. – № 7(87). – P. 40–49. Doi:10.15587/1729-4061.2017.101298.

7. Budashko, V.V. Implementation approaches during simulation of energy processes for a dynamically positioned ship [Text] / V. V. Budashko // ELECTRICAL ENGINEERING & ELECTROMECHANICS. – 2015. – V. 6. – P. 14-19. ISSN 2074–272X. Doi:10.20998/2074–272X.2015.6.02/50764.

8. Budashko, V. Physical model of degradation effect by interaction azimuthal flow with hull of ship [Text] / V. Budashko, V. Nikolskyi, O. Onishchenko, S. Khniunin // Proceeding Book of International Conference on Engine Room Simulators (ICERS12). – Istanbul: Istanbul Technical University, Maritime Faculty, 2015. – P. 49–53. ISBN 978–605–01–0782–1.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

9. Feng, X. Effects of balanced skew and biased skew on the cavitation characteristics and pressure fluctuations of the marine propeller [Text] / X. Feng, J. Lu // Ocean Engineering. – 2019. – V. 184. – P. 184-192. ISSN 0029-8018. Doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.05.031.

10. Stapersma, D. Linearization of a ship propulsion system model [Text] / D. Stapersma, A. Vrijdag // Ocean Engineering. – 2017. – V. 142. – P. 441-457. ISSN 0029-8018. Doi: 10.1016/j.oceaneng.2017.07.014.

11. Ebrahimi, A. A comprehensive study on noise reduction methods of marine propellers and design procedures [Text] / A. Ebrahimi, A.H. Razaghian, M.S. Seif, F. Zahedi, A. Nouri-Borujerdi // Applied Acoustics. – 2019. – V. 150. – P. 55-69. ISSN 0003-682X. Doi: 10.1016/j.apacoust.2018.12.004.

12. Carlton, J. S. Marine Propellers and Propulsion (Fourth Edition). Chapter 6 – Propeller Performance Characteristics [Text] / Ed. J. S. Carlton: Butterworth-Heinemann. – 2019. – P. 81-140. ISBN 9780081003664. Doi: 10.1016/B978-0-08-100366-4.00006-7.

13. Rodrigues de Souza, G. Study of intake manifolds of an internal combustion engine: A new geometry based on experimental results and numerical simulations [Text] / G. Rodrigues de Souza, C. de Castro Pellegrini, S. Lucas Ferreira, F. Soto Pau, O. Armas // Thermal Science and Engineering Progress. – 2019. – V. 9. – P. 248-258. ISSN 2451-9049. Doi: 10.1016/j.tsep.2018.12.003.

14. Zhang, W. Experimental study on spray and evaporation characteristics of diesel-fueled marine engine conditions based on optical diagnostic technology [Text] / W. Zhang, X. Li, L. Huang, M. Feng //Fuel. – 2019. – V. 246. – P. 454-465. ISSN 0016-2361. Doi: 10.1016/j.fuel.2019.02.065.

15. Nikzadfar, K. Investigating a new model-based calibration procedure for optimizing the emissions and performance of a turbocharged diesel engine [Text] / K. Nikzadfar, A. H. Shamekhi // Fuel. – 2019. – V. 242. – P. 455-469. ISSN 0016-2361. Doi: 10.1016/j.fuel.2019.01.072.

16. Baldi, F. Development of a combined mean value–zero dimensional model and application for a large marine four-stroke Diesel engine simulation [Text] / F. Baldi, G. Theotokatos, K. Andersson // Applied Energy. – 2015. – V. 154. – P. 402-415. ISSN 0306-2619. Doi: 10.1016/j.apenergy.2015.05.024.

17. Rasul, S. A study to analyze the effectiveness of audio visual aids in teaching learning process at university level [Text] / S. Rasul, Q. Bukhsh, S. Batool // Procedia - Social and Behavioral Sciences. – 2011. – V. 28. – P. 78-81. ISSN 1877-0428. Doi: 10.1016/j.sbspro.2011.11.016.

18. Elkafas, A. G. Numerical study on the hydrodynamic drag force of a container ship model [Text] / A. G. Elkafas, M. M. Elgohary, A. E. Zeid // Alexandria Engineering Journal. – 2019. – V. 6. – P. 1-11. ISSN 1110-0168. Doi: 10.1016/j.aej.2019.07.004.

19. Rong, B. Dynamics analysis and wave compensation control design of ship's seaborne supply by discrete time transfer matrix method of multibody system [Text] / B. Rong, X. Rui, K. Lu, L. Tao, G. Wang, F. Yang // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2019. – V. 128. – P. 50-68. ISSN 0888-3270. Doi: 10.1016/j.ymssp.2019.03.006.

20. Zhu, M. Optimized support vector regression algorithm-based modeling of ship dynamics [Text] / M. Zhu, A. Hahn, Y.-Q. Wen, W.-Q. Sun // Applied Ocean Research. – 2019. – V. 90. – Art. 101842. ISSN 0141-1187. Doi: 10.1016/j.apor.2019.05.027.

21. Carlton, J. S. Marine Propellers and Propulsion (Fourth Edition). Chapter 11 - Propeller, Ship, and Rudder Interaction [Text] / Ed. J. S. Carlton: Butterworth-Heinemann. – 2019. – P. 281-312. ISBN 9780081003664. Doi: 10.1016/B978-0-08-100366-4.00011-0.

Секція 1. СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

УДК 621.3:378.4(477.74)(045)

ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗПОДІЛЬЧОГО ПРИСТРОЮ NXAIR ФІРМИ SIEMENS

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

Анотація. *У роботі розглянуто використання розподільчого пристрою NXAIR фірми Siemens при підготовці фахівців з експлуатації високовольтного обладнання. Проведено аналіз конфігурації та функціональних можливостей тренажеру та допоміжного обладнання.*

Ключові слова: *суднове високовольтне обладнання, засоби захисту, розподільчий пристрій, безпечна експлуатація.*

TRAINING SPECIALISTS FOR OPERATION OF HIGH VOLTAGE EQUIPMENT USING SIEMENS NXAIR SWITCHGEAR

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

Abstract: *The use of the Siemens NXAIR switchgear during the high voltage equipment operational training for marine engineers and cadets is considered in the paper. The analysis of simulator and auxiliary equipment configuration and functional capabilities was carried out.*

Key-words: *marine high voltage equipment, protective equipment, switchgear, safe operation.*

На сучасному етапі розвитку суднобудівництва відбувається зростаюча тенденція використання високовольтного обладнання на морських суднах. Це обумовлене великою потужністю електроенергетичних систем контейнеровозів, суден з електричною руховою установкою та інших спеціалізованих плавзасобів. Тому питання підготовки інженерів з експлуатації високовольтного обладнання є актуальним.

Конвенція STCW95 з Манільськими поправками висуває нові вимоги для посадових осіб з експлуатації установок з високою напругою.

Для виконання даної мети в НУ «ОМА» на кафедрі суднової електромеханіки і електротехніки встановлений розподільчий пристрій NXAIR, 7.2 кВ, 25 кА (3с), 1250А фірми Siemens. Він має два елементи, загальний вигляд яких представлений на рисунку 1а.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Елементи виконані в залізному корпусі. Всі комутаційні операції можуть бути виконані з передньої панелі в закритому стані дверей розподільчого пристрою.

Електричний зв'язок між елементами може здійснюватися за допомогою мідних збірних шин. Захист від короткого замикання та перевантажень забезпечується високовольтними запобіжниками.

Корпус елемента, а також перегородки та шторки виконані з металу та заземлені. Це забезпечує високу категорію по обслуговуванню LSC2B для комплектних розподільчих пристроїв та високу ступінь захисту згідно МЕК 62271-200. На випадок внутрішнього дугового замикання тиск з відсіків викидається вгору. Елементи NXAIR протестовані на стійкість до внутрішньої дуги і мають класифікацію IAC AFLR. Це дозволяє здійснити доступ до елементу спереду, ззаду та збоку.

а) б)

Рисунок 1 – Загальний вигляд розподільчого пристрою NXAIR(а), засоби безпеки (б)

Елемент розподіляється на наступні відсіки: збірних шин, викатного автоматичного вимикача, кабельної збірки високої напруги, роз'єднувача заземлення, трансформаторів струму та напруги.

Двері елементів обладнані блокуючими механічними пристроями. Для безпечної роботи і обслуговування розподільчого пристрою передбачені спеціальні допоміжні інструменти: детектор напруги, ручка управління заземляючим вимикачем, вставна рукоятка кривошипа, сервісний візок та інше.

Крім того для виконання умов електробезпеки в шафах (рис.1б) розташоване обладнання та засоби захисту від ураження електричним струмом.

Висновки: Таким чином, застосування розподільчого пристрою NXAIR фірми Siemens та допоміжного обладнання при підготовці курсантів дає можливість безпечно використовувати та обслуговувати високовольтні системи; належним чином користуватися засобами індивідуального захисту такими, як:

захисні окуляри, захисні каски, ізоляційні штанги, ізоляційні чоботи, ізоляційні калоші, ізоляційні рукавички, кабелі заземлення, високовольтні тестери, детектори напруги. Крім того, використання зазначеного обладнання сприяє виконанню процедур з високовольтної безпеки: оформленню дозволів та координації високовольтних робіт; інформуванню, попередженню та застосуванню блокування проти неавторизованого втручання у безпеку; умінню перевіряти присутність або відсутність напруги перед початком будь-якої високовольтної роботи.

Використання високовольтного обладнання і засобів захисту дозволяє здобути вміння та навички, зазначені у розділі A-III/6 Кодексу ПДНВ, а також у модельному курсі IMO Model Course 7.08 “Electro-technical Officer” у відповідній сфері компетенції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пономаренко В.В. Судовое высоковольтное электрооборудование: учебное пособие / В.В. Пономаренко, В.А. Шевченко; под ред. А.Н. Пипченко. – Одесса: ТЭС, 2017. – 300 с.
2. Siemens. Распределительное устройство среднего напряжения. Инструкция по эксплуатации NXAIR. Редакция 07. Выпуск 03.08.2012. – 181 с.

УДК 621.431.74

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОННО УПРАВЛЯЕМЫХ ДВУХТАКТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ WARTSILA ТИПА RT-FLEX

Д. И. Лацюк, аспирант
Одесский национальный морской университет

Аннотация. *Рассмотрены особенности современных двухтактных дизелей с электронным управлением Wartsila RT-flex. Рассмотрена работа системы топливоподачи, газораспределения, а также работа электронная система управления топливоподачей (WECS) и цифровой системы управления DGU 8800.*

Ключевые слова: *уменьшение расхода топлива, электронное управление, техническая эксплуатация, электрооборудование, эффективность эксплуатации.*

FEATURES OF ELECTRONICALLY CONTROLLED TWO-STROKE DIESELS WARTSILA TYPE RT-FLEX

D. Latsyuk, Postgraduate Student
Odessa National Maritime University

Abstract: *The features of modern two-stroke diesel engines with electronic control Wartsila RT-flex are considered. The operation of the fuel supply system, gas distribution, as well as the operation of the electronic fuel management system (WECS) and the digital control system DGU 8800 are considered.*

Key words: *reduction of fuel consumption, electronic control, technical operation, electrical equipment, operational efficiency.*

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

На сегодняшний день ведущие компании мира, которые производят судовые энергетические установки пытаются максимально улучшить свои показатели такие как: зашита окружающей среды, уменьшение расхода горюче смазочных материалов, максимального увеличение технического срока службы эксплуатационного оборудования, но при этом соответствовать современным нормам и стандартам, которые отражены в международных и национальных нормативных документах.

В результате использования современного электрооборудования на судах мы можем максимально приблизится к актуальным потребностям судовых компаний. Повышение эффективности эксплуатации судовых энергетических установок (СЭУ) возможны при совместной технической эксплуатации современного электронного оборудования.

Использование системы, которая осуществляет электронный контроль впрыска топлива фирмы Wärtsila позволяет получить высокую топливную экономичность на долевых режимах работы, пониженный уровень эмиссии NOx, и сажи. Гибкое электронное управление способствует равномерному распределению механических и тепловых нагрузок между цилиндрами и снижению общего уровня вибрации.

С помощью технической эксплуатации современного электрооборудования применяемого в системах управления топливоподачей WECS (рис. 1) в системе присутствует возможность автоматической коррекции Pmax, возможна коррекция максимального давления сгорания, применяемый, для равномерного распределения нагрузки между цилиндрами, которая была рассмотрена в работе Лацюка Д. И. [1].

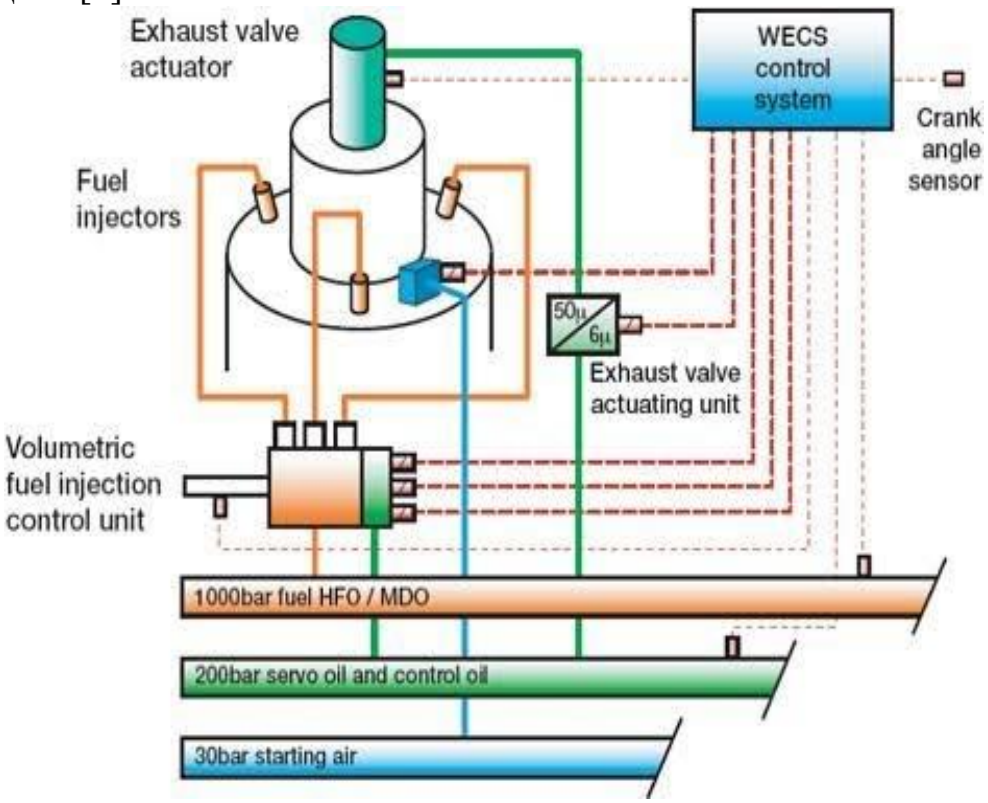


Рисунок 1 - Электронная система управления топливоподачей (WECS)

В двигателях с электронным управлением функции контроля возложены на микропроцессорную систему управления, входными сигналами которых являются сигналы от электрических датчиков, установленных в самом двигателе. В таком двигателе микропроцессорная система управления на основе информации полученной с датчиков и с учетом заданного двигателю режима работы позволяет добиваться наилучших результатов. Данные системы управления также обеспечивает управление вспомогательным оборудованием и в результате мы значительно увеличиваем качество эксплуатации систем и оборудования с обеих сторон как с технической, так и с электротехнической и также более полный контроль рабочих процессов в реальном времени со стороны обслуживающего персонала.

Также для экономии топлива за счет функция ограничения нагрузки применяют цифровую систему управления DGS (Digital Governor System) а именно система DGU 8800 (рис. 2) которая представляет собой полный пакет выполнения электронного регулирование частоты вращения двигателя и выполняющий все задачи по управлению скоростью низкооборотного, длинноходного дизельного двигателя производства Wärtsila NSD и их лицензиатов.

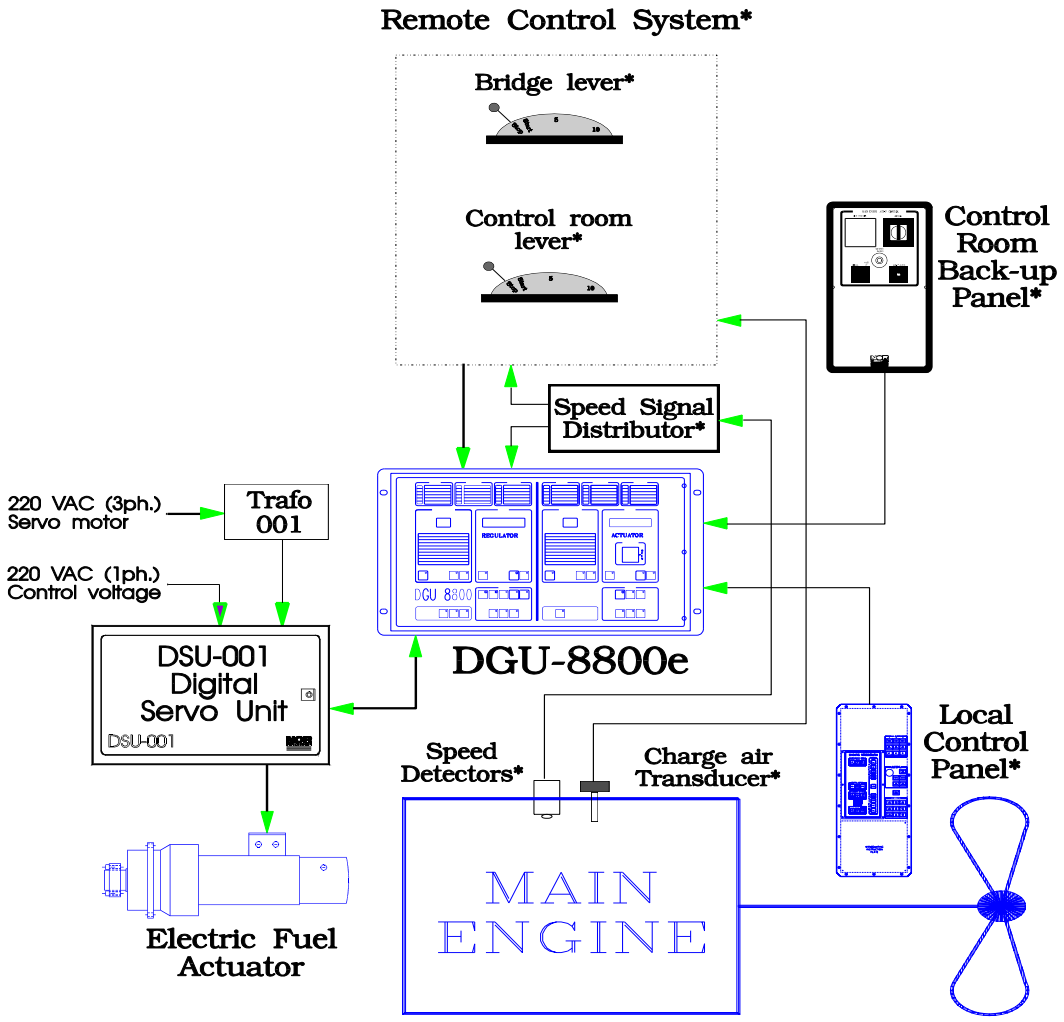


Рисунок 2 – Цифровая система управления DGU 8800

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

На сегодняшний день глобальная компьютеризация оборудования на судах приводит к установке систем глобального и удаленного мониторинга практически всех систем с целью повышения эффективности работы и продления срока службы технического и электротехнического оборудования приводит к тому что в ближайшее время будет необходимо увеличение уровня знаний в современных системах управления для судовых механиков так как техническая эксплуатация СЭУ зависит от правильного понимания не только физических процессов но и понимания возможных поломок и ошибок которые будут происходить из за сбоев в работе электронного оборудования полученных при использовании в сложных судовых условиях таких как – вибрация, высокие температуры и т.д.

Выводы. Электронное управление основными составляющими рабочего процесса (топливоподачей, газораспределением), а также управление цилиндровой смазкой и пусковым воздухом с помощью системы WECS фирмы Wärtsila позволяет получить высокую топливную экономичность на долевых режимах работы, пониженный уровень эмиссии NOx, и сажи. Гибкое электронное управление способствует равномерному распределению механических и тепловых нагрузок между цилиндрами и снижению общего уровня вибрации дизелей Wartsila RT-flex.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лацюк Д. И. Алгоритм коррекции максимального давления сгорания, применяемы в системах управления топливоподачей WECS RT-FLEX //Лацюк Д. И. - материалы конференции FS 2019 - г. Одесса 2019 – с. 266 – 269.
2. Корнилов Э. В. Электронный регулятор частоты вращения типа DGU 8800 // Судовые главные двигатели с электронным управлением – г. Одесса 2008 – 224 с.
3. Михайлов В. С. / Носовский А. Н. / Пискунов А. М. Эксплуатация судового электрооборудования // Михайлов В. С. / Носовский А. Н. / Пискунов А. М. – Издательство ООО «Барви України» 2009 г. – 226 с.

УДК 621.4;004.942

ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА НА ОСНОВЕ САПФИРОВОГО СТЕКЛА

А. К. Сандлер, доцент
Национальный университет "Одесская морская академия"

Аннотация: *Для построения системы всестороннего мониторинга параметров судовой энергетической установки необходимо осуществлять эффективный контроль вибрационных параметров. Существующие системы контроля не в полной мере по своим спецификационным и техническим характеристикам соответствуют задачам мониторинга. Возможности существующих известных систем имеют ограничения по глубине использования и компенсации влияния эксплуатационных факторов. Предложено новое схемотехническое решение чувствительного элемента устройства контроля высокочастотной вибрации на основании сапфирового световода с депрессированной сердцевиной.*

Ключевые слова: *преобразователь, чувствительный элемент, световод*

SENSITIVE ELEMENT OF FIBER OPTICAL ACCELEROMETER BASED ON SAPPHIRE GLASS

A. Sandler, Associate Professor
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. *To build a system of comprehensive monitoring of the parameters of the ship's power plant, it is necessary to carry out effective control of vibratory parameters. Existing control systems do not fully meet the monitoring objectives in terms of their specifications and specifications. The capabilities of existing known systems have limitations on the depth of use and compensation for the influence of operational factors. A new circuit design of the sensitive element of the high-frequency vibration control device based on a sapphire fiber with a depressed core is proposed.*

Keywords: *transducer, sensitive element, light guide*

Постановка проблемы

Актуальность разработки эффективных измерительных преобразователей (ИП) физических величин возрастает в связи с интенсификацией создания различных систем автоматического управления, автоматических систем мониторинга различных процессов в судовых энергетических установках. Как правило, ИП контроля технологических процессов в этих системах принадлежит доминирующая роль, определяющая уровень эксплуатационных параметров систем. ИП должны органично вписываться в архитектуру современных систем управления и мониторинга и оставаться актуальными продолжительное время. Этому условию наиболее полно соответствуют ИП, созданные на основе волоконно-оптических технологий. К числу таких приборов относятся и волоконно-оптические акселерометры (ВОА).

В ВОА, в случае невозможности непосредственного измерения контролируемой величины, применяется схема предварительного преобразования с различными физическими принципами преобразования (рис.1) [1].

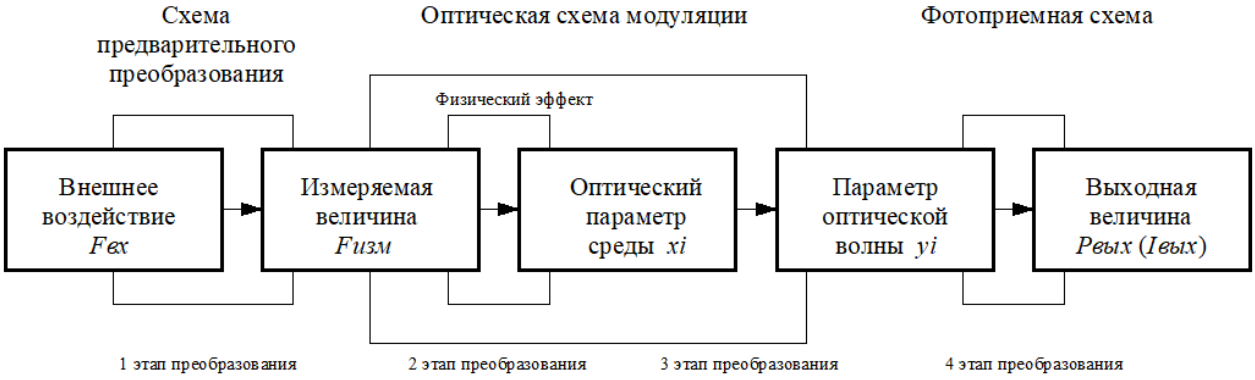


Рисунок 1 – Общая структура преобразования в ВОА

Непосредственно или после предварительного преобразования контролируемая величина воздействует на параметры оптической среды, или оптического канала (ОК) по которому распространяется оптическое излучение. На сле-

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

дующем этапе при помощи схем оптической модуляции изменение параметров ОК инициирует изменения параметров оптической волны.

Непосредственная регистрация и анализ флуктуаций параметров оптической волны затруднительны. Для решения этой задачи обычно используют фотоприемники, где контролируемая величина трансформируется в окончательно регистрируемую величину силы тока или напряжения.

Анализ последних достижений и публикаций

Выбор оптимальной функции механического преобразования определяется конструктивной схемой сейсмического прибора, в котором параметры колебательных процессов преобразуются в механические величины.

Существующим сейсмическим ИП различных конструктивных схем, свойственны частотные погрешности, обусловленные режимом работы колебательного звена и определяющие рабочий диапазон, как в низкочастотной, так и в высокочастотной области. Поскольку конструктивными мерами значительного снижения этих погрешностей достичь не удается, в сейсмических ИП активно применяется ряд способов коррекции частотных погрешностей, сгруппированных по двум направлениям - пассивные и активные.

Пассивная параметрическая коррекция, основанная на использовании цепей или усилителей, имеющих в идеальном случае частотную характеристику, заданную функцией обратной функции корректируемого узла. Существенным недостатком использования метода является потеря энергии, пропорциональная частотному диапазону прибора. Кроме того, применение корректирующих цепей требует обязательного наличия соответствующих усилителей.

Активная коррекция частотных погрешностей основана на активном воздействии на звено, являющееся источником погрешности. Оценка потенциала активной коррекции показывает, что при расширении частотного диапазона обычных сейсмическим преобразователей как в низко- так и в высокочастотную область, параметры прибора могут быть изменены только за счет электрической регулировки. Это исключает достижение принципиального выигрыша в чувствительности. Введение электромеханической обратной связи при расширении частотного диапазона сейсмическим ИП вызывает потерю чувствительности, аналогичную потере, возникающей изменении механических параметров прибора или из-за применения последовательной параметрической коррекции.

Это объясняется жесткой взаимосвязью параметров классической системы инерциального прибора - чувствительности и частоты свободных колебаний, определяемых массой сейсмического инерционного элемента и податливостью упругого звена. Поэтому применение активной коррекции наиболее эффективно в системах, в которых эта взаимосвязь исключается.

Типичным представителем таких систем является маятниковый акселерометр, схема которого использована автором для разработки ВОА (рис. 2) [2 - 7].

Предложенный акселерометр состоит из герметичного корпуса, основы, опорного световода, содержащего блок *C/G*-линз, измерительного и компенсирующего световодов с отражающей слоями на торцах. На оконечности измери-

тельного световода закреплена неуравновешенная эксцентриковая масса из стекла.

За основную модель такого ВОА можно принять идеализированную принципиальную схему колебательного звена, в котором сейсмическая масса имеет одну степень свободы, а механическая часть представляет собой маятник, в котором измерительный световод является осью и упругим чувствительным элементом (ЧЭ).

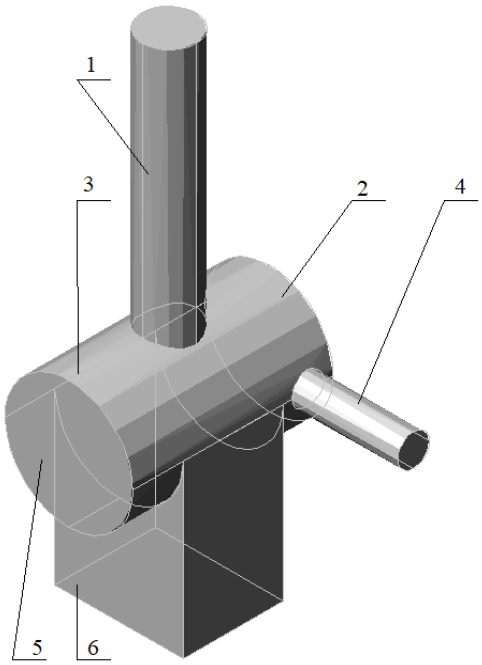


Рисунок 2 – Модель маятникового волоконного акселерометра: 1 – опорный световод; 2 – измерительный световод; 3 – компенсирующий световод; 4 – неуравновешенная эксцентриковая масса; 5 – отражающий слой; 6 – основа

Цели статьи

Согласно ГОСТ [8, 9] ИП должен обеспечивать осуществление неразрушающего контроля высокочастотной вибрации, основанного на регистрации параметров оптического излучения, взаимодействующего с контролируемым объектом в полосе частот до 20 кГц.

В таком ИП, для уменьшения динамических ошибок амплитудно-частотной характеристики, частота сигнала должна быть меньше резонансной частоты. В акселерометре для контроля высокочастотных вибрационных процессов должна быть как можно более высокая резонансная частота, а упругий ЧЭ должен обладать значительной жесткостью [10 - 12].

Таким образом, одна из вспомогательных задач исследования была локализована в области оценки потенциальных возможностей использования различных типов волоконных световодов, которая обеспечила бы соответствие параметров ИП комплексу специфических требований. Общим требованием к рассматриваемым оптическим материалам, при различиях по ряду оптических и механических свойств, было обеспечение эксплуатации в экстремальных условиях и повышенной долговечностью.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Материалы исследования с обоснованием научных результатов

В качестве возможного материала для создания упругого ЧЭ рассматривались световоды на основе кварцевого стекла, стекол крон и флинт, а также искусственного сапфира. Свойства и размеры материалов определены в [13 - 18].

Частотные свойства волоконного маятникового акселерометра, с ЧЭ из вышеперечисленных материалов рассчитывались как

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{3\pi d^4 E}{64L(1+\upsilon)ml^2}},$$

где E – модуль Юнга, Па; d – диаметр ЧЭ, м; L – длина ЧЭ, м; υ – коэффициент Пуассона, m – масса подвижной системы, кг; l – длина подвижной системы, м.

Результаты расчета приведены на рис. 3.

Анализ полученных зависимостей показал следующее. Только при использовании стекол из искусственного сапфира для изготовления чувствительного элемента ИП возможно достижение высоких собственных частот при сохранении общепринятого размерного ряда. Минимальный размер ЧЭ в диапазоне 0,014 … 0,015 м, при котором достигается необходимый уровень собственной частоты, свидетельствует о невозможности реализации наиболее целесообразного одномодового режима работы преобразователя.

В тоже время, результаты моделирования параметров ЧЭ при воздействии сдвиговых деформаций показывают, что, в соответствии с теорией упругости, показатель преломления наибольшего значения достигает у внешней границы световода.

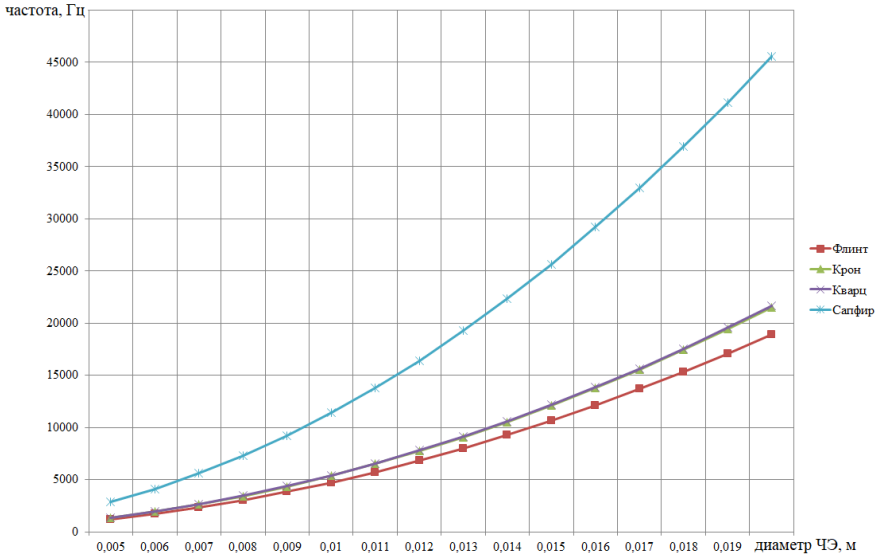


Рисунок 3 – Зависимость собственной частоты механической системы ВОА от типа материала чувствительного упругого элемента

В области сердцевины приращения значения показателя преломления пренебрежимо малы.

Предложено, для расширения одномодового режима ИП, использовать измерительный световод с депрессированной сердцевиной. Такая структура может быть аппроксимирована двумя коаксиальными трубчатыми световодами.

Понижение показателя преломления сердцевины позволяет уменьшить количество распространяющихся симметричных волн с четырех (для световода со ступенчатым профилем, рис. 5, а) до двух (профиль световода соответствует рис. 5, б). Дальнейшее уменьшение показателя преломления сердцевины (рис. 5, в) и переход к волокну с воздушным капилляром в сердцевине (рис. 5, г) не изменяет картину качественно.

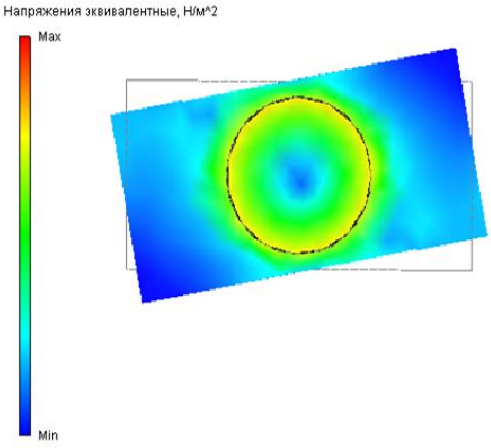


Рисунок 4 – Визуализация изменения показателя преломления материала ЧЭ под воздействием сдвиговых деформаций

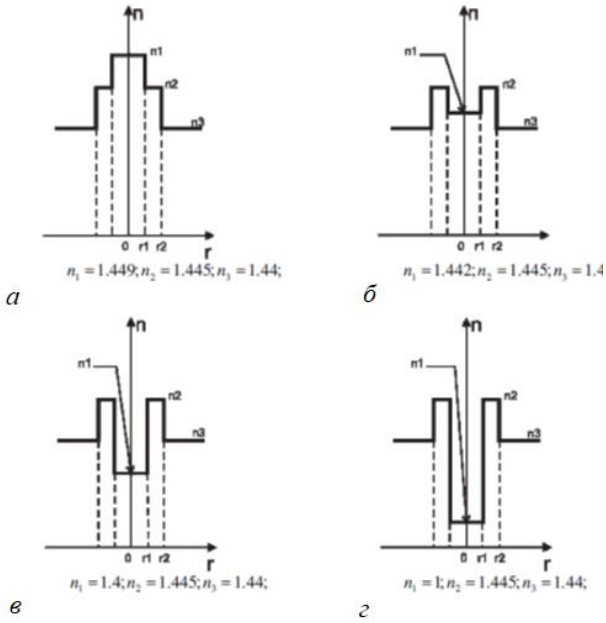


Рисунок 5 – Профили показателя преломления световода с депрессированной сердцевиной

В случае профиля ПП (рис. 5, в-г), на критических частотах происходит вытекание волн оболочки во внешнюю область, так как нарушается условие полного внутреннего отражения на второй границе ("оболочка - окружающая среда"). Вытекание во внешнюю среду начинается раньше, чем во внутреннюю область.

В случае, когда профиль ОВ соответствует рис. 5, б, условие полного внутреннего отражения на границе "сердцевина – оболочка" нарушается раньше, чем на границе "оболочка - окружающая среда". В итоге начинается "втекание" волн в сердцевину световода [19].

Выводы.

Использование световода такого типа позволит оптимально сочетать прочностные, частотные и оптические характеристики для обеспечения работы ВОА. Немаловажно, что для изготовления коаксиальных световодов возможно использование широко применяемой MCDV-технологии и того же оборудования, что и для традиционных связанных световодов.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

ЛИТЕРАТУРА

1. Бусурин, В.И., Носов Ю.Р. Волоконно-оптические датчики: физические основы, вопросы расчета и применения. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.

2. Сандлер, А.К., Логишев, И.В., Сандлер, А.А. Инвариантный волоконный акселерометр. //Енергетика судна: експлуатація та ремонт: матеріали науково-технічної конференції – Одеса: ОНМА. – 2011. – С. 277 -279.

3. Сандлер, А.К., Сандлер, О.А. Інваріантний волоконний акселерометр: Деклараційний патент України № 62437, МПК (2011) G01M 11/00. – заявл. 02.02.2011. // Опубл. 26.10.2011, бюл. № 18.

4. Сандлер, А.К. Волоконно-оптический акселерометр для диагностирования судовых газовых турбин. //Автоматика-2012: XIX Міжнародна конференція з автоматичного управління, 26-28 вересня 2012 р.: матеріали конференції – К.: НУХТ. – 2012. – С. 336.

5. Сандлер, А.К., Логишев, И.В. Контроль положения валов судовых механизмов волоконно-оптическими устройствами. // Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт: матеріали науково-технічної конференції – Одеса: ОНМА. – 2013. – С. 110 - 113.

6. Сандлер, А.К., Логишев, И.В. Разработка волоконного акселерометра для контроля высокочастотной вибрации судовых механизмов. // Річковий та морський флот: експлуатація та ремонт: матеріали науково-технічної конференції – Одеса: НУ "ОМА". – Т.2. – 2017. – С. 14 - 17.

7. Сандлер, А.К. Інформаційно-вимірювальні пристрої на основі волоконно-оптичних технологій. - Одесса: Издатинформ НУ "ОМА", 2018. – 165 с.

8. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – М.: Издательство стандартов, 1979. – 18 с.

9. ГОСТ 25865-83. Средства измерения вибрации с пьезоэлектрическими измерительными преобразователями. Основные параметры и технические требования. М.: Издательство стандартов, 1983. – 17 с.

10. Моек, Е., Штрикерт, Х. Техническая диагностика судовых машин и механизмов. – Л.: Судостроение, 1986. – 232 с.

11. Левшина, Е.С., Новицкий, П.В. Электрические измерения физических величин. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 315 с.

12. Кравчук, А.С., Кравчук, А.И., Тарасюк, И.А. Уравнения крутильных колебаний круглого продольно волокнистого, поперечно слоистого и структурно неоднородного композиционного стержня. //Вестник ВГУ. Серия: Физика. Математика – 2015. - № 4. – С. 147- 159.

13. ГОСТ 23136-93. Материалы оптические. Параметры. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, 1993. – 22 с.

14. ГОСТ 3514-94. Стекло оптическое бесцветное. Технические условия. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, 1994. – 36 с.

15. ГОСТ 13659-78. Стекло оптическое бесцветное. Физико-химические характеристики. Основные параметры. – М.: Издательство стандартов 1978. – 27 с.

16. Алексеенко, Б.А. Системы измерения напряженности электромагнитного поля в объеме камеры СВЧ. // Високі технології в машинобудуванні. – 2017. № 1(27). – С. 10 – 24.

17. Huili Tang, Hongjun Li and Jun Xu. Growth and Development of Sapphire Crystal for LED Applications. Режим доступу: https://www.intechopen.com/ books/ advanced - topics-on-crystal-growth/growth-and-development-of-sapphire-crystal-for-led-applications.

18. Мендез, А. Морзе, Т. Справочник по специализированным оптическим волокнам. – М: Техносфера, 2012. – 728 с.

19. Редкий, А.К. Поперечно-неоднородные и продольно-нерегулярные открытые диэлектрические волноводы: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.07. – Нижний Новгород, 2007. – 141 с.

УДК 629.12

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМ СУДНОВОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НАПРУГИ З ІМПУЛЬСНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ

О. В. Кочетков, к.т.н., доцент
Одеський національний морський університет

***Анотація**: Запропоновані методики моделювання електричних і енергетичних процесів дозволяють враховувати вплив параметрів елементів схеми, їх відхилення на характер залежностей і отримати результати у вигляді кількісних оцінок, графіків, таблиць електричних і енергетичних процесів імпульсних перетворювачів, що забезпечують задану якість вихідної напруги енергосистем суднового електричного обладнання.*

***Ключові слова**: перетворювачі напруги, електричне обладнання, електричні і енергетичні процеси, електропривод суднових електроустановок, якість електроенергії, технологічні електроприводи.*

INCREASING THE EFFICIENCY OF POWER SYSTEMS OF MARINE ELECTRICAL EQUIPMENT USING PULSE CONTROLLED VOLTAGE

O. Kochetkov, Ph.D., Associate Professor
Odessa National Maritime University

***Abstract:** The proposed methods of modeling electrical and energy processes allow to take into account the influence of the parameters of the circuit elements, their deviation from the nature of the dependencies and to obtain the results in the form of quantitative estimates, graphs, tables of electrical and energy processes of pulse converters that provide the specified quality of the output voltage of power systems of marine electrical equipment.*

***Keywords:** voltage converters, electrical equipment, electrical and power processes, electric drive of ship electrical installations, quality of electric power, technological electric drives.*

Проблема забезпечення якості електроенергії та енергетичної ефективності в автономних електроенергетичних системах сучасних морських суден і бурових платформ є вельми актуальною у зв’язку із застосуванням потужних імпульсних перетворювачів напруги у складі електричного обладнання і різноманітних технологічних електроприводів. Зниження якості електроенергії в таких автономних електроенергетичних системах може привести до таких наслідків, як передчасний вихід з ладу елементів електроустаткування і відмови в роботі систем автоматики, зв’язку, радіонавігації.

Імпульсні перетворювачі постійної напруги, розглянуті в [1-9] дозволяють перетворювати електричну енергію в широкому діапазоні потужностей. Однак, на практиці, при побудові перетворювачів потужністю більш 100 Вт, виникає ряд труднощів, основними з яких є:

- значні пульсації струмів у вхідних і вихідних ланцюгах, що приводить до необхідності використання складних і дорогих вхідних і вихідних згладжуючих фільтрів;

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

- зменшення ККД перетворювача, оскільки потужні комутуючі елементи, як правило, мають гірші характеристики (наприклад, час перемикання), у порівнянні з малопотужними;

- збільшення вартості перетворювача за рахунок використання потужних комутуючих елементів, складних згладжуючих фільтрів, необхідності примусового відведення тепла й т. і.

Одним зі способів поліпшення техніко-економічних показників потужних перетворювачів постійної напруги, є використання модульного принципу побудови.

Імпульсні перетворювачі постійної напруги (ППН) модульної структури реалізуються шляхом об'єднання декількох однакових взаємозамінних модулів – силових каналів ($СК_1$,…$СК_k$,…$СК_N$) [1]. Силові канали (СК) перетворять електричну енергію джерела первинного електроживлення в електричну енергію з параметрами, необхідними для живлення навантаження. Схема управління (СУ) управляє процесом перетворення ППН. Для зменшення величини пульсацій струмів, що виникають у процесі перетворення, у вхідних і вихідних ланцюгах перетворювачів модульної структури, як правило, використовуються згладжуючі фільтри.

Перетворювач модульної структури, що містить N СК може працювати в однофазному й багатофазному режимі. Перетворювач, що працює в однофазному режимі називають однофазним імпульсним перетворювачем (ОІП). Перетворювач, що працює в багатофазному режимі називають багатофазним імпульсним перетворювачем (БІП) [1].

В ОІП всі електричні процеси в СК синхронні й синфазні, сумарний струм споживання і струм навантаження, за формою відповідають струму одного силового каналу, а по амплітуді в N раз більше.

У БІП електричні процеси в k-x силових каналах синхронні, але не синфазні. Електричні процеси в силових каналах БІП рівномірно зміщені друг відносно друга на інтервал часу $T_п = T/N$, де T – період перетворення.

Зсув електричних процесів приводить до зменшення величини пульсацій струмів на вході і виході БІП, порівняно з величиною пульсацій в ОІП і окремо взятому СК.

Таким чином, в кінці інтервалу накопичення струм дроселя, за рахунок комутації обмоток при незмінній величині магнітного потоку в осередді зазнає стрибкоподібної зміни на величину коефіцієнта трансформації дроселя n_{21}

$$n_{21} = W2/W1. \quad (1)$$

де $W1$, $W2$ - число витків, відповідно обмоток накопичення і повернення дроселя $L1$

У БІП також, частота пульсацій струмів, споживання й навантаження БІП збільшується в N раз, а їх рівень, у деяких випадках може бути й нульовим [1].

При цьому підсумовуванні в БІП виникає ефект фільтрації. Це відбувається за рахунок взаємної компенсації струмів при підсумовуванні в загальних ланцюгах споживання й навантаження.

Таким чином, у результаті підсумовування зміщених електричних процесів у вхідних і вихідних ланцюгах БІП величина пульсацій струму й напруги виявляються значно менше, а їх частота в *N* раз вище, чим в аналогічному випадку при ОІП. Отже, у БІП спрощуються вимоги до фільтрів, зменшуються їхні габарити, маса й вартість за інших рівних умов.

Донедавна єдиним доступним методом дослідження ППН було фізичне макетування. Фізичне макетування вимагає значних матеріальних і тимчасових витрат на створення макета. Воно також обмежене для дослідження режимів роботи, особливо при дослідженні критичних режимів роботи (наприклад, при перевантаженнях по струму або напрузі), які можуть привести до виходу з ладу силової частини перетворювача й схеми управління.

Бурхливий розвиток сучасної обчислювальної техніки дозволив на основі відомих математичних моделей, розглянутих у [1, 7] створити програмне забезпечення, що дозволяє проводити дослідження ППН із мінімальним використанням фізичного моделювання. Використання ЕОМ для дослідження ППН дозволяє значно знизити витрати часу й матеріальні витрати й дозволяє підвищити якість проектування.

У цей час у найбільше поширення одержали системи й програмні комплекси автоматизованого проектування в числі яких: Multisim (“National Instruments”), Proteus (“Labcent Electronics”), Ltspice (“Linear Technology”), HSPICE (“Metasoftware”); Pspice (“Microsim”); Microcap (“Spectrum Software”); Circuit Maker (“The Virtual Elektronics Lab”); MATLAB (“Mathwork”), Mathcad (“Mathsoft”), і інші. Дані САПР дозволяють проводити різні дослідження радіотехнічних пристроїв, у тому числі й ППН, виконувати аналіз часових діаграм, аналіз статичного й динамічного режимів роботи досліджуваної схеми, гармонійний аналіз і ін. [1, 3–7, 10].

Одними з найбільш зручних для дослідження й проектування перетворювачів постійної напруги, з погляду функціональних можливостей, є САПР Multisim і Micro-Cap [11]. Дані САПР має зручний графічний інтерфейс, дозволяють розраховувати й аналізувати електричні процеси в елементах досліджуваних пристроїв. При цьому результати моделювання, одержувані в САПР, базуються на розв'язку диференціальних рівнянь, що описують електричні процеси з високим наближенням до, що реально відбуваються.

Однак дані САПР мають наступні недоліки: при дослідженні силової частини перетворювача необхідно моделювати схему управління; труднощі сполучення САПР із іншими програмами; труднощі дослідження показників якості й енергетичних параметрів БІП у всьому діапазоні регулювання [10].

Зазначені недоліки приводять до значних витрат часу, на дослідження й проектування.

Використання для досліджень ППН спеціалізованого ПО, на базі технології динамічних бібліотек [11], що дозволяє подолати ряд обмежень, які виникають при використанні універсальних САПР. Даний програмний комплекс складається з « універсальної програми для досліджень» бібліотеки, що й динамічно

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

підключається (DLL), у якій перебуває математична модель. Бібліотека містить у собі мінімальну кількість технічного коду, більша частина якого генерується автоматично середовищем розробки. Це значно скорочує час, затрачуваний на створення DLL, і вимагає мінімум спеціальних знань в області програмування [11]. Слід зазначити, що час, затрачуваний на створення бібліотеки порівнянний згодом, затрачуваним на створення макета в універсальних обчислювальних програмах.

Висновки. Таким чином, використання універсальної програми для проведення досліджень [3] дозволяє проводити необхідний комплекс розрахунків, забезпечує максимальна зручність у роботі й вимагає мінімальних витрат часу на створення спеціалізованого програмного забезпечення й проведення досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кадацкий А.Ф. Электрические процессы импульсных преобразователей постоянного напряжения модульной структуры с силовыми каналами понижающего типа с граничным режимом функционирования / А.Ф. Кадацкий, А.В. Кочетков, О.В. Швец // Цифрові технології. – 2012. – № 11. – С. 136 – 148.

2. Кочетков А.В. Влияние режима работы силовых каналов понижающего типа на выходные пульсации многофазных импульсных преобразователей постоянного напряжения / А.В. Кочетков // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2011. – № 1. – С. 20 – 30.

3. Кочетков А.В. Методика расчета базовых параметров электрических процессов в импульсных преобразователях постоянного напряжения модульной структуры при граничном режиме функционирования / А.В. Кочетков // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2014. – №1. – С. 136 – 142.

4. Мельников Н.А. Матричный метод анализа электрических цепей / Н.А. Мельников. – М.: Энергия, 1972. – 232 с.

5. Шуваев Ю.Н. Многофазные импульсные стабилизаторы / Ю.Н. Шуваев, А.Г. Виленкин // ЭТвА. – 1977. – №9. – С. 70 – 83.

6. Пилинский В.В. Источники вторичного электропитания с бестрансформаторным входом для РЭА / В. В. Пилинский – К.: КПИ, 1985. – 213 с.

7. Кадацкий А.Ф. Электрические процессы в импульсных преобразователях постоянного напряжения / А.Ф. Кадацкий // Наукові праці УДАЗ ім. О.С. Попова. – 2001. – №2. – С. 48 – 53.

8. Хомоненко А. Delphi 7. Наиболее полное руководство / А. Хомоненко, В. Гофман, Е. Мещеряков, В. Никифоров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 616 с.

9. Andreev A., Kochetkov A., Kupratsevich A. Increasing of order astatism in amplifiers of D class with combined control // Proceeding of the VIII international conf. TCSET 2006. – Lviv -Slavko, 2006. – P. 534.

10. Харченко Р.Ю. Особенности анализа электрических процессов в импульсных преобразователях постоянного напряжения / Р.Ю. Харченко, А.В. Кочетков: труды VII международной НПК “Системы и средства передачи и обработки информации” (ССПОИ-2003), (2 – 7 сентября 2003 г.) – Одесса: ОНАС им. А. С. Попова, 2003. – С. 172.

11. Русу А.П. Использование динамически подключаемых библиотек для моделирования электрических процессов радиотехнических устройств. / А.П. Русу // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2010. – №1 – С. 143–147.

УДК 629.5.061.17+621.313

ДЕЯКІ АСПЕКТИ РОЗРАХУНКУ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПІДРУЛЮЮЧИХ ПРИСТРОЇВ МОРСЬКИХ СУДЕН

О. М. Рак, к.т.н., доцент
Донецький національний технічний університет
Базіль Шафік, к.т.н., професор
АЛ-Бааст університет, Хомс,Сирія
О. В. Глазєва, к.т.н., доцент
В. Б. Власов, ст. викладач
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: *Проведено аналіз існуючих методів розрахунку і вибору підрулюючих пристроїв. Запропоновано комбінований метод вибору потужності приводного двигуна підрулюючого пристрою з урахуванням теплових властивостей та режиму роботи, який забезпечує найбільшу відповідність розрахунків паспортним технічним характеристикам судна.*

Ключевые слова: *підрулюючий пристрій, асинхронний двигун, режим роботи, клас ізоляції.*

SOME ASPECTS CALCULATION AND OPERATION OF SHIPS BOW THRUSTERS

O. Rak, Ph.D., Associate Professor
Donetsk National Technical University
Basil Shafiq, Ph.D., Professor
AL BAATH University, Homs, Syria.
O. Glazeva, Ph.D., Associate Professor
V. Vlasov, Senior Lecturer
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *An analysis of the existing methods of calculation and selection of the bow thrusters were considered. A combined method of selecting the power of the bow thrusters drive motor with regard to the thermal properties and operating mode, which provides the highest compliance with the calculations of the passport technical characteristics of the vessel was analyzed.*

Keywords: *bow thrusters, induction motor, operating mode, insulation class.*

Одним з найпоширеніших засобів керування морськими і річковими суднами є підрулюючи пристрої (ПП). Їх використання обумовлено все зростаючою інтенсивністю руху суден у протоках, портах і річках, біля бурових платформ та інших морських об’єктів, з вимогами підвищення безпеки судноплавства, які постійно зростають.

Як правило, ПП на суднах вже встановлені, і тому екіпажі суден займаються лише їхньою технічною експлуатацією (ТЕ). Питання експлуатації щільно пов’язане з правильним вибором ПП. Але в цілому ряді випадків, наприклад при розв’язанні оптимізаційних завдань, у зв’язку з тим, що на ПП одного й того ж типорозміру можуть бути встановлені електродвигуни різної потужності, а також для правильної ТЕ необхідно володіти більшим обсягом знань та інформацією з даного питання.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Метою даної роботи є порівняння різних методів розрахунку і вибору підрулюючих пристроїв та розробка комбінованого методу, який забезпечує найбільшу відповідність розрахунків паспортним технічним характеристикам судна.

Перевірку різних методів розрахунку проведемо на базі основних технічних характеристик контейнеровозу «Mathilde Maersk» місткістю 16000 TEU [1].

В своїх дослідженнях будемо керуватись лише вітчизняною нормативно – технічною документацією. [2]

У відповідності до рекомендацій [3] потужність ПП транспортних суден (за винятком танкерів і поромів) при відсутності будь-яких даних можна визначити:

$$P_{ПП} = 40 \cdot Dwt^{0,8}, \quad (1)$$

де Dwt – дедвейт судна, тис.т.

З другої сторони потужність ПП можна визначити з урахуванням сили тяги F, яка утворюється ПП, і пропорційна площі судна вищої/нижчої за ватерлінію та упору. Упор, який утворюється ПП для різних типів суден наведено в [4]:

$$P_{ПП} = \frac{F}{f_{ПИТ}} = \frac{S \cdot T}{f_{ПИТ}}, \quad (2)$$

де S – площа підводної/надводної частини судна, м^2;

T – упор, Н/м^2 (таблиця 2);

$f_{пит}$ = 140-170 – питома тяга, Н/кВт.

Користуючись таблицями тягово-потужносних характеристик (ТПХ) ПП провідних закордонних фірм-виробників Rolls-Royce (Великобританія), Wärtsilä Lips (Фінляндія) обираємо тип, діаметр гвинта і потужність його двигуна. Для зручності користування і аналізу результатів, отриманих у відповідності до (1) и (2) виконаємо апроксимацію ТПХ ПП і залежності діаметра гвинта D від потужності його приводу.

ТПХ ПП, подані на рис.1, апроксимуються залежністю:

$$P(T) = 0{,}4228 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 + 7{,}137T - 32{,}661,$$

Залежність діаметра гвинта від потужності двигуна (рис.2), подана у вигляді:

$$D = 0{,}1636 \cdot P^{0{,}3656},$$

де P – потужність електродвигуна, кВт.

При заданих дедвейті (116 тис.т.), осадці (15 м.), довжині та ширині (415 м., 45 м.) судна, отримано значення потужності електродвигуна ПП: для залежності (1) - P=1700кВт, а для (2) – P=2100кВт. Ці дані відповідають тривалому режиму роботи електропривода ПП (S1).

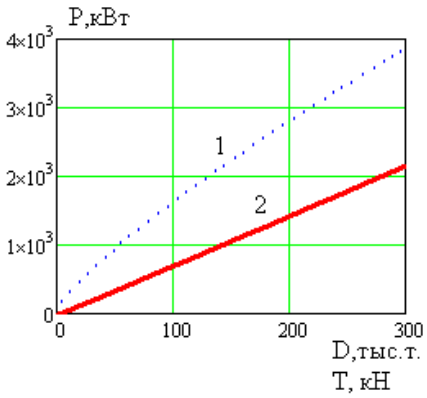


Рисунок 1 – Залежності $P=f(D)$ (1); $P=f(T)$ (2)

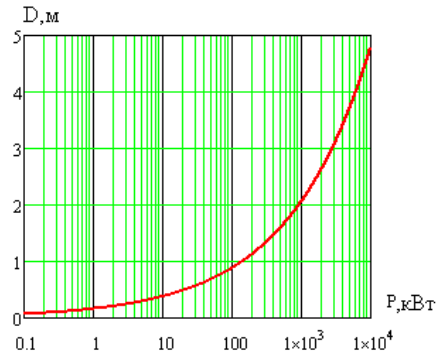


Рисунок 2 – Залежність діаметра гвинта ПП від потужності електродвигуна

Для порівняння наведемо технічні характеристики ПП і приводного асинхронного двигуна (АД), які використані на судні «Mathilde Maersk». Так ПП типу TT 2650 AUX CP* виробник (Rolls-Royce/ Kamewa) з потужністю приводного двигуна 2200 кВт, та приводний АД типу AMB 560L8A VAMH виробник ABB.

Для вибору будь-якої з методики розрахунку потужності ПП, врахуємо питання технічної експлуатації (ТЕ) ПП, особливості якої пов'язані з принципом дії ПП та згідно з п. 16.2.10 ПТЕ [2] повинна виконуватись у відповідності до вказівок заводу-виробника або судновласника.

Для уточнення потужності ПП необхідно враховувати його режим роботи з точки зору нагріву.

Режим роботи АД ПП у відповідності до п.16.2.10 можна класифікувати як короткочасний режим (S2), тоді потужність приводного двигуна, яка отримана для тривалого режиму роботи (S1) необхідно звести до потужності короткочасного режиму (S2):

$$P_{S2} = P_{S1} \cdot \sqrt{\frac{1}{1-e^{\frac{-t}{T_H}}}}, \qquad (3)$$

де $T_н$ – постійна часу нагрівання двигуна, хв.

Постійна часу нагрівання АД при роботі з номінальним струмом визначається у відповідності:

$$T_H = \frac{200 \cdot \Delta\theta}{J^2}, \qquad (4)$$

де $\Delta\theta$ – допустиме перевищення температури для даного класу ізоляції, °С;

J – щільність струму в обмотці при вимірюванні, А/мм^2.

В нашому випадку $\Delta\theta$=80 °С, а величина $\Delta\theta/\Delta t$ становитиме 0,091К/с, що знаходиться в межах норми.

Таким чином, потужність АД, яка отримана згідно з (1) при перерахунку у відповідності до (3) складе 1743,64кВт, а потужність, отримана у відповідності до (2) - 2153кВт, що практично збігається із значенням, поданим в [1] (Р =2200

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

кВт), тобто методика, запропонована нами (співвідношення (2)) дає більше реальні результати.

Також для конкретного двигуна постійна часу ($T_н$) може бути визначена за даними теплових досліджень (рис.3). В цьому випадку $T_н$ можна отримати наступним чином:

$$T_H = \frac{C}{A} = \frac{C \cdot \Delta\theta_{ДОП}}{\Delta P_{TH}}, \qquad (5)$$

де C – теплоємність двигуна (кількість теплоти яка необхідна для підвищення температури на 1°С), Дж/(кг·°С); $\Delta\theta$ – допустиме перевищення температури для даного класу ізоляції, °С; ΔP_{TH} – номінальні теплові втрати двигуна, Вт.

Порівняємо розрахунки, отримані за допомогою співвідношень (4) та (5). При роботі АД в режимі S1 з постійною часу отриманою за (4) ($T_н$=10хв.) допустимої температури для даного класу ізоляції можна досягти через 40хв. Для постійної часу, отриманої за (5) ($T_н$=20хв.) – 80хв. При роботі АД в режимі S2 протягом 30хв. ($T_н$=10хв. і $T_н$=20хв) його температура не досягає встановленого перевищення 120°С. Після цього АД переходить в режим охолодження, тривалість якого складає 70хв. Запас по температурі при нагріванні для $T_н$=10хв. складає 5°С, а для $T_н$=20хв. – 20°С.

Для значень постійних нагрівання, отриманих за (4) та (5) на рис.4 побудовані криві нагрівання для режиму S1 (1) і (2), та криві нагрівання і охолодження для режиму S2 (3) і (4).

Таким чином, використання формули (5) для розрахунку постійної часу двигуна надає ще більшу збіжність потужності $P_{ПП}$, яка отримана за допомогою формули (2), з наведеною в [1]. Це підтверджує доцільність використання даної методики для правильного вибору потужності приводного двигуна ПП.

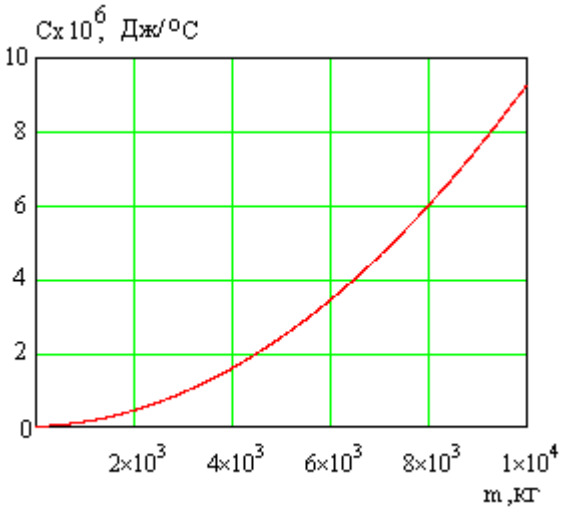


Рисунок 3 – Залежність теплоємності АД від його маси

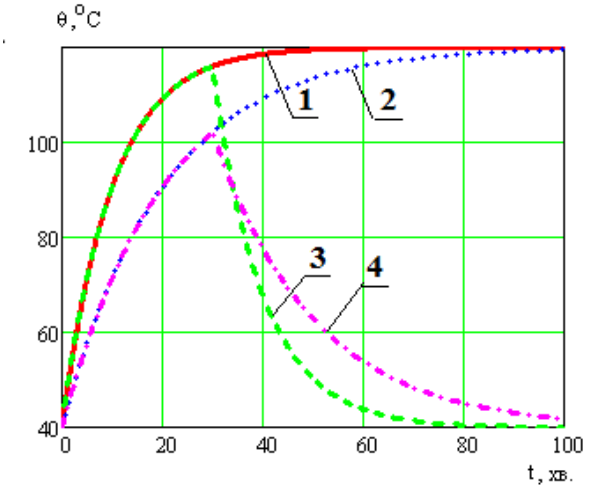


Рисунок 4 – Криві нагрівання АД в режимі S1 з $T_н$=10хв. (1), $T_н$=20хв. (2). Криві нагрівання і охолодження АД в режимі S2 з $T_н$=10хв. (3), $T_н$=20хв. (4)

Висновки.

1. Потужність ПП, отримана з використанням рекомендацій [4] дає найкращу збіжність з даними поданими в [1].

2. Вибір і перевірку двигуна необхідно здійснювати з урахуванням режиму роботи та рекомендацій ГОСТ183-74 та ГОСТ 11828-86.

3. Різні методики розрахунку постійних нагрівання двигуна дають розбіжність їх параметрів, водночас підтверджують необхідність обов'язкового урахування теплових характеристик конкретного АД при виборі його потужності.

ЛІТЕРАТУРА

1. 'M' class container ship. Operating manual lindø newbuilding L. 216. m/s "MATHILDE MAERSK". Электронный ресурс.

2. Правила технической эксплуатации морских и речных судов КНД 31.2.002.07-96. Электрооборудование. Министерство транспорта Украины, Государственный департамент морского и речного транспорта, Нормативный документ морского транспорта Украины.

3. Технико-эксплуатационные требования по оптимальной комплектации электростанций морских транспортных судов РД 31.03.41-90: - Центральный ордена трудового красного знамени научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота – Ленинград, 1990.

4. www.fincantieri.com/globalassets/prodotti-servizi/sistemi-e-componenti/sistemi-e-componenti navali/transverse-tunnel-thrusters_mp-05-14.pdf

5. ГОСТ 183-74. Межгосударственный стандарт. Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия. Москва. ИПК издательство стандартов.

6. Мартиросов Г.Г., Харченко Д.С. О применении подруливающих устройств на судах: Научно-технический и производственный журнал «Судостроение» №4, (803) – Санкт-Петербург, ОАО «Центр технологии судостроения и судоремонта», 2012 С.52-54.

7. Григорьев А.К. Судовые подруливающие устройства нового поколения: Научно-технический и производственный журнал «Судостроение» №3, (802) – Санкт-Петербург, ОАО «Центр технологии судостроения и судоремонта», 2012 С.52-55.

УДК 629.5.065.23-048.35

МОДЕРНИЗАЦИЯ ГРУЗОВОГО КРАНА НА БАЛКЕРЕ ДЕДВЕЙТОМ 61000 ТОН

В. В. Бушер, д.т.н., професор
А. С. Лозгачов, курсант
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Поставлена задача модернізації вантажного електрогідравлічного крана, яка полягає в заміні встановленого, електрогідравлічного привода на частотно-регульований електропривод з системою керування на базі PLC. Приведено аргументи доцільності поставленої задачі, які базуються на основних недоліках гідравлічних систем.*

Ключові слова: *модернізація, гідравлічний привод, суднові вантажні крани, частотно-регульований електропривод.*

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

MODERNIZATION OF A 61000 DWT BULK CARRIER'S CARGO CRANE

V. Busher, Dr. of Science, Professor
A. Lozgachev, Master Student
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. *The objective is to make modernization of ship's hydraulic cargo crane, which is to change the hydraulic drives, already established, on electric motor based on VFD and PLC. Arguments and advantages of objective's usefulness were given.*

Keywords: *modernization, hydraulics, ship's cargo cranes, variable-frequency electric motor.*

Краткая характеристика судна

Балкер LA TONDA спроектирован и построен японской судостроительной компанией IMABARI SHIPBUILDING и соответствует требованиям японского регистра NIPON KYOKAY (CLASS NK). Судно имеет следующий размерности: длину 199 м, ширину 32 м, высоту 18,6 м, дедвейт 61 241 тон, что относит его к классу ULTRAMAX. На балкере установлен главный двигатель MITSUI – MAN B&W 6S50ME мощностью 7980 кВт. Электростанция состоит из трех дизель-генераторов мощностью 550 кВт каждый. Погрузка/разгрузка может осуществляется с помощью 4 стационарных поворотных электро-гидравлических кранов MITSUBISHI грузоподъемностью 30,5 тонн с гаком и 24 тонны с грейфером.

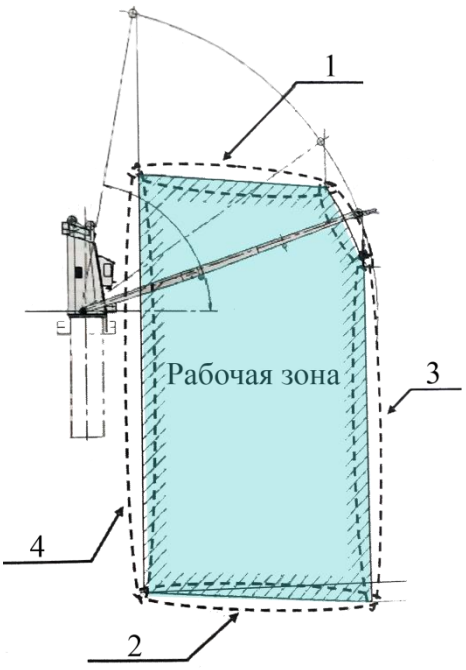


Рисунок 1 – Рабочая зона крана, лимитированная ограничителями: 1,2 – верхняя и нижняя граница подъема/опускания; 3,4 – максимальный и минимальный уровень вылета стрелы.

Описание функций крана, требования

Основными функциями крана являются погрузка/разгрузка груза с судна в портах, где эти операции невозможно или экономически нецелесообразно выполнить портовыми грузовыми средствами.

Японский регистр [1] предъявляет следующий требования к грузовым судовым кранам. Каждый механизм грузоподъемного устройства должен быть снабжен автоматически срабатывающим тормозом в случае возвращения рычага управления в нейтральное положение или при срабатывании любого аварийного отключения привода или имеет место перерыв в подаче энергии. Конструкция гидравлической системы должна предотвращать рост давления сверх допустимого. Барабаны должны иметь такую длину, чтобы по возможности обеспечивалось однослойная навивка троса, не должна допускаться навивка троса более чем в три слоя.

Судовые краны должны быть оборудованы следующими ограничителями (автоматически действующими выключателями): ограничитель подъема, ограничитель опускания, ограничитель минимального и максимального вылета стрелы, ограничитель поворота на кранах с ограниченной дугой поворота (рис.1). Работа крана допускается при крене 5° и дифференте 2°.

Для кранов [2, 3], установленных на балкере LA TONDA (рис. 2), источниками энергии являются электромоторы. Мощность одного такого двигателя составляет (S1/S6 15%) 105/240 кВт ED 15%, AC 440В, 60 Гц. Пока рычаги управления крана находятся не в нейтральном положении, он вращается непрерывно с постоянной скоростью и приводит во вращение гидронасосы (Triple vane pump), которые через золотниковые распределители подают энергию на механизмы (гидромоторы) подъема, поворота, изменения вылета стрелы. Релейно-контакторная схема управления обеспечивает пуск электродвигателя по схеме «звезда-треугольник», обеспечивает работу крана в лимитированной рабочей зоне, управляет работой воздушного масляного холодильника.

Проблема.

Большая часть современных судов оснащены кранами с электрогидравлическим приводом в первую очередь из-за того, что они дешевле кранов с электрическим приводом. Однако гидравлический привод не лишен недостатков [4, 5], таких как: утечки рабочей жидкости, зависимость вязкости рабочей жидкости от температуры окружающей среды, что в свою очередь требует специальных охладителей или подогревателей, так как вязкость и температура рабочей жидкости влияют на скорость грузовых операций. Также требуется поддержание чистоты рабочей жидкости во время работы крана [6].

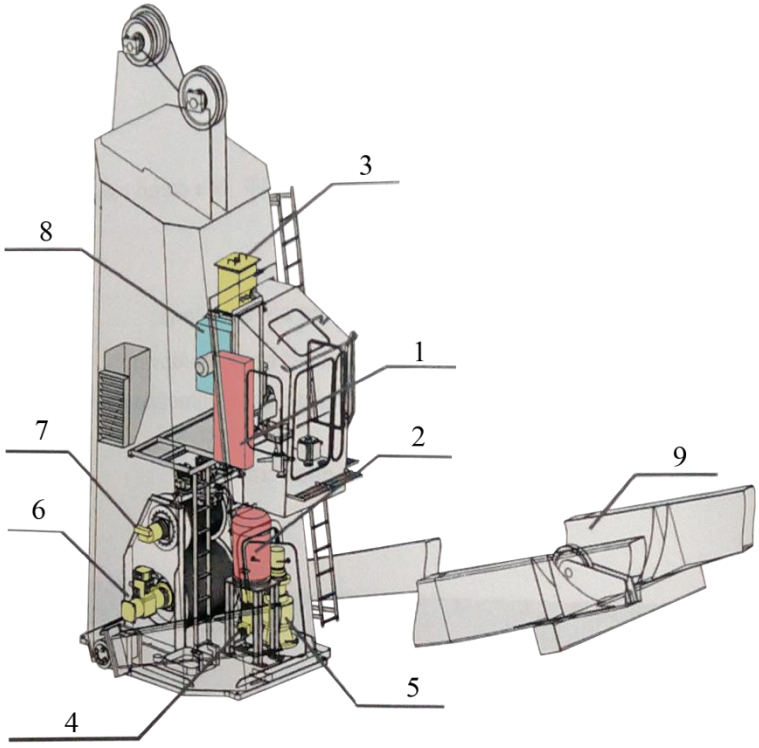


Рисунок 2 – Судовой кран: 1 – щит управления; 2 – электродвигатель; 3 – гидравлический бак; 4 – гидравлический насос; механизмы: 5 – поворота; 6 – подъема; 7 – изменения вылета стрелы; 8 – масляный холодильник; 9 – стрела.

Грузовые краны с электроприводом лишены этих недостатков и обладают следующими преимуществами: обеспечение стабильной скорости работы, высокая точность работы, точное позиционирование и плавное регулирование, требуют минимального технического обслуживания, стабильная работа при относительно высоких и низких температурах +/- 50°С, более высокий КПД по сравнению с гидравлическим приводом [7].

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Цель работы

Целью работы является разработка предложения относительно модернизации грузовых кранов на балкере LA TONDA. Замена существующего электрогидравлического привода на частотно регулируемый электропривод с системой управления на базе PLC, а также объединение системы управления грейфера и крана в одну общую систему.

Ожидаемые результаты

Повышение автономности грузовой системы судна, так как внедрение электропривода позволит автономно загружать/разгружать груз в более холодных и жарких климатических условиях без потери скорости грузовых операций. Обеспечение возможности для оператора подстраивать скорости выгрузки/погрузки удобными для себя. Увеличение скорости реагирования оператора на происходящие процессы во время грузовых операций, что понизит аварийность. Также благодаря установке PLC и FC может быть обеспечено снижение амплитуды раскачивания груза за счет применения специальных методов управления скоростями механизмов, что недостижимо в электрогидравлических системах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Nippon Kaiji Kyokai (‘ClassNK’) 2018. Rules for cargo handling appliances.
2. Mitsubishi heavy industries mechatronics system, LTD. Deck Crane. Operating and Maintenance Manual. Oct.01.2015.
3. IWAGI ZOSEN CO.LTD. SNo. Z375. Manufacturing specification of hydraulic deck crane. Specification No. D40QYN1SP0.
4. Japan P&I Club. Vol. 36 October 2015. P&I Loss Prevention Bulletin. Cranes, their operation and reasons for failures.
5. Декин Б.Г., Горин А.А., Скоморохов В.И. Эксплуатация судовых гидравлических кранов: руководство по обслуживанию, ранжированию отказов и их устранению. – Одесса: Латстар, 2002.-80с.
6. Миронов В.В., Корж А.К. Кран палубный: Учебное пособие. – Херсон: Айлант, 2005.-152с.
7. Матеріали науково-методичної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.12.2018 – 06.12.2018. – Одеса: НУ «ОМА», 2019. – 226 с.

УДК 681.513.6, 621.51

АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ СУДНОВИМИ КОМПРЕСОРНИМИ УСТАНОВКАМИ

І. П. Завальнюк, к.т.н., доцент
Р. В. Гринько, курсант
Херсонська державна морська академія

Анотація: *у статті наведено основні вимоги до автоматизації повітряних компресорних установок. Акцентовано увагу на експлуатацію компресорів в умовах дії зовнішніх недетермінованих збурювань. Обґрунтовано використання адаптивного керування з метою реалізації процесу зміни параметрів керуючих дій на основі поточної робочої інформації та забезпечення енергоефективності компресорної установки. Розглянуто сучасну адаптивну систему керування SIGMA AIR MANAGER 4.0 компанії KAESER KOMPRESSOREN.*

***Ключові слова**: компресорна установка, контрольовані параметри, адаптивне керування, коливання тиску, продуктивність, енергоефективність.*

ADAPTIVE CONTROL SHIP COMPRESSORS

I. P. Zavalniuk, Ph.D., Associate Professor
R. V. Grinko, cadet
Kherson State Maritime Academy

***Abstract:** the article describes the basic requirements for the automation of air compressors. Emphasis is placed on the operation of compressors in the conditions of external undetermined perturbations. The use of adaptive control is justified in order to implement the process of changing control parameters based on current operational information and ensuring the energy efficiency of the compressor plant. The modern adaptive control system SIGMA AIR MANAGER 4.0 by KAESER KOMPRESSOREN is considered.*

***Key-words:** compressors, controlled parameters, adaptive control, pressure fluctuations, productivity, energy efficiency.*

Суднові повітряні компресорні установки забезпечують стислим повітрям різного тиску та витрати споживачів суднових енергетичних установок і в цілому судна. Стисле повітря необхідне для функціонування головних двигунів, дизель-генераторів, аварійного дизель-генератора, системи дистанційного автоматичного управління головного двигуна, для управління завданням гвинта регульованого шагу, для продувки масляних фільтрів головного двигуна та кінгстонів, для пускових балонів піногенераторів протипожежної системи, для функціонування системи інертних газів танкерів, тощо.

На суднах світового флоту використовуються компресори різних конструктивних особливостей і характеристик, а саме, поршневі, гвинтові, відцентрові, осьові; з приводами від електродвигуна, дизельного двигуна, від головного двигуна.

Головними вимогами до автоматизації повітряних компресорних установок є [1]:

1) наявність пристроїв для автоматичного видалення (продувки) води і масла;

2) наявність ручного, дистанційного і автоматичного режимів роботи. Причому в автоматичному режимі у повітрозберігачах має підтримуватися номінальний тиск стисненого повітря таким чином, щоб:

а) при зниженні тиску повітря до попередньо встановленого значення, наприклад, 90%, відбувався автоматичний пуск заздалегідь обраного компресора і його автоматичне відключення після досягнення тиску повітря, рівного номінальному;

б) у разі інтенсивної витрати і подальшого зниження тиску повітря, наприклад, до 80%, відбувався автоматичний пуск другого компресора, що знаходиться в автоматичному режимі, і обидва компресора продовжували б працювати до досягнення номінального тиску.

Контрольованими параметрами автоматизованих компресорних установок мають бути: 1) тиск мастила на вході в компресор, 2) потік охолоджувального

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

середовища на виході з компресора, 3) температура повітря за охолоджувачем, 4) тиск стисненого повітря на виході повітряного балона, 5) тиск повітря систем керування. Автоматичний захист повинен спрацьовувати при досягненні першим та другим параметром нижнього граничного значення.

Основне завдання регулювання режиму роботи компресорних агрегатів полягає в підтримці постійного заданого тиску стисненого повітря в пневмомережі шляхом зміни продуктивності компресорів відповідно до споживання стисненого повітря. Взагалі це може бути здійснено впливом на комунікації, компресор або його привід такими способами, як регулювання перепуском з нагнітання на всмоктування, регулювання дроселюванням на всмоктуванні, регулювання віджиманням всмоктувальних клапанів, регулювання продуктивності за допомогою підключення до циліндра додаткової ємності (мертвого простору), регулювання продуктивності компресорів впливом на їх привід. Причому останній спосіб є перспективним та найрозповсюдженішим [2].

Усі перелічені способи регулювання будуються, як правило, на базі інтегральних регуляторів [3, 4, 5]. Компресорні установки, як і інші суднові системи, схильні до впливу зовнішніх недетермінованих збурювальних дій та функціонують у змінюваних умовах. Тому, з точки зору теорії автоматичного керування, установки можна розглядати, як об’єкти зі змінними невизначеними параметрами. Крім того, для забезпечення сучасних жорстоких вимог до енергоефективності компресорних установок необхідно використання такого алгоритму регулювання, який би корелював продуктивність установки, споживання електроенергії та поточне споживання стислого повітря. Цим вимогам задовольняє адаптивне керування (рис. 1), використання якого дозволяє реалізовувати процес зміни параметрів керуючих дій на основі поточної робочої інформації, отримуваної під час керування [6, 7, 8].

Яскравим прикладом ефективного використання адаптивного керування компресорними установками є система SIGMA AIR MANAGER 4.0, розроблена компанією KAESER KOMPRESSOREN [9]. Дана система регулює функціонування подавальних повітряних гвинтових компресорів DSD 281 з водяним охолодженням, що є одними з основних компонентів системи інертних газів HPMB-6518(GENERON ® IGS) танкеру-хімовозу «GULF HUWAYLAT».

Адаптивне 3-D^{advanced} регулювання системи SIGMA AIR MANAGER 4.0 забезпечує мінімальне відхилення рівня тиску. Це регулювання засноване на трьох складових, які зумовлюють енергоефективне керування компресорною станцією:

1) мінімізація втрат при перемиканні навантаження/холостий хід і пов'язані з пуском/зупинкою компресора;

2) зниження втрат при регулюванні (холостий хід і втрати частотного перетворювача),

3) зменшення перевитрати енергії, викликаної плаваючим рівнем тиску, а також при збільшенні тиску вище заданого.

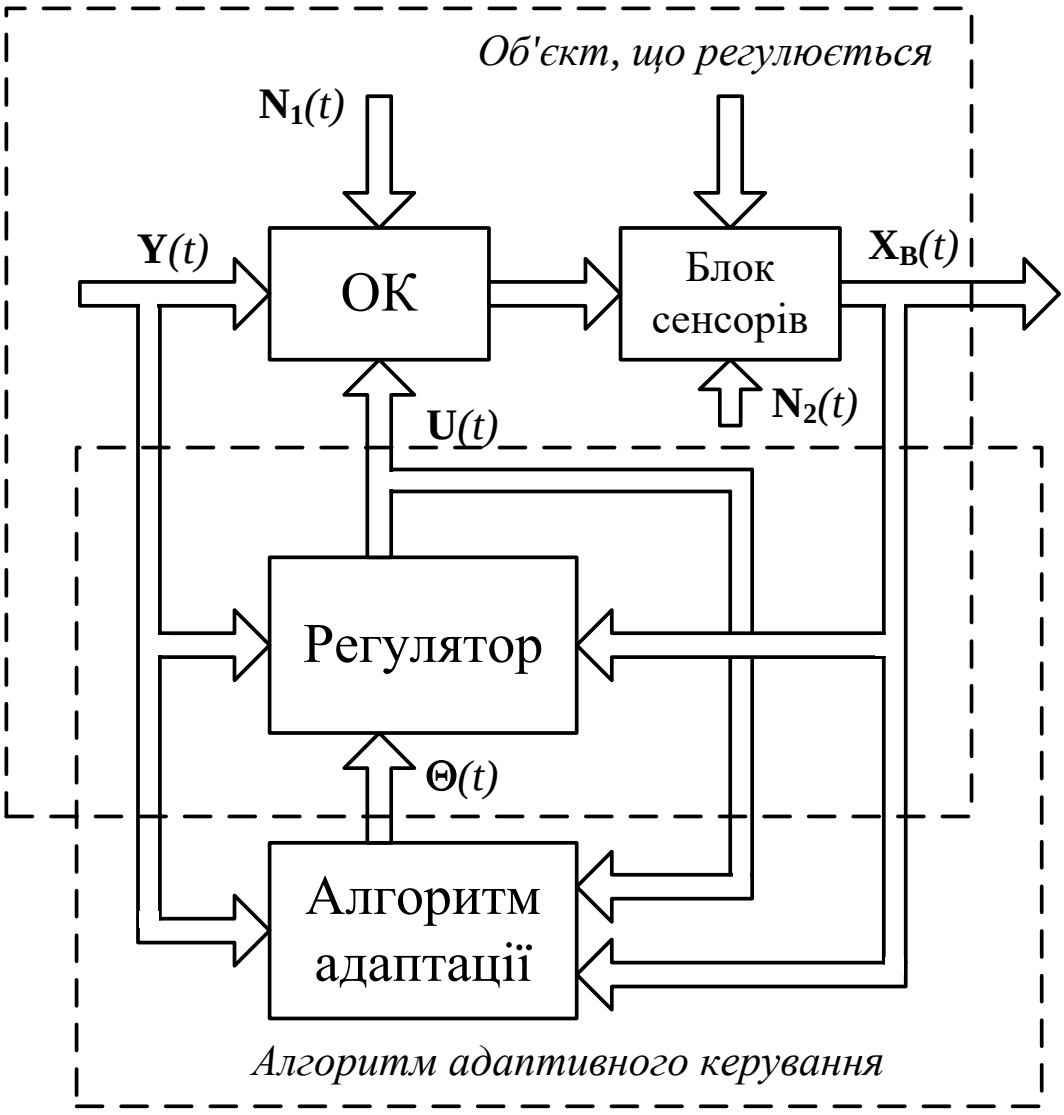


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема адаптивної системи керування:
Y(t) – вимірюванні задавальні дії; N(t) – невимірюванні збурювальні дії; U(t) – керувальні дії; $X_B(t)$ – вихідні змінні обєкта, які доступні для спостерігання; Θ(t) – параметри адаптивного регулятора, що налаштовуються.

Інноваційне регулювання завдяки своєчасним перемиканням підтримує необхідний тиск на потрібному рівні і керує компонентами компресорної установки. Визначальним фактором при цьому залишається необхідний тиск споживача.

Основними перевагами SIGMA AIR MANAGER 4.0, завдяки яким підвищуються експлуатаційна надійність, ефективність і мінімізуються енерговитрати є:

1) оптимізація стійкості рівня тиску;

2) автоматична адаптація продуктивності компресорної станції при змінюваному споживанні стисненого повітря;

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

3) контроль енергоефективності за допомогою зниження втрат при регулюванні або перемиканні і зменшення перевитрати енергії при збільшенні тиску вище заданого,

4) моніторинг компресорної станції;

5) своєчасна сигналізація про проведення сервісних робіт.

Висновки. З метою виконання вимог та рекомендацій Міжнародної асоціації класифікаційних товариств і відповідних резолюцій Міжнародної морської організації будь-які технічні суднові установки повинні бути обладнані автоматизованими системами керування. З урахуванням експлуатації в змінюваних умовах та для забезпечення енергоефективності компресорних установок, регулювання їх продуктивності, споживання електроенергії та поточного споживання стислого повітря доцільно використання адаптивної системи керування. Інноваційна система з адаптивним 3-D^{advanced} регулюванням SIGMA AIR MANAGER 4.0 в повній мірі відповідає встановленим вимогам та забезпечує безперервний аналіз співвідношення різних параметрів компресорів, які впливають на ефективність функціонування установки, з випередженням проводить необхідні розрахунки, визначаючи оптимальну з наявних можливостей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила классификации и постройки морских судов: [гл. ред. М.Р. Маркушина]. – Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2018. – Часть XV «Автоматизация». – 2018. – 50 с.

2. Корнилов Э.В. Приборы и аппаратура контроля автоматических систем судовых энергетических установок / Э.В. Корнилов, П.В. Бойко – Одесса, ЭкспрессРеклама, 2009. – 332 с.

3. Дыхнилкин В.В., Капустяк В.М. Эффективное управление компрессорами // Мир автоматизации. – 2011. – № 3. – С. 94 – 97.

4. Мизгулин И.Г., Вильданов Р.Г. Моделирование автоматизированной системы управления газоперекачивающим компрессором // Инновационная наука в современном мире. – 2018. – С. 48-51.

5. Костыгов А.М., Кычкин А.В. Система мониторинга и проактивного управления группой компрессоров //Электротехника. – 2017. – №. 11. – С. 25-29.

6. Ким Д. П. Теория автоматического управления – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. – 2004. – 464 с.

7. Åström K. J., Wittenmark B. Adaptive control. – Courier Corporation, 2013. – 577 p.

8. Kumar P. R., Varaiya P. Stochastic systems: Estimation, identification, and adaptive control. – SIAM, 2015. – Т. 75. – 358 p.

9. Master controller: SIGMA AIR MANAGER 4.0 [Електронний ресурс] // KAESER KOMPRESSOREN. – Режим доступу: https://www.kaeser.com/int-en/products/controller/master-controller/

УДК 629.5.064.5

АНАЛОГОВО-ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ДАТЧИКІВ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ

В. А. Завадський, к.т.н., професор
Національний університет «Одеська морська академія»
С. М. Дранчук, к.т.н., доцент
А. В. Чайка, студент
Одеський національний морський університет

Анотація: *Основним компонентом моніторингу механічних напружень корпуса судна є тензорезистивні датчики. В роботі виготовлено і досліджено перетворювач «напруга-частота» для таких систем моніторінгу*

Ключові слова: *тензорезистивні датчикі, напруга, частота, перетворювач, стабілітрон*

ANALOG-FREQUENCY CONVERTER FOR SHIP EQUIPMENT STRAIN GAUGES

V. A. Zavadsky, Ph.D., professor
National University "Odessa Maritime Academy"
S. M. Dranchuk, Ph.D., associate Professor
A. V. Chaika, student
Odessa National Maritime University

Abstrac*t: The main component of monitoring of mechanical stresses of case vessel is tensors sensitive sensors. The transducer "voltage-frequency" for such systems of monitoring is made and investigated in the paper.*

Key words: *strain-sensing sensors, voltage, frequency, transducer, volt reference*

Для підвищення безпеки та ефективності роботи транспортних судів необхідна об'єктивна інформація про механічні навантаження на корпус судна в будь-яких експлуатаційних режимах. На підставі цієї інформації з'являється можливість управляти судном в штормових умовах, не допускаючи перевантаження корпусу, в той же час, працюючи на гранично безпечному рівні. Дані про навантаження на корпус необхідні також для автоматизації вантажних операцій на судах, оскільки рівномірність розподілу вантажу (особливо балкерів) сприяє підвищенню безпеки мореплавання.

В наступний час в інтегровану систему судна входить моніторинг навантажень на корпус судна (Hull stress monitoring), мета якого в реальному часі забезпечувати інформацією о навантаженнях в корпусі в процесу рейсе та в процесі виконання навантажувальних робіт [1]. Основним компонентом моніторингу механічних напружень корпуса судна є датчики, які бувають тензорезистивні та магніто-пружні [2].

Основними є тензорезистивні датчикі, які встановлюються на палубі судна поблизу бортів. Вихідними сигналами таких датчиків є аналоговий сигнал у вигляді диференційної напруги в межах –(10…20) до +(10…20) мВ. Наявність різного роду електромагнітних перешкоджань може викликати перекручення

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

вихідного сигналу вимірювального датчика та ускладнює його передачу на значні відстані. Тому існують декілька засобів перетворення таких сигналів у інший вигляд: за допомогою АЦП, за допомогою струмової петлі та за допомогою перетворювача „напруга – частота” [3]. Останній метод має ряд переваг: можливість передачі інформації по лініям довжиною до 1000 м, високий ступень захисту від електромагнітних перешкод та ін.

Для перетворення аналогового сигналу тензодатчика в частотний сигнал необхідні спеціальні перетворювачі «напруга – частота» (U/F на рис.1). Блоки U/F перетворення аналогового сигналу тензорезистивних датчиків в частоту розташовуються поблизу датчиків. Тому довжина аналогової лінії (суцільної) мала, що знижує вірогідність наведених перекручень сигналу. Після перетворення в блоках U/F частотний сигнал у вигляді меандру по довгим дротовим лініям (тонка пунктирна лінія) передається в блок багатоканального вимірювання частоти (БКВЧ), в якому за допомогою мікроконтролера вимірюється частота вихідного сигналу кожного датчика і виконується необхідна математична обробка сигналів по деформації корпусу судна. Після такої обробки сигнал у вигляді цифрового коду по лінії інтерфейсу RS-485 (пунктирна жирна лінія) передається у інформаційну магістраль інтегрованої системи судна (ICC), а далі поступає в інтегровану систему ходового мостика (ICXM) для відображення результату по деформації корпуса судна в записуючому пристрої реєстратора даних рейсу (VDR) по головному інформаційному каналу (суцільна жирна лінія).

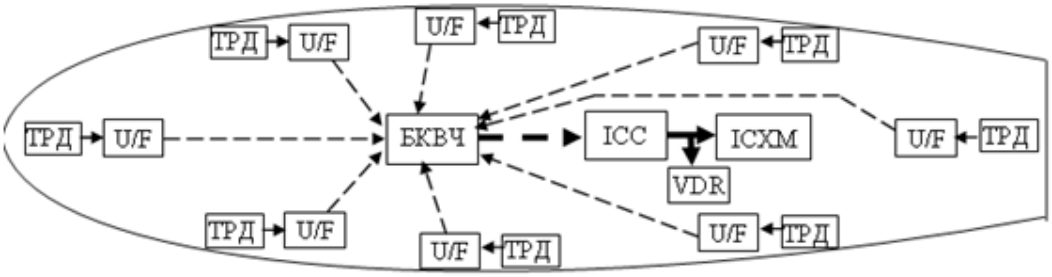


Рисунок 1– Структурна схема вимірювання деформації корпусу судна за допомогою тензорезистивних датчиків:
ТРД тензорезистивний датчик; U/F – блоки перетворення аналогового сигналу тензорезистивних датчиків в частоту; БКВЧ блок багатоканального вимірювання частоти; ICC інтегрована система судна; ICXM – інтегрована система ходового мостика; VDR – записуючий пристрій реєстратора даних рейсу
→ .коротка екранована аналогова лінія; —→ довга лінія для передачі частотного сигналу; ▬▶ лінія інтерфейсу RS-485; ➡ магістральна лінія інтегрованої системи судна.

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

Усі перетворювачі «напруга – частота» підрозділяються на несинхронні та синхронні. Перші дешевші, але мають малу сталість та гірші характеристики. Другі більш складні, але мають більш поліпшенні характеристики [3]. Найбільш привабливими є інтегральні перетворювачі типу AD7741 та AD7742 [4]. Вони мають вбудований тактовий генератор, який стабілізується зовнішнім кварцевим резонатором, живляться від напруги +5 В зі струмом споживання до

6 мА, мають вбудоване джерело опорної напруги +2,5 В, максимальну частоту перетворення до 6 МГц, нелінійність передаточної характеристики не перевищує 0,012 %, похибка коефіцієнта перетворення не перевищує +0,8 %, температурний коефіцієнт похибки перетворення - ±16 ppm/K.

Структурна схема розробленого блоку А3 перетворювача «напруга – частота», виконаного на основі IMC AD7741, наведена на рисунку 2 та складається з наступних вузлів:

1. **Інструментального підсилювача**, типу AD623, призначення якого підсилити вихідний сигнал вимірювального датчика до рівня напруги, який достатній для роботи AD7741.

2. **Синхронного перетворювача «напруга – частота»** типу AD7741**,** призначення якого перетворювати аналоговий сигнал з виходу інструментального підсилювача в частотний сигнал з рівнями ТТЛ логіки.

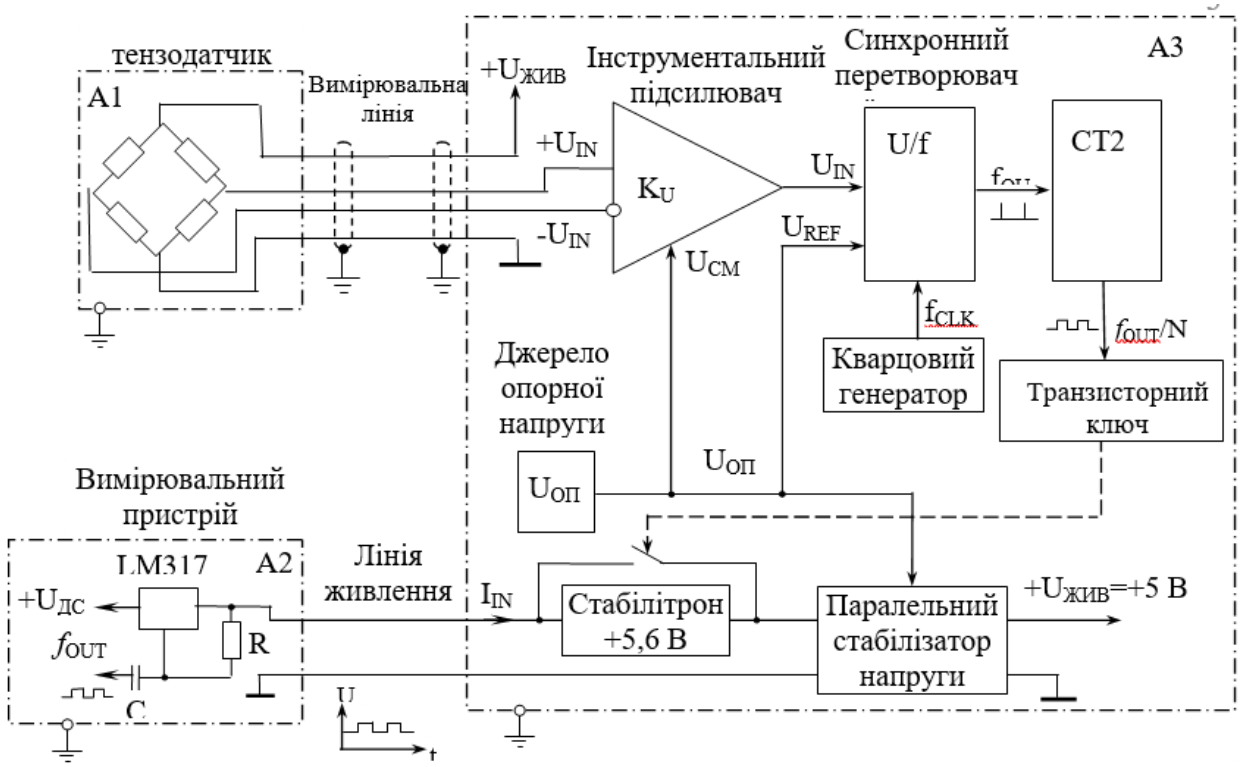


Рисунок 2 – Структурна схема перетворювача «напруга – частота»

3. **Двійниковий лічильник,** призначення якого перетворювати частотний сигнал з виходу AD7741 в частотний сигнал типа „меандр” частотою від 2000 Гц до 25 000 Гц з рівнями ТТЛ логіки.

4. **Паралельного стабілізатора,** призначення якого залучити стабільну напругу +5 В для живлення вимірювального датчика А1 та вузлів самого пристрою. Струм від джерела А2 подається на паралельний стабілізатор за допомогою двохдротової лінії довжиною до 1000 м.

5. **Вузла формування вихідного частотного сигналу**, призначення якого модулювати вихідним частотним сигналом джерело струму А2. Цей вузол по-

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

будовано на транзисторному ключі та стабілітрону з напругою стабілізації 5,6 В.

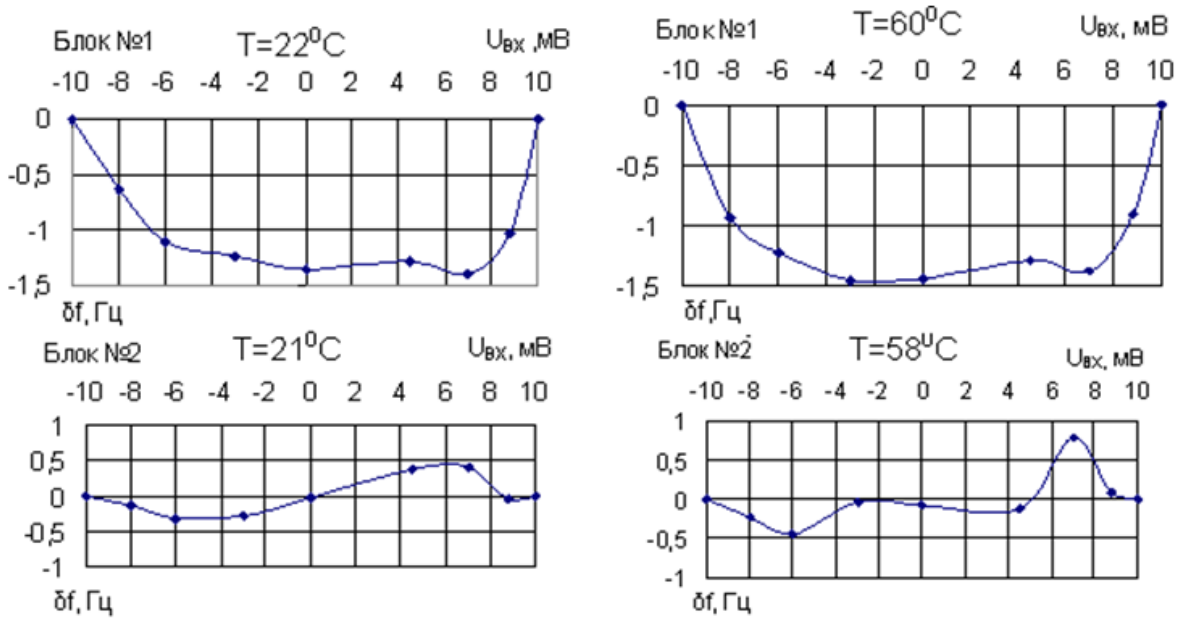


Рисунок 3 – Експериментальні залежності відхилення частоти від лінійного її значення δf_H, як функція вхідного сигналу для блоку перетворювача «напруга - частота»

6. **Вузлів формування опорних сигналів**, призначення яких сформувати рівні опорних сигналів, необхідних для роботи блоку.

Розмах вихідного сигналу датчика при $K_П$=2 мВ/В складає від –10 мВ до +10 мВ. Інструментальний підсилювач підсилює ці сигнали в 100 разів, причому при U_{BX}=0, напруга на виході складає 1,25 В, що забезпечується джерелом опорної напруги LT1004-2.5. Після перетворення аналогового сигналу в частоту IMC AD7741 та ділення двійниковим лічильником на 64, отримаємо вихідну частоту f_{out}/N відповідно від 2592 Гц (–10 мВ).. 7200 Гц (–10 мВ)…11808 Гц (+10 мВ). За допомогою модуляції транзисторного ключа джерела струму на виході пристрою отримаємо частотний сигнал з верхнім рівнем 10,6 В, а нижнім – 5,6 В, як показано на рисунку 1,2 у вигляді графіку.

Джерело струму від вимірювального пристрою повинно забезпечувати струм 60 мА.

Дослідження виготовленого блоку перетворювача «напруга-частота» показали, що нелінійність передаточної характеристики знаходилася в межах 0,01…0,04 % в діапазоні температур –10 ^{0}C...+60 ^{0}C і достатньо слабо залежить від температури (у середньому 20 ppm/K), причому з підвищенням температури нелінійність передаточної характеристики дещо зростає. На рисунку 3 наведені експериментальні залежності відхилення частоти від лінійного її значення δf_H, як функція вхідного сигналу при різних температурах.

Висновок. Розроблений перетворювач «напруга-частота» має задовільні параметри, але потребується його подальше дослідження для вивчення його параметрів при від’ємних температурах з метою досконалості його температурної сталості та лінійності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Интегрированные системы ходового мостика. Одесса: Латстар, 2003 – 170 с.
2. Жадобин Н.Е., Королев, В.В., Заставный С.В., Контроль механических напряжений и деформаций в корпусе судна. “Контроль диагностика” журнал № 2, 2010. с. 38 – 43.
3. Дерябин В. Преобразователи напряжение частота. – Chip News Инженерная электроника, 2004, №8, с.13-23
4. Single and Multichannel, Synchronous Voltage-to-Frequency Converters AD7741/7742. Datasheet. – Wold Wide Web Site: www.analog.com.

УДК 629.12

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ І АВТОМАТИКИ СУДНОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ.

О. В. Кочетков, к.т.н., доцент
А. Р. Карапетян, студент
О. М. Леднев, студент
Одеський національний морський університет

***Анотація**: Для підвищення точності, надійності та ефективності роботи енергетичного обладнання судна за допомогою використання сучасних засобів вимірювання та контролю пропонується для виміру напруги і струму застосовувати датчики на основі ефекту Холла.*

***Ключові слова**: суднове електрообладнання, електроживлення суднових електроустановок, датчики Холла, суднова електрична мережа.*

MODERNIZATION OF CONTROLLING AND AUTOMATIC SYSTEMS OF VESSEL ELECTRICAL EQUIPMENT FOR THE USE OF MODERN MEASUREMENT AND CONTROL MEASURES

O. Kochetkov, Ph.D., Associate Professor
A. Karapetyan, Student masters
O. Lednev, Student masters
Odessa National Maritime University

***Abstract:** To improve the accuracy, reliability and efficiency of the ship's power equipment with the help of modern measuring instruments and controls, it is suggested to use Hall-based sensors to measure voltage and current.*

***Key-words:** marine electrical equipment, ship electrical power supply, Hall sensors, marine electrical network.*

Точність вимірювання електричного струму і напруги є важливою умовою надійності і безпеки функціонування електронної апаратури.

Для вимірювання сили струму і напруги в суднових мережах змінного струму застосовують прилади з класом точності 1,5 і межами вимірювання струму 5-6 кА, напруги 30-450 В. Амперметри на струм до 200 А включають в

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

мережу безпосередньо або через трансформатори, амперметри на більший струм - тільки через трансформатори. Але такі пристрої мають свої недоліки.

Найбільш досконалим і оптимальним за вартістю рішенням цього завдання є застосування датчиків струму і напруги на основі ефекту Холла [1, 2]. Такі датчики дозволяють забезпечити високу точність і швидкість вимірювань та забезпечують: можливість безконтактних вимірювань, наявність гальванічної розв'язки між вхідним і вихідним сигналами, можливість дослідження розподілу струму, відсутність обмоток (велика динамічна стійкість), можливість вимірювання будь - якого сигналу: постійного, змінного та імпульсного довільної форми [3].

Такі датчики нині застосовуються для організації зворотного зв'язку в електроустановках, для контролю параметрів електричних ланцюгів, а також дозволяють організувати гальванічну розв'язку в промислових приводах, в перетворювачах напруги, в зварювальної апаратури, в системах електропостачання та в різній іншої апаратури.

Аналіз світових тенденцій у використанні датчиків вимірювання напруги і струму свідчить про те, що такі прилади сьогодні вельми затребувані в самих різних областях промисловості, в тому числі і в морському транспорті. Відбувається масова заміна традиційно застосовуваних струмових шунтів, трансформаторів струму, магнітних підсилювачів на сучасні мініатюрні датчики напруги та струму. Низька ціна, малі габарити і в той же час висока надійність роботи сприяють тому що їх починають застосовувати в електроприводах багатьох пристроїв, в тому числі в пристроях водного транспорту. В якості первинних перетворювачів такі датчики є основою систем автоматизації і управління виробництвом, автоматизованих систем управління технологічними процесами і т.д. [1].

Зі свого боку, виробництво, широко використовуючи ці датчики, висуває нові вимоги до технічних характеристик приладів та якості їх виготовлення. У ряді випадків для досягнення низького температурного дрейфу, малого часу відгуку, забезпечення широкої смуги пропускання і низького рівня шуму супутніх компонентів змінюється технологія виготовлення датчиків струму[4].

Поширені сьогодні системи моніторингу струмових ланцюгів також базуються на застосуванні датчиків вимірювання струму. Це, в свою чергу, стимулювало розробку рознімних датчиків струму, які дозволяють проводити моніторинг струму без розриву ланцюга і зупинки виробництва. На відміну від раніше використовуваних резистивних шунтів роз'ємні датчики не призводять до втрати потужності, зникають проблеми з точки зору установки і безпеки.

Вибір датчика пов'язаний як з технічними, так і з економічними параметрами. Тому повинні бути прийняті до уваги всі аспекти його застосування. Серед технічних параметрів особливу увагу потрібно приділити наступним:

• Електричні параметри - номінальне і максимальне вимірювані значення; швидкодія; вимоги до живлення і т.д.

• Механічні параметри - розміри, маса і т.д.

• Температурні параметри - робота в режимах, близьких до максимально допустимим.

• Умови експлуатації - вібрація, навколишня температура, магнітні поля.

На практиці часто виникає комбінація декількох факторів, які повинні бути оцінені в своїй сукупності для вибору найбільш відповідного варіанту датчика. Наприклад, вимірюваний струм не є номінальним, є магнітні, температурні і механічні дії, відбуваються тимчасові перевантаження і т.д. Таким чином, вся сукупність параметрів може впливати на точність вибору датчика.

Для простого застосування датчика, а саме при ідеальних умовах експлуатації, вибір здійснюється виходячи з вимог по вимірюється параметрами для даного застосування, таких як номінальний і максимальний вимірюваний струм, напруга, швидкодія і т.д., на підставі зведеної таблиці параметрів датчиків.

При більш складних умовах застосування необхідно також враховувати такі фактори, як:

• Зовнішні магнітні впливи;
• Електромагнітні перешкоди;
• Крутизна фронту імпульсів;
• Механічні дії (вібрація, удари і т.д.)
• Спеціальні вимоги по міцності електричної ізоляції;
• Сумісність з існуючими стандартами;
• Кліматичні умови експлуатації

Іншими основними перевагами датчиків Холла в порівнянні з ідентичними є висока надійність, компактність і підвищена чутливість. Усі ці переваги дозволяють позиціонувати датчики Холла в якості перспективної елементної бази.

У випадку, коли безперервний моніторинг об'єкта не потрібен (наприклад, для резервних систем), енергоспоживання датчика Холла може бути знижене за рахунок перекладу в переривчастий режим роботи. 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 [5]. 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.

Таким чином, використання переривчастого режиму є ефективним засобом зменшення енергоспоживання дискретних датчиків Холла без шкоди для їхньої функціональності.

Висновки. Суднові електричні системи, системи електроприводу і автоматики, лічильники енергоресурсів, допоміжне електронне встаткування, пристрої автоматики – от далеко не повний перелік додатків, у яких можна використовувати датчики Холла. В роботі пропонується для підвищення точності, надійності та ефективності контролю роботи енергетичного обладнання судна застосовувати датчики напруги та струму на основі ефекту Холла.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

ЛІТЕРАТУРА

1. Бараночников М. Л. Микромагнитоэлектроника. Том 1. ДМК-М.: 2001.128 с.
2. Седова Е.А. Методы косвенного измерения токов силовой цепи электрических аппаратов // Вісник НТУ "ХПІ". - 2010. - №36.
3. Портной Г. Современные магниточувствительные датчики Холла и приборы на их основе // Вестник автоматизации. - 2013. - №1 (39).
4. Топильский В. Б. Микроэлектронные измерительные преобразователи. - 2-е изд. - М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013.
5. Русу А. П. Интегральные малопотребляющие датчики положения на основе эффекта Холла / електроний Журнал «Новости Электроники» 2018 №7. Режим доступу: https://www.compel.ru/lib/ne/2018/7/6

УДК 621.313.322:004.4’236(042.3)

КОМПЬЮТЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТОЧНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ СУДОВЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

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

Аннотация: *в статье предложен способ компьютерной визуализации процесса ручной точной синхронизации генераторов с целью его лучшего понимания. С помощью языка программирования Processing представлены графические материалы, которые позволяют подробно рассмотреть форму электрических сигналов, которые являются ключевыми факторами в процессе синхронизации. Поставлен эксперимент с использованием лабораторного тренажера на базе системы дистанционного и автоматизированного управления и контроля работой судовой электроэнергетической установкой «Ижора». Произведен обзор устанавливаемых ограничений (защит) на современных синхроноскопах касательно частот и фазового сдвига амплитуд напряжений подключаемых генераторов. Используя полученную информацию был произведен анализ работы стрелочного синхроноскопа. Изложенный материал не является окончательной работой. В дальнейшем планируется использовать полученные данные в качестве основы для продолжения работ по визуализации.*
Ключевые слова: *генератор, Processing, визуализация, синхронизация, синхроноскоп.*

COMPUTER VISUALIZATION OF ACCURATE SYNCHRONIZATION PROCESS SHIP SYNCHRONOUS GENERATORS

R. Kudelkin, assistant
V. Lukovtsev, Associate Professor, PhD
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *the paper proposes a computer visualization method of the manual accurate synchronization process of generators in order to better understanding. Using the Processing programming language represented graphical materials that allow considering in detail the form of electrical signals, which are key factors in the synchronization process. An experiment was carried out using a laboratory simulator based on a remote and automated control and monitoring system of the ship’s electric power plant «Izhora». Produced an overview of the established restrictions (protections) on modern synchronoscopes regarding the frequencies and phase shift of the voltage amplitudes of the connecting generators. Using received information it*

was made an arrow synchronoscope operation analysis. The material presented is not the final work. In the future, it is planned to use the obtained data as a basis for continuing visualization work.

Key-words: *generator, Processing, visualization, synchronization, synchronoscope.*

Для включения судовых синхронных генераторов в параллельную работу методом точной синхронизации должны быть выполнены три основных условия, невыполнение которых может привести к обесточиванию судна, а также к повреждению как самих генераторов, так и коммутационных устройств. Первое условие – необходимо, чтобы ЭДС подключаемого генератора и напряжение работающего были равны. При неравенстве ЭДС и напряжения возникает эффект «перетекания» реактивной мощности, когда генератор, имеющий более низкую ЭДС будет играть роль дополнительной нагрузки для другого. Второе условие – равенство частот обоих генераторов, но тут следует отметить, что на практике угловая скорость подключаемого генератора (дальше по тексту подключаемый генератор – дополнительный, генератор работающий на шинах – основной) должна быть несколько выше угловой скорости основного генератора.

Далее в процессе синхронизации необходимо выполнить третье условие синхронизации – совпадение по фазе векторов ЭДС и напряжения, или иначе говоря, синфазная работа генераторов. Индикация момента совпадения фаз выполняется с помощью синхроноскопа. В случае несовпадения фаз возможен большой уравнительный ток, который может повредить обмотки генераторов или контакты автоматических выключателей, причем при сдвиге фаз до 180°, уравнительный ток достигает величины тока короткого замыкания.

Для лучшего понимания сути процесса синхронизации при обучении студентов, была разработана программа его визуализации. Рисунок 1 показывает работу программы по визуализации, в котором синусоида 1 является статической (неподвижной) и индицирует собой сигнал основного генератора, а синусоида 2 индицирует сигнал подключаемого дополнительного генератора и имеет возможность изменять частоту.

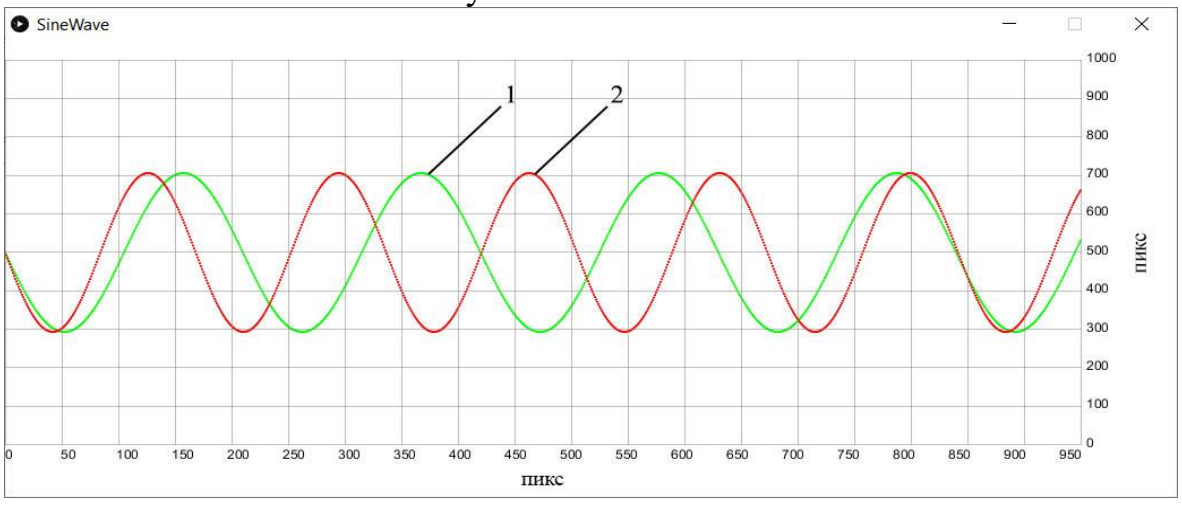


Рисунок 1 – Синусоиды напряжений, начало которых лежит в одной точке:
1 – на шинах; 2 – подключаемого генератора

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

На рисунке 1 отображена синусоида напряжения основного генератора (1) и синусоида ЭДС дополнительного генератора (2). Для удобства чтения графика, визуализирована только одна фаза. Как видно из рисунка 1 условие по равенству напряжений выполняется – амплитуды двух синусоид равны. Второе условие синхронизации приблизительно совпадает. По третьему условию необходимо совпадение фаз, но с учетом условия, что угловая скорость дополнительного генератора должна быть несколько выше, стрелка синхроноскопа должна медленно вращаться по часовой стрелке. На рисунке 1 этому случаю соответствует кривая (2) частоты дополнительного генератора, которая немного выше частоты основного.

Стрелка синхроноскопа сделает один полный оборот от метки верхней точки шкалы прибора, что соответствует моменту начала синусоид (значение 0 пикс.) и повторно вернется в верхнее положение при значении приблизительно 850 пикс. по оси абсцисс. На рисунке 1 видно, что кривые совпадают при 850 пикс., что соответствует полному обороту стрелки синхроноскопа чуть более чем за 5 периодов колебаний синусоиды 1 (дальше по тексту синусоида 1 – первая, синусоида 2 – вторая), при том, что первая имеет только 4 периода.

Исходя из этого, предположим, что частота первой – 50 Гц, тогда на каждых 4 периода первой приходится 5 периодов второй (для упрощения расчетов округлим до целого числа, хоть по графику значение чуть больше), откуда получается, что частоту второй синусоиды можно найти из выражения:

$$f_2 = f_1 + f_1/K_{T1} \cdot (K_{T2} - K_{T1}) \quad (1)$$

где f_1 – частота первой синусоиды;
K_{T1}– количество периодов первой синусоиды;
K_{T2}– количество периодов второй синусоиды.

По формуле (1)

$$f_2 = 50 + 50/4 \cdot (5 - 4) = 62{,}5 \text{ Гц.}$$

Зная частоту второй синусоиды, находим скорость вращения стрелки синхроноскопа:

$$N = f_2/K_{T2} \quad (2)$$

По формуле (2)

$$N = 62{,}5/5 = 12{,}5 \text{ об/с.}$$

Т.е. синхроноскоп будет за одну секунду делать 12,5 оборотов. Разумеется, при таких значениях, точная синхронизация невозможна.

Для более полной и реалистичной визуализации процесса синхронизации генераторов на основе проведенного эксперимента и расчетных данных была написана дополнительная программа на языке программирования Processing, часть которой была взята из работы [3]. Программа реализует упрощенную модель электронного осциллографа (рисунок 2) на один вход которого подан сигнал с шин, а на второй вход сигнал с подключаемого генератора.

Частота сигнала с шин (синусоида 1) является постоянной, а частоту подключаемого генератора (синусоида 2) можно изменять в режиме реального времени.

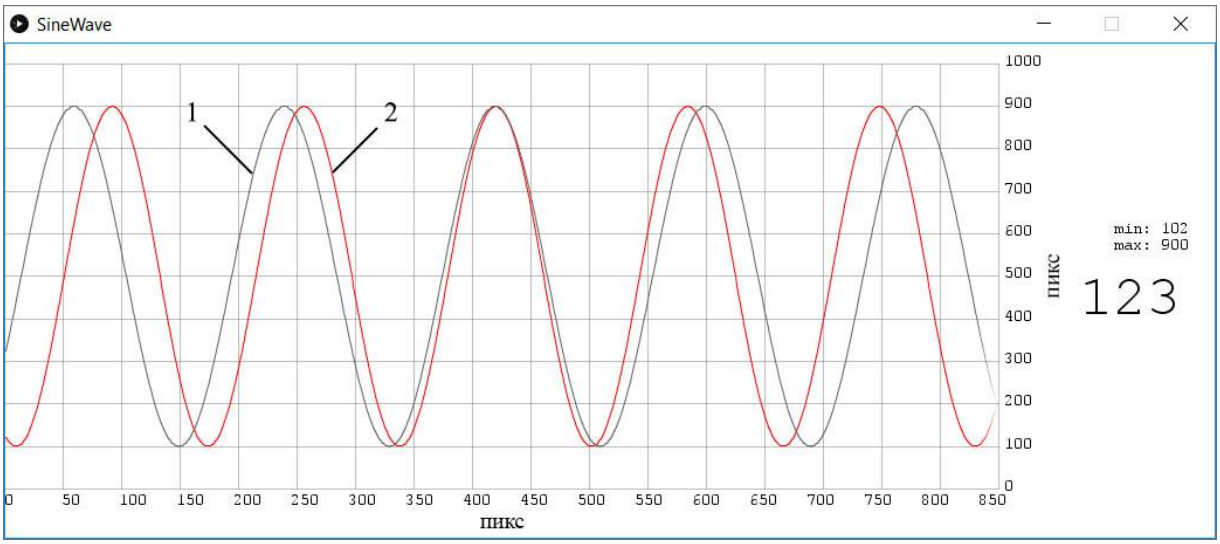


Рисунок 2 – Синусоиды напряжений: 1 – на шинах; 2 – подключаемого генератора

Выводы.

1. Предложенная программа по визуализации электрических сигналов процесса синхронизации позволяет визуализировать процесс работы стрелочного синхроноскопа, что существенно облегчает понимание студентами процессов синхронизации.

2. Поскольку программа представляет собой упрощенную модель электронного осциллографа, то она хранит массив полученных данных, которые в будущем могут быть использованы для дальнейшего анализа и исследования процесса синхронизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коноваленко Л.К., Луковцев В.С. Исследование режимов работы и отработка практических навыков по управлению судовой автоматизированной электроэнергетической установкой: Учебное пособие. – Одесса: Слава і Честь (СіЧ), 2002. – 46 с.

2. Пипченко А.Н., Гончарук С.П. Методические указания по выполнению и оформлению лабораторной работы «Исследование процесса синхронизации с применением УВМ». – Одесса, 1987. – 21 с.

3. В.С. Луковцев, Р.И. Куделькин "Разработка аппаратно-программного комплекса для измерения вращающего момента асинхронных электродвигателей" / Матеріали науково-методичної конференції "Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки", 29.11.2016 - 30.11.2016.– Одеса: НУ «ОМА», 2016. – С. 26-28.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

УДК 681.121

ДОСЛІДЖЕННЯ СУДНОВОЇ БАЛАСТНО-ОСУШУВАЛЬНОЇ СИТЕМИ З ТЕНЗОМЕТРИЧНИМ ВИТРАТОМІРОМ РІДИНИ

Т. О. Гаур, ст.викладач
О. І. Зарицька, к.т.н., доцент
О. О. Скрибантович, магістрант
В. І. Цацко, к.ф-м.н, ст.викладач
Одеський національний морський університет

Анотація. *Розглянуте застосування тензометричного витратоміру рідини, в якому для підвищення надійності та точності вимірювання було запропоновано вимірювання витрат рідини за різницею статичних тисків в двох різних перетинах труби для баластно-осушувальної системи судна. Показано, що встановлення третього тензорезистора дозволяє поширити вимірювальний діапазон швидкостей потоку Встановлений вплив геометричних розмірів та фізичних властивостей рідини на величину похибки..*
Ключові слова: *рідина, витратомір, тензометрія, баластно-осушувальна система, забортна вода,*

RESEARCH OF VESSEL'S BALLAST-DRAINAGE SYSTEM WITH TENSOMETRIC FLUID METER

T. Gaur, senior lecturer
O. Zaritskaya, Ph.D., docent
O. Skribantovich, undergraduate
V. Tsatsko, Ph.D., senior lecturer
Odessa National Maritime University

Abstract. *The application of a tensometric flowmeter, in which to improve the reliability and accuracy of measurement, it was proposed to measure the flow rate of fluid by the difference of static pressures in two different sections of the pipe for the ballast-drainage system of the vessel. It is shown that the installation of the third strain gauge allows to extend the measuring range of the flow velocities.*
Keywords*: fluid, flowmeter, strain gauge, ballast-drainage system, seawater,*

Постановка проблеми.

Баластні системи призначені для прийому в цистерни водяного баласту, перекачування і видалення його з судна з метою зміни осадки і остійності судна (баластна система), вирівнювання або створення в необхідних випадках штучного крену (система крену) і диферента (диферентна система) при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт, плаванні в льодах і аварійних ситуаціях, а також у зв’язку з витрачанням запасів палива і води. З метою прискорення та підвищення якості виконання цих операцій необхідно проводити вимірювання витрат рідини.

Аналіз останніх наукових досліджень.

Відомі індукційний, тепловий та інші витратоміри, недоліками яких є необхідність встановлення в потоці рідини тих чи інших елементів вимірювання. Це призводить до погрішності вимірювань протягом зростання часу перебуван-

ня цих елементів в рідині і зменшує їх надійність. 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 вході тензометричного підсилювача буде величина, яка пропорційна квадрату витрат рідини Q.

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

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

де ΔR - різниця опорів між тензорезисторами, що розміщені на різних перетинах; ρ - щільність рідини.

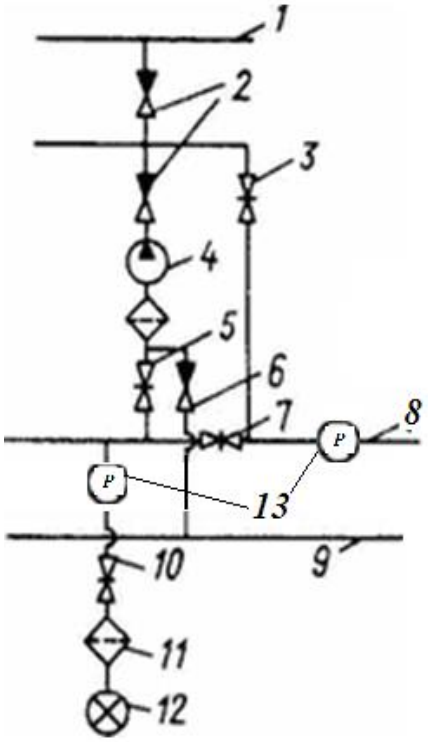


Рисунок 1 – Схема функціональної групи насосу баластно-осушувальної системи

Метою даної роботи є дослідження баластно-осушувальної системи з тензометричним витратоміром рідини (рис. 1). Позначення на рис.1: 1 – борт; 2, 6 – незворотно-запірні клапани; 3,5,7,10 – клінкерні засувки; 4 – баластно-осушувальний насос; 8 – баластна система; 9 – осушувальна система; 11 – фільтр забортної води; 12 – кінгстон; 13 – вимірювальні трубопроводи

У наведеному в роботі [1] витратомірі не враховувався вплив тертя на показники витратоміру.

$$\Delta p_{TP} = \frac{64\nu}{d}\frac{l}{d}\frac{v_{CP}}{2}\rho = \frac{8\nu l}{\pi d^4}Q\rho, \qquad (3)$$

де ν - кінематична в'язкість;

v_{CP} - середня швидкість потоку;

l - відстань між тензорезисторами;

d - діаметр трубопроводу.

В роботі [2] було показано, що при малих швидкостях потоку показники такого витратоміру внаслідок наявності тертя залежать як від геометричних розмірів трубопроводу, так і від швидкості потоку, в'язкості рідини.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Можна показати, що співвідношення різниці тиску за рахунок тертя Δp_{TP} та різниці тиску за рахунок різниці діаметрів трубопроводу $p_1 - p_2$ має наступний вигляд:

$$\frac{\Delta p_{TP}}{p_1 - p_2} = \frac{64\nu l v_{CP}}{d^2 v_1^2 \rho \left(\frac{r_{i1}^4}{r_{i2}^4} - 1 \right)} = \frac{64\nu v_{CP}}{d v_1^2 \rho \left(\frac{r_{i1}^4}{r_{i2}^4} - 1 \right)} \frac{l}{d}, \quad (4)$$

де ν - в'язкість рідини;

l - відстань, на якій вимірюється різниця тиску;

v_{CP} - середня швидкість потоку;

d - діаметр трубопроводу;

v_1 - швидкість рідини у перетині 1;

ρ - щільність рідини.

При припущенні, що $v_{CP} = v_1$ цей вираз для води при нормальних умовах (ρ= 1кг/м^3, ν = 0,001 Па· с) та розмірах вимірювальної ділянки трубопроводу (d = 0,1 м, r_{i1} / r_{i2} = 1,1) прийме вигляд

$$\frac{\Delta p_{TP}}{p_1 - p_2} = \frac{1{,}39 \cdot 10^{-1}}{v_1} \frac{l}{d} \quad (5)$$

З цієї формули слідує, що вплив тертя зростає при зменшені швидкості потоку та діаметру трубопроводу та зростанні відстані, на якій вимірюється різниця тисків.

Тому в роботі [3] була запропонована наступна схема вимірювання витрат рідини (рис. 2).

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, наведеному в роботі [1]. 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).

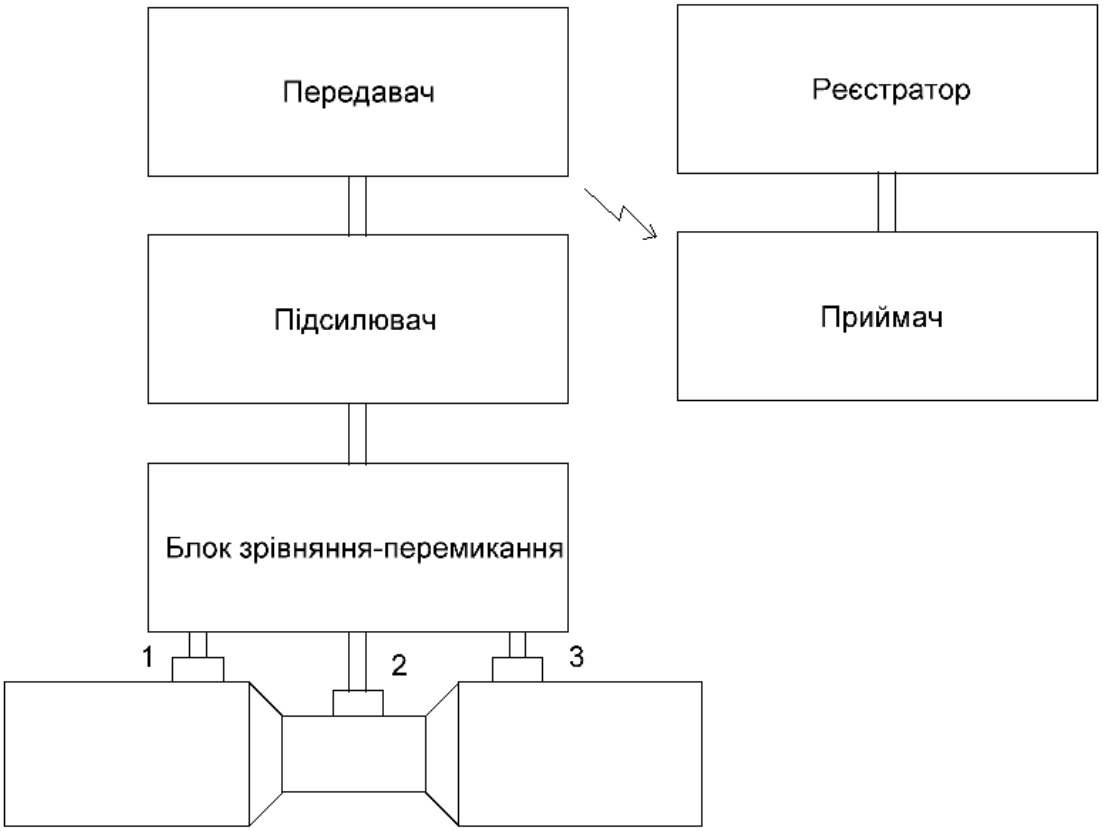


Рисунок 2 – Схема вимірювання витрат рідини

Висновки. Встановлено, що при великих швидкостях потоку, які характерні для систем подачі забортної води при великих відхиленнях від стану рівноваги, вимірювання необхідне проводити за різницею тисків у перетинах різного діаметра. При малих швидкостях потоку при стані системи, яка близька до рівноваги, вимірювання необхідне проводити за допомогою виразу (3).

ЛІТЕРАТУРА

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

2. Антохов О.Д., Бабій Ю.С., Гаур Т.О., Нікіфоров В.І., Цацко В.І. Оцінка впливу деяких факторів на точність тензометричного витратоміра рідини. Středoevropský věstník pro vědu a výzkum 7(59) 2019, pp/65-74.

3. Антохов О.Д., Гаур Т.О., Нікіфоров В.І., Цацко В.І. Тензометричний витратомір рідини. Вісник Одеського національного морського університету. №4(57), 2018, с.121-130.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

УДК 621.452.3.01:621.362.1.001.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ В СОСТАВЕ СУДОВОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ

В. В. Крючков, магистрант
А. А. Демиров, магистрант
И. М. Гвоздева, д.т.н., профессор
В. А. Щербинин, ст. преподаватель
Национальный университет “Одесская морская академия”

Аннотация: *Проведено экспериментальное исследование характеристик датчиков температуры на базе платиновых термометров сопротивления PT-100, применяемых в судовых системах контроля и сигнализации, с помощью лабораторного стенда “Исследование канала контроля температуры воды и масла”.*
Ключевые слова: *датчик температуры, дизельный двигатель, судовая система контроля и сигнализации, экспериментальные характеристики*

EXPERIMENTAL RESEARCH OF TEMPERATURE SENSORS CHARACTERISTICS IN SHIPS CONTROL AND MONITORING SYSTEM

V. V. Kriuchkov, Master Student
A. A. Demyrov, Master Student
I. M. Hvozdeva, Dr. of Science, Professor
V. A. Shcherbinin, Senior Lecturer
National University “Odessa Maritime Academy”

Abstract*: An experimental study of the characteristics of temperature sensors based on the PT-100 platinum resistance thermometer used in ships’ control and monitoring systems was carried out with the help of the laboratory stand “Research of the channel for monitoring of water and oil temperature”.*
Keywords*: temperature sensor, diesel engine, ship’s control and monitoring system, experimental characteristics*

Современные суда оборудованы разнообразными системами контроля параметров, характеризующих техническое состояние механизмов машинного отделения: K-Chief 600, Konsberg K–pos, Beer–radio, Converteam и др. [1]. Основным назначением указанных систем является непрерывный мониторинг текущих значений параметров, характеризующих техническое состояние механизма в данный момент времени, подача предупредительного сигнала в случае выхода измеряемых параметров за пределы допускового контроля, а также выполнение функций автоматического управления судовым оборудованием в различных режимах функционирования.

Одним из параметров, характеризующих работу судовых дизельных двигателей является средняя температура выходящих газов цилиндров [2,3]. Температура определяется посредством прямого измерения с помощью датчиков температуры, чувствительным элементом которых могут быть

терморезисторы или термопары. На результат измерений влияют погрешности самого датчика, аналогово-цифрового преобразователя, измерительного канала, а также электростатические и электромагнитные наводки, окружающая среда. Анализ известных литературных источников [3–6] позволяет сделать вывод о том, что характеристики указанных датчиков описаны не в полной мере. Поэтому исследование, посвященное получению экспериментальных характеристик датчиков температуры и оценке их погрешностей, является актуальным.

Целью работы является экспериментальное исследование динамических и статических характеристик датчиков температуры на базе платиновых терморезисторов.

Принципы работы различных судовых систем контроля и мониторинга описаны в [1,2]. Исследованию датчиков температуры в динамических режимах работы газотурбинных двигателей посвящена работа [4]. В [5,6] приведены теоретические статические характеристики терморезисторов и их допустимые погрешности для разных диапазонов температур. Автоматизированный комплекс, предназначенный для калибровки и контроля параметров терморезисторов, описан в [7]. Применение датчиков температуры для контроля температурных режимов элементов судового пропульсивного комплекса рассмотрено в [8].

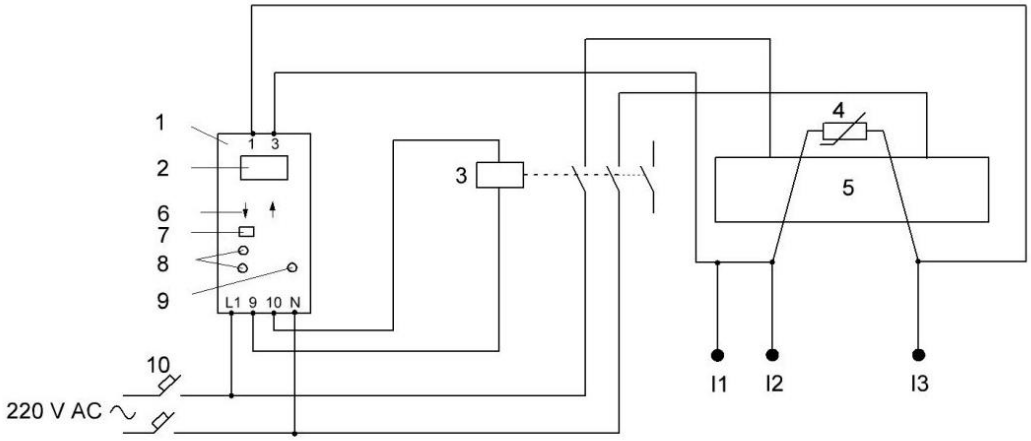


Рисунок 1 – Принципиальная схема лабораторного стенда

Для экспериментального исследования динамических и статических характеристик датчиков температуры на базе платинового терморезистора РТ-100 использован лабораторный стенд “Исследование канала контроля температуры воды и масла” кафедры электрооборудования и автоматики судов НУ “ОМА” (рис. 1).

В состав лабораторного стенда “Исследование канала контроля температуры воды и масла” входят следующие элементы:

1 – Программируемый логический контроллер (ПЛК) iTRON DR 100.

2 – 2-х шкальный дисплей.

3 – Исполнительное реле РЭК-77/3 220В 50 Гц 10А.

4 – Терморезистор ПТС-100.

5 – Нагревательный элемент ПЭВ-100.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

6 – Кнопки задания уставки температуры.
7 – Интерфейс для программирования контроллера.
8 – Светодиоды указания включения термореле.
9 – Кнопка подтверждения изменения уставки.
10 – Автоматический выключатель.
I1, I2, I3 – Точки измерения.

Методика экспериментального получения статических характеристик терморезистора РТ-100 заключается в следующем: при помощи омметра измеряется сопротивление терморезистора на выводах I2-I3. По полученным данным определяется эталонная температура, затем на схему подается питание и сравниваются значения температуры на дисплее ПЛК со значением эталонной температуры. На следующем этапе на панели ПЛК выставляется новое значение температуры. По достижению заданных условий измеряется сопротивление терморезистора и находится эталонное значение температуры для данного сопротивления. Полученные результаты сверяются с показанием на дисплее ПЛК. Величина погрешности измерений определяется при помощи построения и сравнения реальной и эталонной характеристик.

Выводы. Предложена и опробована методика, позволяющая получать экспериментальные статические характеристики датчиков температуры, выявлять погрешности самих датчиков и каналов измерений. Дальнейшие исследования будут направлены на получение экспериментальных динамических характеристик датчиков температуры для оценки погрешностей измерений температуры воды и масла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kongsberg K-Chief 600 Alarm and Monitoring Operator Manual. – January 2013 – Rev. F – P. 17.
2. Гвоздева И.М. Оценка элементов пространства диагностических признаков технического состояния судовых дизель-генераторных агрегатов / И.М. Гвоздева, М.А. Якименко, В.В. Демиров, В.Ф. Миргород, Е. В. Деренг // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2019. – № 2(69). – Ч. 2. – С. 39–46.
3. 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.
4. Епифанов С.В. Идентификация динамических характеристик термопар по результатам испытаний двигателей / С.В. Епифанов, А.А. Шпилевой, С.И. Суховей // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 9. – С. 166 –171.
5. Жадобин Н.Е. Элементы судовой автоматики. Учебное пособие / Н.Е. Жадобин, А.П. Крылов. – СПб. : ЭЛМОР, 2002. – 128 с.
6. Интернет-ресурс: https://www.asutpp.ru/termometry-soprotivleniya.html
7. Андреев А.Н. Автоматизированный комплекс для градуировки терморезисторов и измерения их параметров / А.Н. Андреев, О.Н. Андреева, А.Г. Лазаренко // Радиотехника. – 2018. – Вып. 194. – С. 133–137.
8. Щербинин В.А. Система передачі потужності суднового двигуна на гребний гвинт / В.А. Щербинин, А.К. Сандлер, В.С. Луковцев. // Судовые энергетические установки. – 2015. – Вып. 35. – С. 189 – 193.

УДК 004.896: 004.5: 656.6

ПОВЫШЕНИЕ ОПЕРАТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СУДОВЫМИ ИНТЕГРИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ ПУТЁМ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА

А. А. Митрофанов, магистрант
И. М. Гвоздева, д.т.н., профессор
Национальный университет “Одесская морская академия”

Аннотация: *Статья посвящена вопросам усовершенствования человеко-машинного интерфейса судовых интегрированных систем. Рассмотрены современные методы и средства организации автоматизированного управления судовыми техническими средствами. На основе анализа основных функций судовых интегрированных систем предложено использование в их структуре разработанных мобильных пультов управления и связи на уровне управляющих систем.*

Ключевые слова: *дистанционное автоматизированное управление, судовая интегрированная система, человеко-машинный интерфейс, мобильный пульт управления.*

INCREASING EFFICIENCY OF THE MANAGEMENT OF INTEGRATED SHIP SYSTEMS BY IMPROVING THE HUMAN-MACHINE INTERFACE

A. A. Mytrofanov, Master Student
I. M. Hvozdeva, Doctor of Science, Professor
National University “Odessa Maritime Academy”

Abstract: *The paper is devoted to the improvement of the human-machine interface of ship’s integrated systems. Modern methods and means of organizing the automated management of ship technical equipment are considered. Based on the analysis of the main functions of ship’ integrated systems, it is proposed to use the developed mobile control and communication panels at the level of control systems in their structure.*

Keywords: *remote automated control, ship’s integrated systems, human machine interface, mobile operation station.*

На судах с классами автоматизации AUT 1 – ICS и AUT 2 – ICS задачи контроля и управления судовыми техническими средствами решаются интегрированными системами, соединёнными в единый комплекс систем автоматического управления. Под интеграцией систем понимается целенаправленное объединение их программных и аппаратных средств в целостную систему, реализующую заданные функции и удовлетворяющую предусмотренным требованиям.

При построении интегрированных систем наиболее эффективен модульно-иерархический метод, при использовании которого модули располагаются на различных уровнях иерархии в зависимости от их значимости. Модули низшего уровня решают узконаправленные задачи, а модули, стоящие выше по иерархии, обеспечивают решение задач более высокого уровня путем управления функционированием модулей низшего уровня.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Судовые интегрированные системы (СИС), как правило, выполняют следующие функции: автоматизированное управление механизмами и системами машинного отделения, ходового мостика, управление главной энергетической установкой, управление электростанцией, управление техническими средствами грузовых систем различных типов судов, а также контроль параметров и аварийно-предупредительная сигнализация.

Основная задача, решаемая судовыми интегрированными системами, заключается в информационной поддержке решений, принимаемых обслуживающим персоналом, т.е. в обеспечении его своевременными, достаточными по объему и легко интерпретируемыми данными. Передача информации происходит с помощью компьютеризированных устройств, соединённых в единую информационную (компьютерную) систему. Связь оператора с компьютерными системами осуществляется посредством человеко-машинного интерфейса, объединяющего в себе совокупность средств, обеспечивающих взаимодействие обслуживающего персонала с управляемыми ими объектами и системами.

Все средства, входящие в информационную систему, обеспечивают решение ее главных (информационных) задач: 1) сбор, упорядочение, регистрация, защита, обработка и представление информации; 2) оперативная выдача необходимых данных; 3) оперативное выполнение заданий оператора; 4) контроль и устранение ошибок в информации, находящейся в памяти; 5) обновление хранящейся информации.

Как следует из вышеперечисленного, наиболее важными требованиями, предъявляемыми к СИС как информационным системам, являются требования к скорости процессов обработки, выдачи данных и оперативности выполнения заданий оператора.

На современном этапе развития технологий беспроводных средств связи еще не в полной мере используются все возможности эффективного использования человеко-машинного интерфейса. Поэтому тема исследования, направленного на повышение оперативности управления СИС путём усовершенствования человеко-машинного интерфейса является актуальной.

Цель нашего исследования заключается в повышении оперативности управления судовыми интегрированными системами путём усовершенствования человеко-машинного интерфейса за счёт добавления на уровень систем управления разработанного нами мобильного пульта управления и связи.

Важность повышения оперативности управления СИС определяется возможностью обслуживающего персонала [2] вовремя решать задачи управления судовыми механизмами, особенно во внештатных ситуациях. В условиях работы на судне члены экипажа не могут постоянно находиться около Центрального Пульта Управления для изменений параметров в случае изменения внутренних и/или внешних условий или воздействий [3].

Человеко-машинный интерфейс, входящий в состав СИС, должен отвечать требованиям эргономики, что позволяет операторам получать требуемое количество данных для выполнения задач управления, не перегружая их лишней информацией [4]. Из-за плохо спроектированного человеко-машинного интерфейса продуктивность работы оператора может значительно снизиться. Примерами могут служить таблицы или графики, на которые вынесены излишнее количество параметров, не связанных между собой [5, 6].

Для достижения цели работы были сформулированы и решены следующие задачи:

1. Критический анализ литературных источников, посвящённых изучению вопросов эффективности функционирования автоматизированных систем промышленных предприятий и современных судов.

2. Математическое моделирование структур СИС и составление иерархий информационных процессов в них при учёте в их структуре разработанного мобильного пульта управления и связи.

3. Построение структуры беспроводной информационной сети СИС с учетом разработанного мобильного пульта управления.

4. Разработка программного обеспечения, обеспечивающего достаточный уровень эргономичности интерфейса мобильного пульта управления и связи.

Основные функции контроля и управления техническими средствами выполняются интегрированными системами, но функции установки пределов норм параметров, отвечающих за техническое состояние средств и объектов, возлагаются на оператора. Поэтому система управления предполагает многоуровневую организацию, при которой оператор находится на тактическом уровне планирования целесообразных действий с учётом динамики исполнительных подсистем и с учётом состояния и текущих изменений внешней среды. В связи с вышесказанным разработанный мобильный пульт управления и связи должен использоваться на уровне управляющих систем, аналогично использованию центрального пульта управления или пульта управления интегрированных систем ходового мостика.

При построении структурной схемы СИС (рис. 1) за основу взята структура системы K-Chief 600, которая разделена на 4 уровня управления [7].

Анализ рис. 1 позволяет сделать заключение, что при разработке алгоритмов функционирования и структуры СИС необходимо также учитывать должностные обязанности и допуски членов экипажа к обслуживанию конкретных судовых технических объектов. Члены экипажа, занимающие должности с особыми допусками, должны быстро реагировать на внештатные ситуации, что не может быть выполнено без оперативного доступа к элементам СИС.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

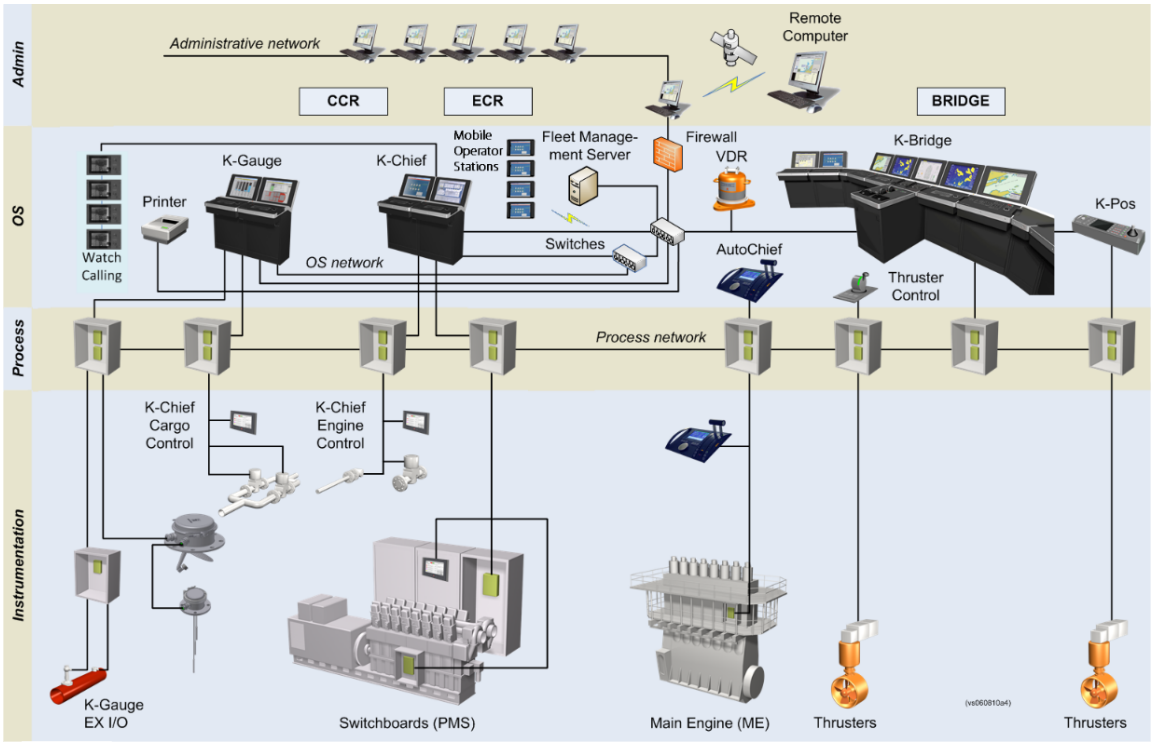


Рисунок 1 – Структура системы K-Chief 600 с учётом разработанных переносных пультов управления

Выводы. Судовые интегрированные системы предназначены для обеспечения эффективности и безопасности работы обслуживающего персонала. Современное развитие технологий беспроводных средств связи направлено на обеспечение беспроводного управления технологическими процессами. Использование в составе СИС разработанных переносных пультов управления позволит оперативно управлять технологическими процессами в зоне покрытия WiFi, что позволит увеличить оперативность управления и эффективность работы СИС в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Интегрированные системы ходового мостика / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Латстар, 2003. – 169 с.

2. Терензино Ф. В скором будущем интерфейс «человек-машина» станет привычным. Ф. Терензино // Control engineering, 2013. – № 6 (48).

3. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов; [отв. ред. И.М. Макарова]; Отделение информ. технологий и вычислит, систем РАН. – М.: Наука, 2006. – 333 с.

4. Фадул К., Скотт С., «Базовые элементы современного HMI» / К. Фадул, С. Скотт, В. Рентюк // Control engineering, 2018. – № 1(73).

5. Емельянова Ю.Г. Методы когнитивно-графического представления информации для эффективного мониторинга сложных технических систем / Ю.Г. Емельянова, В.П. Фраленко // Программные системы: теория и приложения. – Т. 9. – № 4(39).

6. Савкова Д. В поисках идеального HMI / Д. Савкова // Control engineering. –2017. – № 6(72).

7. Kongsberg K-Chief 600 Alarm and Monitoring System Operator Manual March, 2014 © Kongsberg Maritime AS.

УДК. 621:62.052.8

ПЕРСПЕКТИВЫ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ОТ АГРЕГАТОВ СЭУ

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

Аннотация. *Представлена задача разработки эффективной системы управления рециркуляцией дымовых газов судового вспомогательного котла для снижения содержания* NO_x *в уходящих газах.*

Ключевые слова. *Оксиды азота, система управления, вспомогательный котел, нейросеть*

PROSPECTS FOR REDUCING THE CONTENT OF HARMFUL EMISSIONS FROM MARINE POWER PLAN UNITS

V. S. Mikhailenko, Ph.D., Associate Professor
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract*. The task of developing an effective flue gas recirculation control system for a ship auxiliary boiler to reduce the NOx content in flue gases is presented.*

Keywords*. Nitrogen oxides, control system, auxiliary boiler, neural network.*

В настоящее время действует целый ряд подходов по уменьшению концентрации NO_x в дымовых газах оборудования СЭУ: первичные методы, заключающиеся в подавлении образования NO_x в топках котлов или камерах сгорания дизелей и вторичные методы снижения выбросов NO_x, заключающиеся в обработке дымовых газов после котла или дизеля [1]. Несмотря на большой объем выполненных исследований, работы большинства ученых направлены на снижение выбросов оксидов азота методами селективного каталитического и некаталитического восстановления оксидов азота [1]. Указанные методы хотя и обеспечивают высокую степень очистки дымовых газов, но при этом связаны со значительными финансовыми затратами и основаны на использовании опасных химических реагентов. Поэтому проблема разработки и внедрения на судах новых, экономически и экологически более эффективных методов очистки отработавших газов судовых дизелей и котлов от оксидов азота в связи со строгими требованиями Приложения VI МК МАРПОЛ является актуальной.

Известно, что снижение образования NO_x может быть достигнуто путем воздействия на максимальную температуру горения, что обеспечивается вводом газов рециркуляции. Дымовые газы с температурой 300–400°С отбираются перед воздухоподогревателем и рециркуляционным дымососом и подаются в топочную камеру. В результате максимальная температура в топке снижается на 120–130°С и падает концентрация кислорода в зоне горения, что также уменьшает образование топливных NO_x. При этом КПД парового котла снижается сравнительно мало (0,01–0,03% на 1% рециркулирующих газов) [2].

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Эффективность подавления образования оксидов азота при вводе газов рециркуляции определяется следующими факторами: место отбора газов на рециркуляцию; условиями их ввода в топочную камеру; степенью рециркуляции *r*, %; распределением газов рециркуляции по объему топочной камеры; состоянием котла.

Существует несколько способов ввода газов рециркуляции в топку:

– в под (нижней части) топки (процесс 1 на рис.1);

– в шлиц под горелками (процесс 2 на рис.1);

– в воздухопровод горячего воздуха (процесс 3 на рис.1);

– непосредственно в горелочное устройство в один из воздушных потоков или между потоками воздуха (процесс 4 на рис.1);;

– в поток топлива на горелку (процесс 5 на рис.1);.

Как показано на рис. 1 эффективность снижения выбросов оксида азота при реализации представленных способов существенно различается (рис. 1).

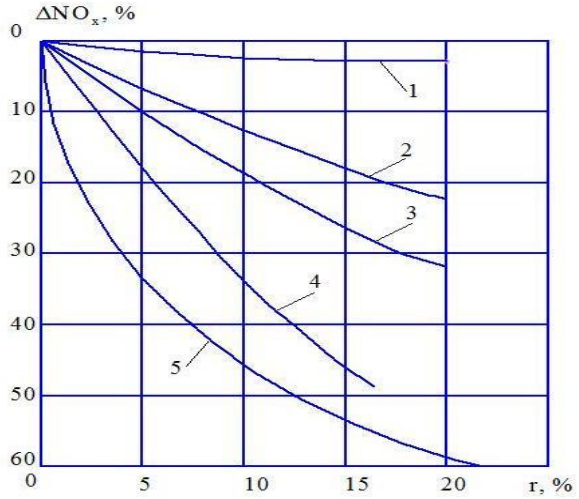


Рисунок 1 − Влияние способа ввода газов рециркуляции на снижение концентрации оксидов азота при сжигании топлива

Применение рециркуляции является одним из самых доступных и недорогих средств снижения образования оксида азота в топочных камерах агрегатов СЭУ. В ряде случаев, снижения выброса оксидов азота в эксплуатационных условиях на 30–35 % можно осуществить без какой-либо реконструкции. Так, в исследованиях ВТИ [2], проведенных при сжигании мазута в промышленном парогенераторе ТГМП-114 с прямоточными горелками, такое снижение достигалось даже при подаче рециркулирующих газов с r =23 % при T = 350 ºС через шлицы, расположенные под каждой горелкой при номинальной и 58 %-й нагрузках. Эффективность рециркуляции тем больше, чем выше температура в зоне горения. Она снижается при:

– уменьшении нагрузки котла;

– уменьшении температуры горения топлива;

– увеличении коэффициента избытка воздуха;

– повышении содержания азотосодержащих соединений в топливе.

Технически возможно обеспечить рециркуляцию и без специального рециркуляционного дымососа. Для этого в дымоходе котла вблизи дымососа устанавливается специальный шибер, позволяющий регулируемо отбирать около 20 % дымовых газов направлять их на вход дутьевого вентилятора [2]. Использование данных технологических решений, направленных на снижение вредных выбросов, с учетом их эффективности представляется перспективным направлением и в агрегатах СЭУ.

С целью апробации представленной технологии снижения содержания вредных выбросов, проведено моделирование САУ рециркуляцией дымовых газов в воздуховод парового котла (рис 2).

Для обучения нейросетевого регулятора (FFC) в САУ горения, на основе экспериментальных данных [3] была составлена обучающая выборка коррекции коэффициента избытка воздуха (α) в зависимости от паровой нагрузки котла (табл.1) для достижения минимально возможного значения NO_x.

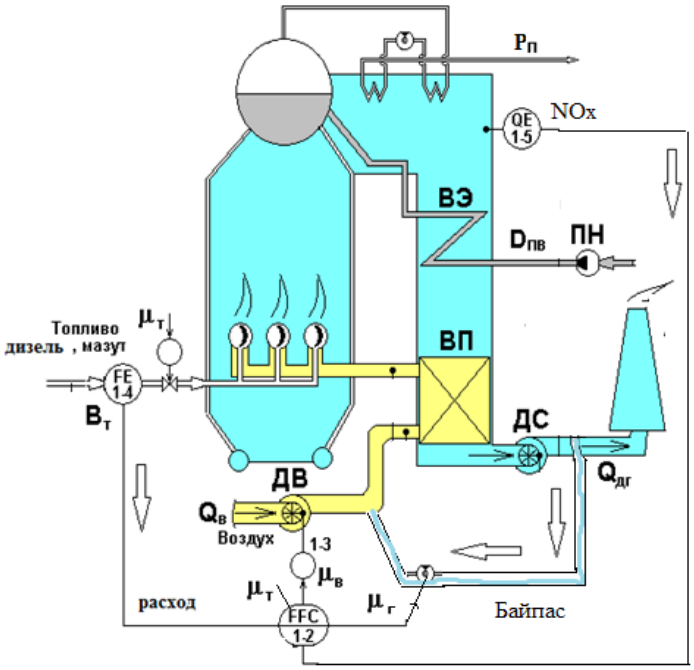


Рисунок 2 – Схема системы нейросетевой системы управления процессом горения жидкого топлива в топке главного водотрубного судового парогенератора марки Mitsubishi Marin Main Boiler MB паропроизводительностью 120 т/ч: ДС – дымосос; ДВ – дутьевой вентилятор; ВП – воздушный подогреватель; ВЭ – водяной экономайзер; ПН – питательный насос; QE –газоанализатор; FFC –регулятор рециркуляции; FE – расходомер.

Таблица 1 – Обучающая выборка для НСК оптимального режима горения топлива по критериям минимизации NO_x и достижения максимально возможного КПД котла

Нагрузка котла, %	10	30	50	70	90
α	1,1	1,18	1,21	1,25	1,32
NO_x * 100 мг/м^3	1	4	6	7,8	8,3

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

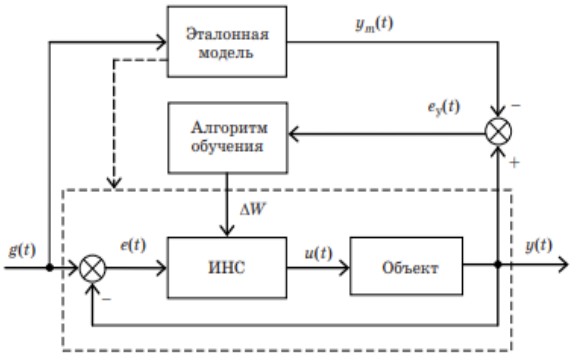


Рисунок 3 – Схема обучения нейросетевой системы управления (НСУ): ΔW – весовые коэффициенты; $y(t)$ – регулируемый выходной параметр; $g(t)$ - задание; $e(t)$ - ошибка; $y_m(t)$ – эталонный (модельный) выходной параметр (содержание NO_x); $e_y(t)$ – ошибка алгоритма обучения; ИНС – искусственная нейронная сеть (регулятор)

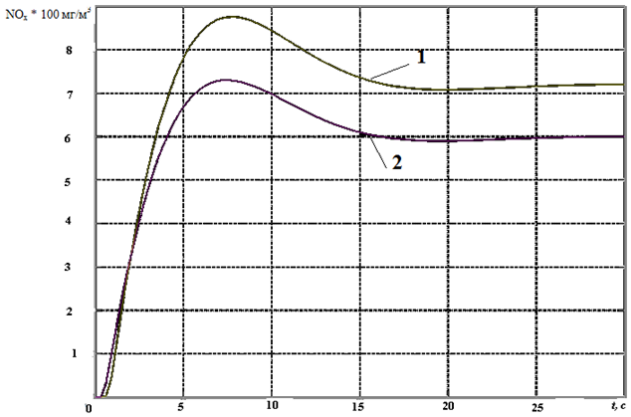


Рисунок 4 – Переходные процессы регулирования содержания NO_x в уходящих газах судового котла: 1 – традиционная САУ (α = 1,3); 2- нейросетевая САУ (α = 1,15)

Схема обучение нейронной сети являющейся ключевым механизмом работы адаптивной нейросетевой системы оптимального горения топлива приведена на рис.3. С учетом простоты и наличия библиотеки элементов ИНС, для обучения нейросетевого контроллера (НСК) были использованы специализированные программные редакторы в пакете MatLab. Предложенная нейросетевая САУ процесса горения кроме поддержания максимально возможного КПД судового котла в зависимости от нагрузки, минимизирует содержание NO_x в уходящих газах.

Выводы. Моделирование предлагаемой нейросетевой САУ и традиционной САУ процесса горения при работе судового котла с 50 % нагрузкой показало преимущество нейросетевой системы управления обученной на достижение минимально возможного содержания вредных выбросов в атмосфере. Сравнительный анализ переходных процессов САУ (см. рис. 4) продемонстрировал уменьшение содержание NO_x на 14 % по сравнению с типовой системой управления с ПИД – регулятором. Таким образом, использование предлагаемой структуры управления представляется перспективной для внедрения на судах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хачоян М.М. Снижение выбросов оксидов азота с отработавшими газами судовых дизелей и котлов абсорбцией водой: автореферат диссертации кандидата тех. наук. ГМУ им. Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск, 2013. // http://www.dslib.net/sudov-energoustanovki/snizhenie-vybrosov-oksidov-azota-s-otrabotavshimi-gazami-sudovyh-dizelej-i-kotlov.html.

2.Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире [Электронный ресурс]. // http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/intro

3. Boiler Construction and Design: [Электронной ресурс]. Режим доступа www.marineinsight.com

УДК 621.436.2

АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПУСКОМ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬ ГЕНЕРАТОРА НА БАЗІ ТЕОРЕМИ ФЕЛЬДБАУМА

В. С. Луковцев, к.т.н., доцент
Д. С. Стеблинський, магистрант
С. М. Сакали, старший викладач
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: *Робота присвячена опису використання оптимального алгоритму пуску суднового дизель-генератора на базі теореми Фельдбаума. Застосування даного алгоритму дозволить здійснити розгін суднового дизель генератора на номінальну частоту обертання за найбільш короткий проміжок часу, при цьому запобігаючи виходу на позамежні швидкості.*

Ключові слова: *оптимальне управління, теорема Фельдбаума, аварійний дизель генератор, оптимальний алгоритм пуску.*

METHOD OF OPTIMAL CONTROL OF STARTING AND ACCELERATION OF A SHIP DIESEL GENERATOR BASED ON THE FELDBAUM THEOREM

V. S. Lukovtsev, PhD, Associate Professor
D. S. Steblinsky, Master Student
S. M. Sakaly, Senior Lecturer
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *The paper deals with the description of using the optimal algorithm for starting a ship diesel generator based on the Feldbaum theorem. Application of this algorithm will allow to accelerate the ship diesel generator at the rated speed in the shortest period of time, while preventing the exit at exterior speeds.*

Keywords: *optimal control, Feldbaum theorem, emergency diesel generator, optimal start-up algorithm*

Постановка проблеми. Світові морські перевезення вантажів за останні 15 років практично щорічно зростають, що тягне за собою збільшення складу світового транспортного флоту. Як наслідок - щодня тисячі судів виконують вантажні операції або ж у шляху до наступного порту. Тому виникає питання надійності, адже завжди є можливість виникнення несправності. І згідно з правилами Регістру, крім головної суднової електростанції, на всіх пасажирських суднах, що перевозять більше 12 пасажирів, навчальних, експедиційних, криголамних, китобійних, а також на всіх нафтоналивних судах повинна бути аварійна електростанція.

Тому в даній роботі розглядається спосіб скорочення часу пуску аварійного дизель-генератора шляхом використання алгоритму «швидкого пуску», який характерний тим , що в момент пуску забезпечується максимальна подача палива до моменту виходу обертів на номінальні умови. Однак при використанні такого методу необхідно врахувати небезпеку виходу двигуна на позамежні

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

умови і запобігти зупинці двигуна захистом. Даний алгоритм «швидкого пуску» можна також встановити і на основних дизель генераторах в разі потреби, але необхідно врахувати, що постійне використання може призвести до погіршення параметрів надійності самого агрегату з точки зору механіки, оскільки в момент пуску він працює на максимальних характеристиках.

Методи рішення. Алгоритм «швидкого» пуску можливо реалізувати за рахунок використання теореми Фельдбаума, а саме якщо об'єкт управління описується лінійними диференціальними рівнянням n-го порядку з постійними коефіцієнтами і корені його характеристичного рівняння дійсні, негативні або нульові, то для оптимального управління необхідно і достатньо n інтервалів максимального значення управління ± U_max, а знаки на інтервалах повинні чергуватися (n-1) раз.

Для реалізації оптимального управління необхідно визначити моменти перемикань.

Об'єкт управління в даній статті є судновий дизель генератор і його система паливо подачі в яку був інтегрований функціональний блок алгоритму «швидкого запуску» з перемикачем режиму роботи.

Де Мн, Мкрут - момент навантаження, що створюється генератором і крутний момент, що розвивається дизелем, відповідно;

P, Q, U, f -активна і реактивна потужності синхронного генератора, напруга на його шинах і частота, відповідно;

w_p, w -частота обертання валу дизеля і валу регулятора, відповідно;

z - координата положення муфти регулятора;

hд - координата положення рейки паливного насоса.

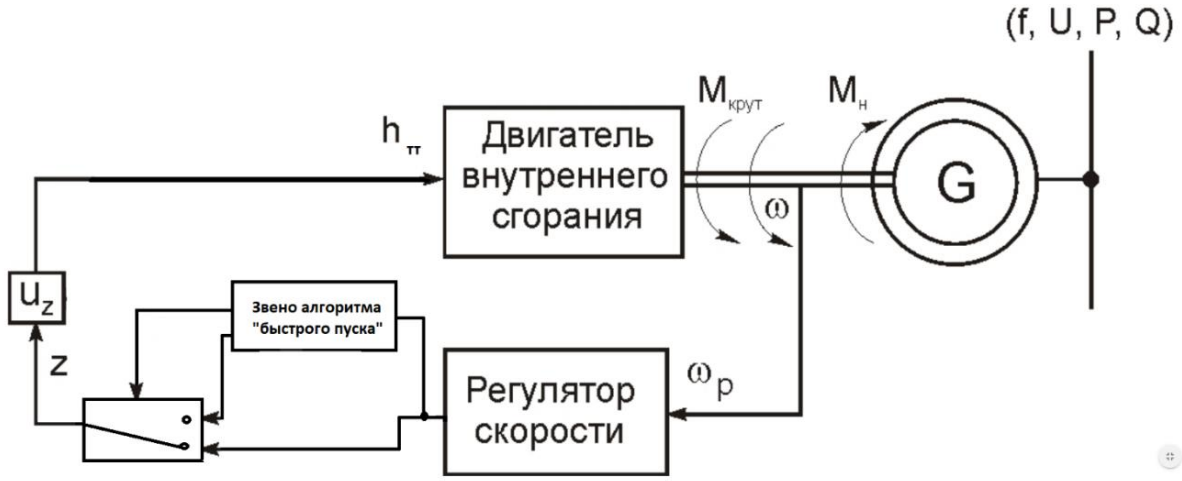


Рисунок 1- Функціональна схема дизель генератора з алгоритмом "швидкого запуску".

Така система описується лінійним диференціальним рівняння другого порядку :

$$T_1 \frac{d^2w}{dt^2} + K_d \frac{dw}{dt} + К_1 w = h_{тт} - М_н \quad (1)$$

де T_1- постійна часу дизель-генератора;
K_d- коэффициент самовыравнивания дизеля;
$К_1$ - коефіцієнт самовирівнювання дизеля;
$h_{тт}$ - координата положення рейки паливного насоса;
$М_н$ - момент навантаження створюється генератором;
w- частота обертання валу дизель-генераторного агрегату.

Для визначення моментів перемикання використовується метод стикування рішення диференціального рівняння зі знакозмінної правою частиною:

$$\begin{cases} x = C_{11}\, e^{\alpha_1 t_1} + C_{12}\, e^{\alpha_2 t_1} + U_{max} \\ x' = \alpha_1 C_{11}\, e^{\alpha_1 t_1} + \alpha_2 C_{12}\, e^{\alpha_2 t_1} \end{cases} \quad (2)$$

де α_1, α_2 -корні характеристичного рівняння
C_{11}, C_{12} – постійні інтегрування
t_1- час перемикання

Вирішуючи далі за умовами методу стикування використовуючи початкові умови знаходимо момент часу перемикання t_1.

Обґрунтовуючись даними з дослідження теореми Фельдбаума ми можемо побачити процеси в об'єкті управління під час пуску з інтегрованим функціональним блоком алгоритму «швидкого запуску»:

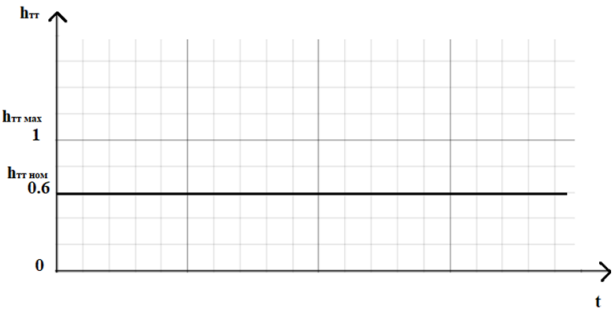


Рисунок 2 – Стан координати паливної рейки під час нормальної пуску

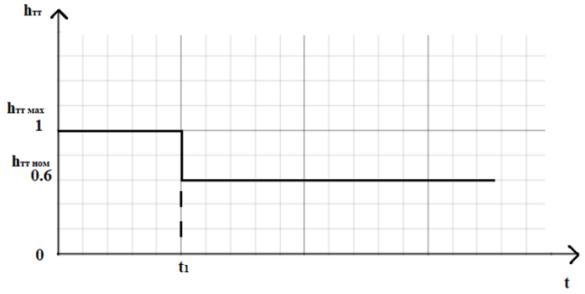


Рисунок 3 – Стан паливної рейки при використанні алгоритму «швидкого пуску»

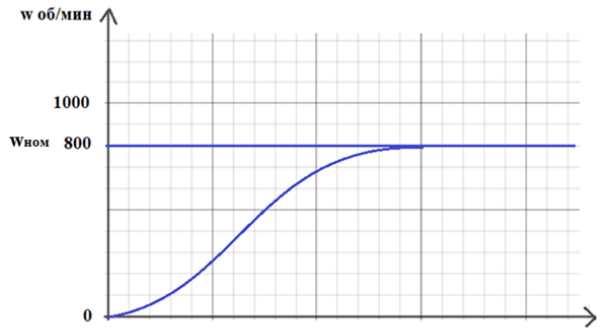


Рисунок 4 – Крива розгону дизель генератора в звичайному режимі подачі палива

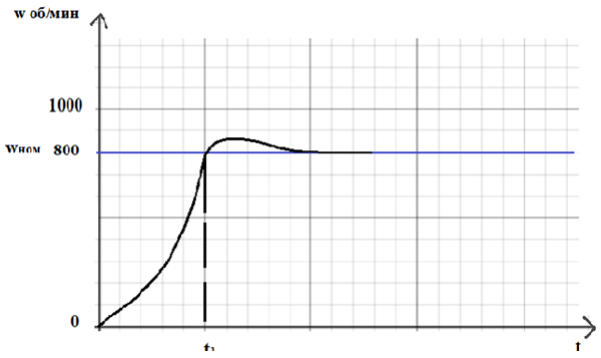


Рисунок 5 – Крива розгону дизель генератора за допомогою алгоритму «швидкого запуску»

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Висновок. Аналізуючи графіки можна побачити, що застосування даного способу управління запуском сприяє зменшенню часу входу ДГ в номінальний режим роботи, що є визначальним при виборі способу управління в аварійних режимах, і режимах роботи з відповідальними навантаженнями, де потрібна максимальна швидкість реакції системи управління. Застосування формули Фельдбаума дозволяє розрахувати з необхідною точністю часові константи для застосування на реальних об'єктах управління.

ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматические системы управления судовых дизельных и газотурбинных установок В.И. Ланчуковский А.В. Козьминых. Учебник.-М.: Транспорт, 1983.-320с.
2. Тимофеев Ю.К. Оптимизация судовых систем управления Учеб.пособие –М.:В/О «Мортехинформреклама» , 1990- 72с
3. Суевалов И.Г. Справочник по расчетам судовых автоматических систем.- Л.Судостроение , 1977-376с.
4. Кузнецов С.Е. Основы экплуатации судувого электрооборудования и средств автоматизации: Учеб. для вузов, - М.:Транспорт. 1991.231 с.
5. Документация судового дизель генератора от SASEBO HEAVY INDYSTRIES
6. Зырянов В.М. Методические указания к практическому занятию по курсу «Судовые автоматизированные электроэнергетические системы» / В.М. Зырянов, А.Б. Мосиенко, С.В. Федоров Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006.
7. Епишин А.Ю диссертация на тему «МЕТОД УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ ТЕПЛОВОЗНОЙ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ» Москва - 2018
8. Стенин В.А. СГЭО. Расчет судового дизеля – Архангельск: САФУ им. М.В. Ломоносова, 2014-250с.

УДК 621.313

АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ И СПОСОБЫ ИХ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

А. Н. Рак, к.т.н., доцент
Донецкий национальный технический университет
А. Г. Калуев, к.т.н., доцент
Национальный университет «Одесская морская академия»
С. В. Бабий, студент
Одесский национальный морской университет

Аннотация: *В докладе представлена актуальность процесса производства и распределения электроэнергии на морских судах мирового флота путем автоматического регулирования напряжения и частоты и связанных с ними реактивных и активных мощностей синхронных генераторов.*

Ключевые слова: *Автоматический регулятор напряжения, качество электроэнергии, генераторный агрегат, исполнительный элемент, микропроцессор, статизм, трасформатор тока, отрицательная обратная связь, широтноимпульсное модулирование, компаратор, микроконтроллер.*

AUTOMATIC VOLTAGE REGULATORS OF SYNCHRONOUS GENERATORS AND METHODS FOR THE THEIR TECHNICAL IMPLEMENTATION

O. M. Rak, PhD, Associate Professor
Donetsk National Technical University
A. G. Kaluev, PhD, Associate Professor
National University "Odessa Maritime Academy"
S. V. Babiy, Student
Odessa National Maritime University

Abstract. *In the article are the relevance of the production and distribution electrical power on the world marine fleet are introduced by automatic regulation of voltage frequency and related with the reactive and active powers of synchronous generators.*

Key words. *Automatic regulator of voltage, quality of electrical power, generating set, active element, (slave unit), microprocessor, statism, current transformer, negative feed- back, pulse - width modulation, comparator, microcontroller.*

Автоматическое управление процессом производства и распределения электроэнергии на морских судах предусматривает регулирование напряжения и частоты, в том числе связанных с ними реактивной и активной мощностей синхронных генераторов (СГ) или реактивной мощности синхронных компенсаторов.

Таким образом, напряжение и частота в судовых электростанциях считаются основными показателями качества электрической энергии, которые должны соответствовать требованиям Российского морского регистра судоходства (РМРС).

На рис.1, в качестве примера, показана элементарная электроэнерго система судового генераторного агрегата (ГА), включающая: приводной дизель (Д) и генератор (Г), линию электропередачи с полным сопротивлением в линии $\underline{Z}_{л,}$ и шины от которых питаются электроэнергией потребители (приемники).

В идеальных условиях напряжение и частота тока у потребителей судовой электросети должны быть неизменными и равными номинальным их значениям: $U_{пр.ном}$; $f_{ном}$. Касательно напряжения, главным требованием является то, чтобы оно было различным, а частота переменного тока оставалась неизменной.

В частности, напряжение генератора $U_г$ на его выводах должно изменяться в зависимости от тока в линии $I_л$ судовой електросети в соответствии с известным равенством:

$$\underline{U}_г = \underline{U}_{ПР.НОМ} + \underline{I}_л \cdot \underline{Z}_л . \qquad (1)$$

Однако, в процессе работы энергетической системы непрерывно происходят изменения потребляемой и соответственно вырабатывамой судовыми генераторами мощности.

Для обеспечения устойчивости и надежности работы системы, на Д и Г устанавливаются автоматические устройства регулирования частоты (АРЧ) и напряжения (АРН). Устройство АРЧ должно автоматически поддерживать

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

неизменную частоту вращения приводного Д, а устройство АРН автоматически изменять напряжение Г в соответствии с (1).

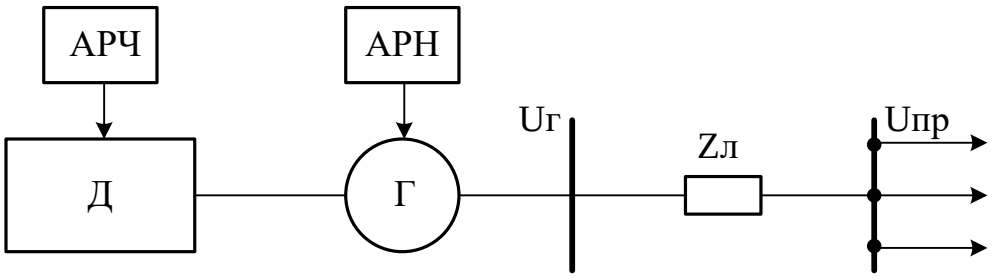


Рисунок 1 – Схема элементарной судовой электроэнерго системы

Изменения напряжения и частоты особенно резко проявляются в аварийных ситуациях, к примеру: при коротких замыканиях в сети, при внезапных отключениях генераторов большой мощности и т.п. В этих условиях нарушается баланс мощностей между, вырабатываемых приводными Д и генераторами Г.

По причине этих обстоятельств, отдельные генераторы могут получать значительные ускорения по отношению к другим и выходить из синхронизма. Поэтому, опыт эксплуатации энергетических систем показывает, что исключительное и важное значение для устойчивой работы энергосистемы имеет быстродействующее регулирование, как частоты вращения ГА так и соответственно вырабатываемого напряжения.

Следует заметить, что в целях поддержания надлежащего уровня судового напряжения и частоты тока в энергосистеме, необходимо осуществлять соответствующие изменения напряжения в системе возбуждения генераторов, путем регулирования реактивной мощности.

Это осуществляется путем изменения тока возбуждения, и тем самым, обеспечивая восстановление напряжения, а также путем регулирования активной мощности изменением подачи топлива в дизель, с целью восстановления частоты тока.

Автоматический регулятор напряжения, как правило, состоит из следующих основных явно или неявно выраженных частей и элементов (рис.2):

- измерительная часть (ИЧ), формирующая значение и знак отклонения регулируемой величины от заданного значения (сигнал по отклонению, например $\Delta U_г$) и других сигналов;
- усилитель (У), в общем случае операционный;
- логическая часть (ЛЧ), координирующая прохождение сигналов измерительной части и операционного усилителя;
- исполнительный элемент (ИЭ), производящий регулирующее воздействие (РВ) для соответствующего изменения заданного значения первичного фактора, воздействующего на возвращение регулируемой величины (параметра, координаты) к ее первоначальному или другому заданному значению.

Измерительная часть может состоять из нескольких измерительных органов. В измерительную часть обычно входит так называемый задающий элемент, устанавливающий заданное (предписанное) значение регулируемой вели-

чины, например $U_{г.зад}$, для сравнения с ее действительным (действующим) значением показаний измерительных приборов.

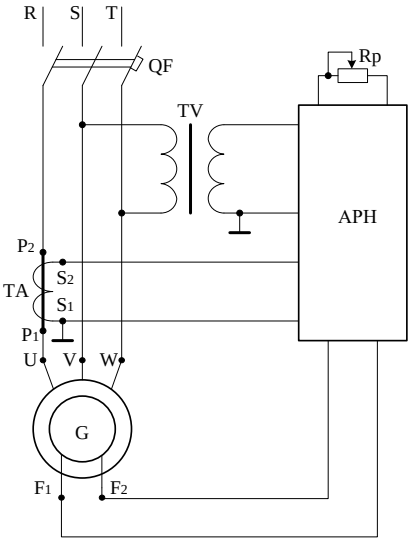


Рисунок 2 – Функциональная схема автоматического регулятора напряжения

Поэтому в автоматических системах регулирования всегда имеются:

- цепи отрицательных обратных связей (ООС), задача которых обеспечить стабилизацию процесса регулирования;
- элементы статизма, обеспечивающие определенную характеристику регулирования;
- устройства распределения активной и реактивной нагрузки генераторов и др.

Всякое новое состояние устойчивого равновесия может наступить:

- когда регулируемая величина вернется к своему первоначальному значению (предшествующему переходному процессу);
- или когда регулируемая величина примет какое-то новое значение в соответствии с заданным законом ее изменения.

В [2] и на рис. 3 приведены характеристики регулирования СГ.

В случае (рис.3, А) регулирование выглядит как зависимое, а в случае рис.3, Б - независимое.

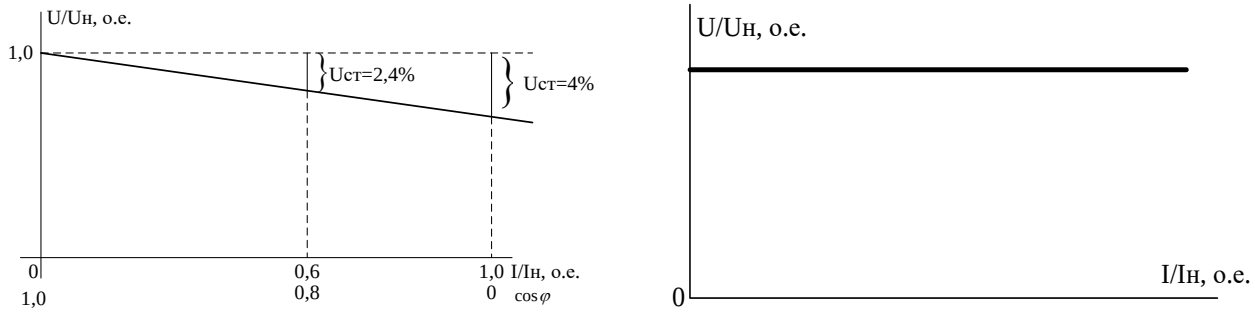


Рисунок 3 – Характеристики регулирования СГ: А – статическая; Б – астатическая

Для поддержания, в допустимых пределах уровня выходного напряжения при изменении тока нагрузки от нуля до номинального значения, используются

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

системы автоматического регулирования напряжения, структурные схемы которых приведены на рис.4 и рис.5.

Текущее значение выходного напряжения в зависитмости от входного напряжения снимается с помощью трансформатора напряжения TV и преобразуется в постоянное с помощью выпрямителя В1, а также посредством сглаживающего фильтра Ф1.

Регулируемый делитель напряжения РДН позволяет подстроить уровень постоянного напряжения для дальнейшей работы системы.

Полученное постоянное напряжение сравнивается в компараторе Ком 1 с выходным сигналом генератора линейно-изменяющего напряжения (ГЛИН). В результате чего, на выходе компаратора Ком 1 формируются прямоугольные импульсы, с постоянным периодом и изменяющейся длительностью, в зависимости от уровня постоянного напряжения.

Таким образом, реализуется принцип широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Выходной сигнал компаратора коорректируется до требуемого уровня с помощью ограничителя напряжения ОН, при необходимости, который управляет работой транзисторного ключа Кл, включенного последовательно с обмоткой исполнительного двигателя, который в свою очередь управляет величиной тока, потребляемого от источника питания ИП.

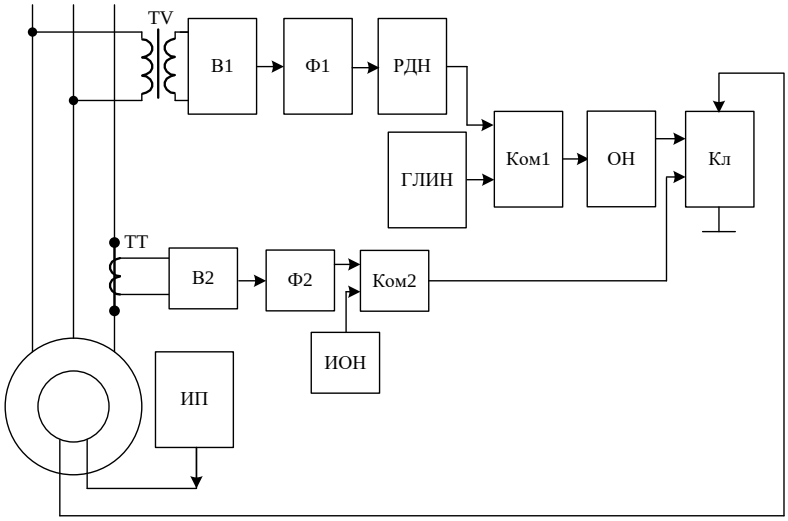


Рисунок 4 – Структурная схема аналогового автоматического регулятора напряжения

Регулирование напряжения производится при изменении тока нагрузки от нуля до номинального значения. Контроль величины тока нагрузки осуществляется с помощью трансформатора тока ТТ, выходной сигнал которого преобразуется в постоянное напряжение с помощью выпрямителя В2 и сглаживающего фильтра Ф2.

Полученное постоянное напряжение, пропорциональное току нагрузки, сравнивается в компараторе Ком2 с опорным, соответствующим номинальному значению тока нагрузки. При превышении текущего значения тока нагрузки над номинальным компаратор Ком2 срабатывает и запрещает работу транзисторного ключа КЛ.

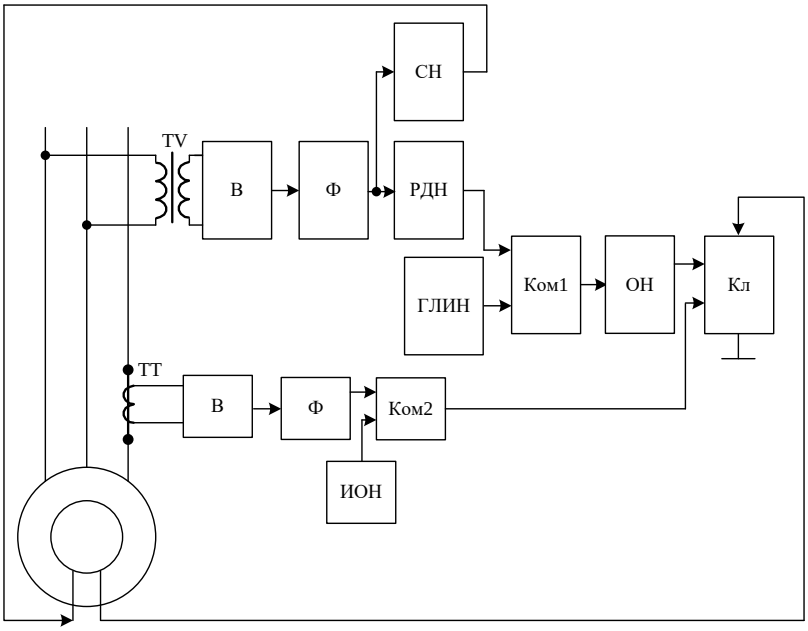


Рисунок 5 – Структурная схема аналогового автоматического регулятора напряжения – стабилизатора напряжения (в качестве источника питания)

Выводы:

1. Рассмотренные аналоговые схемы, применяемые для регулирования напряжения, имеют ряд недостатков, наиболее существенными из которых являются:

- сравнительно невысокая точность, определяемая соотношением диапазона изменения напряжений полезных сигналов с уровнями помех, дрейфа нуля усилителей и т.п., к примеру, в диапазоне изменения информационных сигналов от -10В до +10В;

- при уровне различных помех, в схеме от -0,1В до +0,1В, относительная погрешность устройства не может быть менее $\left(\frac{0{,}1}{10}\right)\cdot 100\% = 1\%$,что зачастую недопустимо;

- для перенастройки параметров или изменения алгоритма функционирования необходимо изменить схему устройства (т.е. вносить в него аппаратные изменения).

2. Преодоление указанных недостатков можно осуществить с помощью цифрового способа представления и обработки информации за счет внедрения микропроцессорных систем управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI. Электрическое оборудование. НД №2 – 020101- 087. Российский морской регистр судоходства. Электронный аналог печатного издания, утвержденного 30.09.15. Санкт-Петербург, 2016г.- 130с.

2. Балагуров В.А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока: Учеб. Пособие для студентов вузов. – М.: Высш.школа, 1982. - 272с., ил.

3. Operating Instructions Synchronous Generator. Common items. Instruction Manual. Hyundai heavy industries Co., Ltd. Электронный ресурс.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

УДК 621.313

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА В ДЕЙСТВИЕ РЕЗЕРВНОГО ГЕНЕРАТОРА

А. Н. Рак, к.т.н., доцент
Донецкий национальный технический университет
А. Г. Калуев, к.т.н., доцент
Национальный университет «Одесская морская академия»
С. В. Бабий, студент
Одесский национальный морской университет

Аннотация: *В статье рассматриваются вопросы создания систем автоматического ввода в действие резервных генераторов в судовых электроэнергетических системах посредством ПЛК.*

Разработанная система может быть использована в составе тренажерных комплексов, а также позволяет приобрести навыки и умения по сборке непосредственно систем, наладке и программированию ПЛК и совершенствованию действий оператора без использования дорогостоящего электромеханического оборудования.

Ключевые слова: *система, генераторный агрегат (ГА), дизель-генератор (ДГ), аппаратура, автоматизация, программа, логика, контроллер, синхроноскоп.*

USING OF PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS IN SYSTEM FOR AUTOMATIC STARTING OF THE BACKUP GENERATOR

O. M. Rak, PhD, Associate Professor
Donetsk National Technical University
A. G. Kaluev, PhD, Associate Professor
National University "Odessa Maritime Academy"
S. V. Babiy, Student
Odessa National Maritime University

Abstract: The article deals with the creation of systems for the automatic commissioning of backup generators in ship electrical power systems. It is proposed to use a system with a PLC. The developed system can be used as part of training complexes, and also allows you to acquire skills and abilities in assembling the systems themselves, adjusting the programming of the PLC, and improve skills in working out actions without using expensive electromechanical equipment.

Keywords: system, generating, set diesel generator, equipment, automation, program, logic, controller, synchronoscope.

Современные автономные судовые электростанции на мировом флоте характерны своим большим многообразием, поскольку предназначены для обеспечения электроэнергией специфических потребителей, конкретного типа и класса судов или военных кораблей.

Но, в подавляющем большинстве, автономная электростанция включает в себя несколько синхронных генераторов принятого международного стандарта напряжений, от 0.4 до 10 кВ.

Выбор энергетической установки в зависимости от назначения судна оказывает влияние на схемы судовой электрической сети в целом.

Таким образом, судовая электроэнергетическая система (СЭЭС) является единым электротехническим комплексом, предназначенным для бесперебойно-

го снабжения судовых потребителей электрической энергией и требуемым ее количеством и качеством.

Классическая схема генерирования и распределения электроэнергии СЭЭС, содержит два-три генераторных агрегата (ГА), которые включают в себя дизель (Д) и генератор (Г), работающих в параллельном режиме для обеспечения общей системы распределения электроэнергии через главный распределительный щит (ГРЩ).

Через ГРЩ и ряд электрораспределительных устройств (ЭРУ) электроэнергия поступает к различным ее потребителям, которые могут подключаться, по сути, в случайные моменты времени.

Проблема автоматического ввода в действие резервных генераторов сама по себе не является новой, поскольку существует достаточное количество литературных источников информации, в том числе и нормативных, касающихся данной тематики [1,2].

Однако, все существовавшие до настоящего времени системы создавались в основном на уже устаревающей аналоговой элементной базе и были достаточно громоздкими или же все операции распределения электроэнергии производились операторами СЭЭС вручную.

В настоящее время, наряду с широким внедрением в системы автоматизации программируемых логических контроллеров (ПЛК), задача процесса автоматизации значительно упрощается.

Целью данного научного исследования является разработка системы автоматического ввода в действие резервного генератора на базе ПЛК «Овен» 63/67, производства Российской Федерацйии (РФ), которые на порядок дешевле известных зарубежных аналогов.

Для этого, следует применять специальные системы синхронизации параллельно включаемых генераторов, в том числе, решающих задачи распределения активной и реактивной мощностей. В то же время, эти системы должны обеспечивать надлежащее качество электроэнергии по всем контролируемым параметрам и с высокой точностью поддерживать частоту тока на всех режимах работы судна, независимо от внешних условий.

Таким образом, современная судовая автоматизированная электростанция (САЭС) может быть разделена на следующие основные части:

1. Объект управления, включающий в себя генераторный агрегат (ГА).
2. Управляющая часть комплекса, которая своими устройствами, осуществляет автоматическое регулирование режимных параметров ГА (стабилизацию напряжения, частоты), распределение активной и реактивной нагрузки, устранение обменных колебаний между параллельно работающими ГА.
3. Управляющая часть комплекса, с помощью которой осуществляется ручное управление режимными параметрами ГАи в целом всей структурой цепи главного тока.

Перед подключением в параллель двух генераторов или генератора с электросетью, проверяются и настраиваются следующие параметры:

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

а) Порядок чередования фаз выходного напряжения на силовых клеммах генераторов;

б) Равенство частот выходного напряжения;

в) Равенство выходных напряжений генераторов;

г) Синфазность напряжений обоих генераторов.

Типовая схема соединения двух генераторов показана на рис.1.

Порядок чередования фаз всех параллельно включенных генераторов должен совпадать.

Для трёхфазных генераторов переменного тока применяется цветовая (буквенная) кодировка. Провод красного цвета (U), желтого (V) и голубого (W). Соединения с объединительными шинами должны быть одинаковыми для каждого из генераторов.

Значения напряжения генераторов не должны существенно отличаться. Для этого, панели управления ГА имеют регуляторы напряжения, позволяющие установить равенство напряжений на выходах обоих генераторов. Эта регулировка производится до параллельного включения ГА.

Выходное напряжение генератора должно быть синфазно напряжению, вырабатываемому другими генеароторами, включаемыми в параллель, что обеспечивается подстройкой частоты, подключаемого генератора.

Контроль синфазности выходных напряжений производится синхроскопом или простейшим трехламповым индикатором (рис.1.1).

При этом, три лампы накаливания устанавливаются по кругу на радиусах исходящих из центра под углом 120^0 относительно друг к другу и подсоединяются параллельно главному силовому выключателю подключаемого генератора. Две лампы соединяются как перемычки между двумя цепями, а третья - параллельно выключателю одной из фаз.

При сближении значений частот все три лампы, с увеличивающимся периодом медленно загораются и гаснут в порядке, зависящем от того, у какого из генераторов частота напряжения выше. Соответственно обороты и частота, подключаемого генератора регулируется до тех пор, пока лампа, параллельная выключателю одной из фаз, не перестанет загораться.

В это время две остальные лампы, соединенные в роли перемычек между двумя фазными цепями, не начнут постоянно гореть с максимальной яркостью. Это подтверждает синхронизацию и синфазность вырабатываемого обоими генераторами напряжения, и при этом ГА должны иметь одинаковые регуляторные характеристики.

Следует заметить, что на судах с классом автоматизации А1 вовремя некоторых переходных режимов имеют место случаи полного обесточивания судна, а на судах с классом автоматизации ниже, наблюдаются проблемы, в том числе, на установившихся режимах работы судовой электростанции.

В случае, изменения вращающего момента ротор генератора смещается относительно статора, что определяет величину активной мощности генератора.

Изменение вращающего момента производится регулированием подачи топлива в приводной дизель посредством серводвигателя регулятора скорости вращения, управляемого оператором дистанционно и непосредственно с ГРЩ.

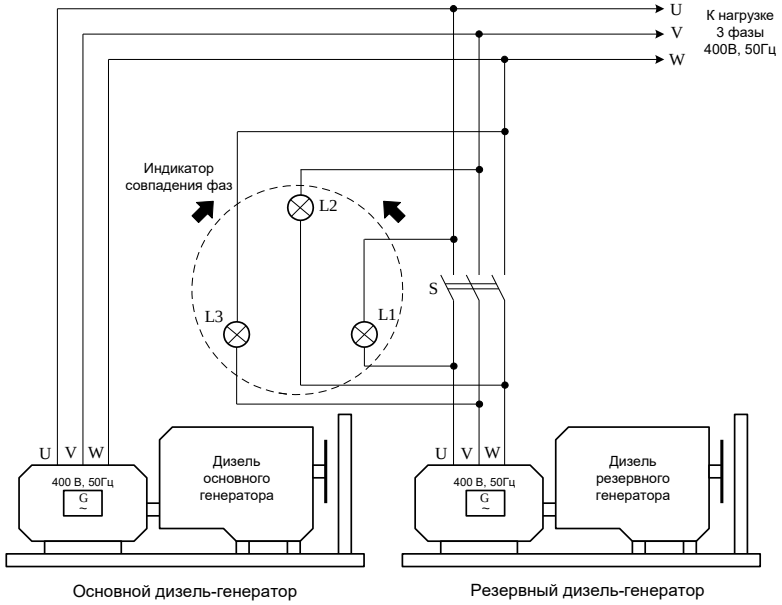


Рисунок 1 – Включение синхронных генераторов вручную с контролем синфазности входных напряжений с помощью синхроноскопа

В соответствии с подходом, изложенным выше, была разработана система автоматического управления вводом в действие резервного ГА, в случае перегрузки ГА, находящегося в работе.

С целью создания системы автоматического управления ГА был использован программируемый логический контроллер (ПЛК) «Овен» ПЛК 63/73.

Для визуализации работы резервного и работающего ГА и обеспечения наглядности всего управления, с применением программного обеспечения ПЛК разработана соответствующая программа.

На рис.2. приведен пульт автоматического управления системой. При этом, в исходном состоянии все органы управления обнулены.

На пульте представлены органы управления и индикация: **«VRG»** - включение резервного ГА; **«PRG»** - подключение резервного ГА к сети; **«VMP»** - включение маслопрокачивающего насоса; **«ZRN»** - запуск резерва невозможен; **«rez»** - сигнализация о необходимости включения резерва; **«OT»** - проверка наличия топлива. Органы задания: температуры и давления масла резервного генератора; частоты вращения и тока работающего ведущего генератора; частоты и тока резервного генератора; управление синфазностью напряжений.

Принцип действия системы базируется на сравнении фактических величин, определяющих работу генератора (тока и частоты вращения,частоты питающей сети) работающего генератора с допустимыми значениями. В случае выхода указанных величин за допустимые пределы, формируется команда на запуск резервного генератора. Однако, для обеспечения пуска резервного генератора необходимо осуществить целый ряд условий: проверку наличия топлива, соответствующей температуры и давления масла.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

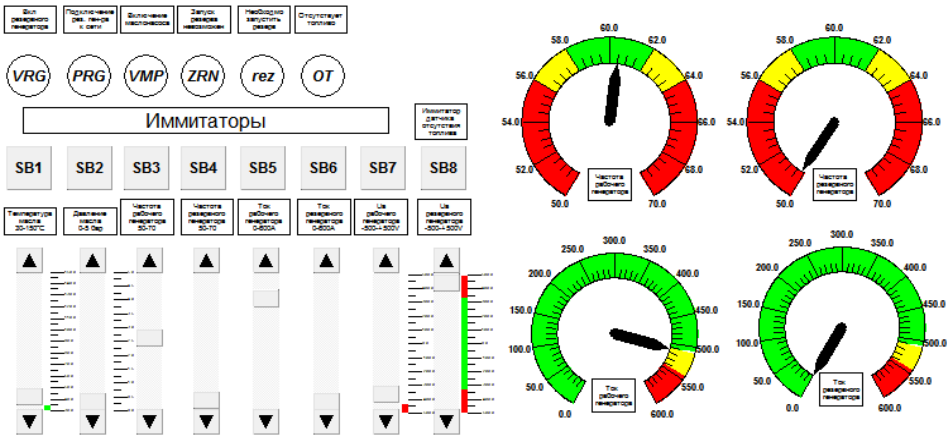


Рисунок 2 – Схема пульта системы управления автоматическим вводом в действие резервного генератора

После соблюдения всех этих условий резервный генератор выводится на номинальную частоту вращения. Контроль равенства частот вращения осуществляется по показаниям штатных или внешних частотомеров. При этом, с максимально возможной точностью, устанавливается равенство частот вращения генераторов.

При соблюдении синфазности напряжений осуществляется включение автоматического выключателя с дистанционным приводом. И после этого, генераторы продолжают работать параллельно. После снижения в сети значения тока до уровня номинального тока работающего (резервного) генератора происходит отключение резерва.

Структурная схема МП системы управления генераторами приведена на рис.3.

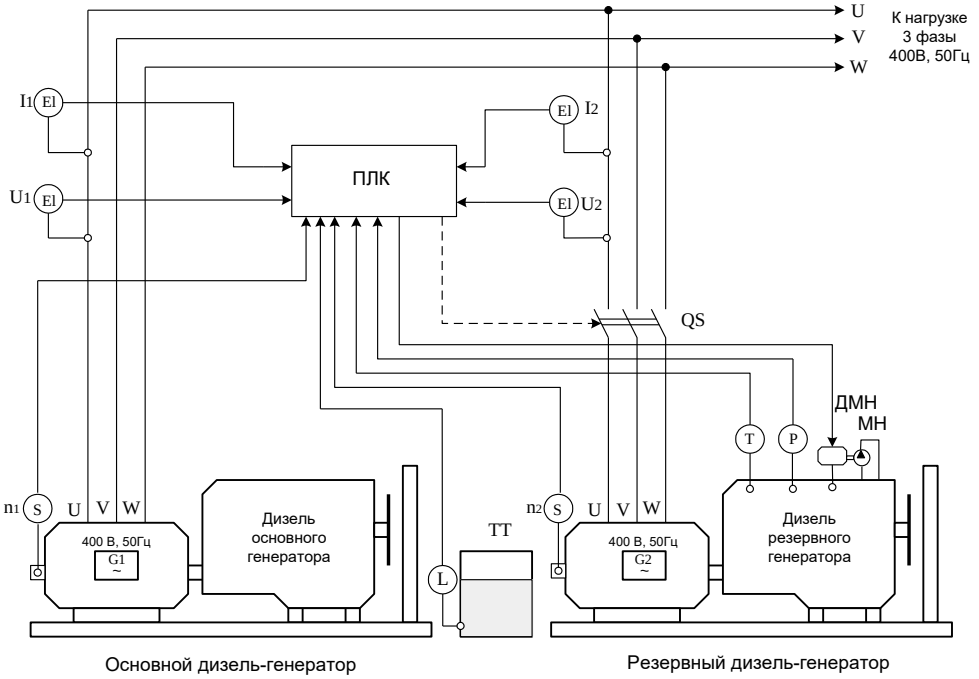


Рисунок 3 – Структурная схема МП системы управления автоматическим вводом в действие резервного генератора

Выводы:

1. Следует отметить, что разработка систем автоматического ввода в действие резервных генераторов позволяет приобрести навыки и умения по программированию ПЛК.

2. Визуализация, применяемая в разработанной системе, позволяет получить большее представление о процессе ввода в действие резервных генераторов.

3. Подобные системы могут входить в состав тренажерных комплексов, позволяющих совершенствовать навыки по отработке последовательности действий оператора без использования дорогостоящего электромеханического оборудования и, не неся при этом затрат топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. КНД 31.2.002-07-96 Правила технической эксплуатации морских и речных судов. Электрооборудование. Нормативный документ морского транспорта Украины.

2. Справочник судового электротехника. Т.1. Судовые электроэнергетические системы и устройства / Под ред. Г.И. Китаенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1980. -528 с., ил.

3. Программирование программируемых логических контроллеров ОВЕН ПЛК 63 и ПЛК 73. Руководство пользователя. Версия 1.3.2. Москва 2010.127с.

4. Контроллер программируемый логический ОВЕН ПЛК63. Руководство по эксплуатации КУВФ.421445.009 РЭ Москва 2010 67с.

5. Измерения в промышленности. Справ. изд. В 3-х кн. Кн.1. Теоретические основы. Пер. с нем./ Профоса П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. 492с.

6. Измерения в промышленности. Справ. изд. В 3-х кн. Кн.2. Способы измерения и аппаратура. Пер. с нем./ Профоса П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. 384с.

7. Измерения в промышленности. Справ. изд. В 3-х кн. Кн.3. Теоретические основы. Пер. с нем./ Профоса П. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. 344с.

8. ГОСТ 21.404-85 Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах.

УДК. 621.43.038./039:546.22(045)

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПЕРЕХОДА НА ТОПЛИВО С ПОНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СЕРЫ

М. С. Химчак, магистрант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Представлена тенденция в развитии морского тяжелого топлива в соответствии с поправками IMO 2020. Описаны главные проблемы, с которыми сталкивается экипаж во время процедуры перехода на ULSFO.*

Ключевые слова. *Зоны Контроля Выбросов, IMO 2020, ULSFO, проблемы процедуры перехода.*

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

PROBLEMS OF SERVICE AND CHANGE-OVER PROSEDURE BY USING OF LOW SULPHUR HEAVY FUEL OIL

M. S. Khymchak, Master Student
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. *A trend in the development of marine heavy fuel in accordance with IMO 2020 amendments is presented. The main problems that the crew faces during the change-over procedure to ULSFO are described.*

Keywords*. Sulphur Emission Control Area, IMO 2020, ULSFO, change-over procedure problems.*

Судоходная отрасль является основным двигателем всемирной торговли, так как на нее приходится около 90% всех перевозимых товаров. Учитывая мировые тенденции перехода на производство энергии экологически чистых видов топлива, Международная морская организация (IMO), начиная с 1960-х годов, разрабатывает мероприятия по уменьшению негативного воздействия судоходства на окружающую среду. С 1 января 2020 года IMO ужесточает нормы, серьезно сокращая максимальное содержание серы в морском топливе с 3,5% до 0,5% для судов, работающих вне районов SECA (Sulphur Emission Control Area), что окажет позитивное воздействие на окружающую природную среду и здоровье людей всей планеты [1], [2]. В пределах же этих районов максимальное содержание серы остаётся на уровне 0.1%.

Согласно Приложению VI к MARPOL 73/78 в настоящее время применимы следующие четыре Зоны Контроля Выбросов:

- SECA Baltic Sea (effective date 2006-05-16)
- SECA North Sea (effective date 2007-11-22)
- SECA North America (effective date 2012-08-01)
- SECA United States Caribbean Sea (effective date 2014-01-01)

Однако, с большими переменами приходят и большие проблемы. Одной из них является проблема процедуры перехода с одного вида топлива на совершенно другой.

Переход с одного вида топлива на другой - деликатная операция, в которой есть много потенциальных ошибок. Поэтому суда, работающие между районами с различными ограничениями по выбросу серы, должны иметь детальное описание данной процедуры. Экипаж должен быть хорошо обучен и осведомлен о любых рисках, связанных с переходом, в противном случае появляется риск отказа главного двигателя, потеря мощности или даже обесточивание судна [3].

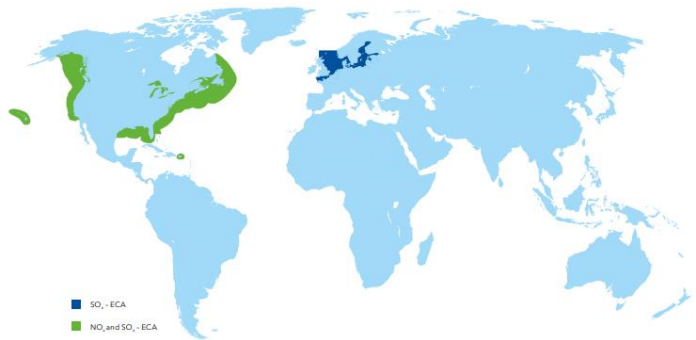


Рисунок 1 – Зоны Контроля Выбросов

Одна из причин, по которой могут возникнуть трудности, заключается в том, что разные виды топлива имеют совершенно разные свойства. С одной сторо-

ны HFO (Heavy Fuel Oil) и LSHFO (Low Sulphur Heavy Fuel Oil) похожи (хотя и запрещается их смешивание и хранение в одном резервуаре на борту судна), но с другой стороны это не так для HFO и MGO (Marine Gasoil). MGO и HFO различаются по:

- цвету
- плотности
- температуре
- вязкости
- удельной теплоте сгорания
- кислотности

Разность в температурах между HFO и MGO составляет порядка 100-120°C, принимая стандартную рабочую температуру 35°C для MGO и 135°C для HFO. Во время процедуры переключения от горячего HFO до холодного MGO, температура оборудования для впрыска меняется соответственно, создавая потенциальные опасности термального шока (тепловое расширение или сокращение). Поэтому производители двигателей рекомендуют максимальное изменение температуры 2°C за минуту [3]. Однако, при осуществлении перехода на ULSFO (Ultra Low Sulphur Fuel Oil), в котором максимальное содержание серы не превышает 0.1%, можно столкнуться с проблемой застывания топлива в неправильно подготовленной топливной системе. Это объясняется высоким содержанием парафинов в данном виде топлива. Механизм выпадения воска в топливе связан с кристаллизацией так называемых «пограничных» н-парафинов, которые дополнительно образуются в процессе гидрообессеривания (удаления серы) при восстановлении меркаптанов. В случае выдерживания топлива, содержащего «пограничные» н-парафины, при низких температурах одна часть этого н-парафина при кристаллизации остается в триклинной структуре, а другая кристаллизуется в однослойную моноклинную модификацию, в результате чего образуется двухфазная смесь. При обратном повышении температуры моноклинная модификация н-парафина не восстанавливается в исходную триклинную структуру и не может поглощаться топливом. Процесс необратим, и температура, при которой происходит восстановление текучести топлива, повышается [4].

В целом, для работы двигателя, совместимого с HFO, требуется вязкость 10-20 сантистоксов (сСт). Остаточное топливо обычно нужно подогревать до 135°C для достижения требуемой вязкости. Напротив, дистиллятное топливо имеет значительно более низкую вязкость, которая обычно находится в диапазоне от 2 до 11 сСт. Нижнее значение 2 сСт при 40°C приводится в большинстве рекомендаций производителя, так как эта минимальная вязкость необходима для обеспечения равномерной смазочной пленки между движущимися компонентами оборудования для впрыска [3].

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Таким образом вопрос о безболезненном переходе на топливо с пониженным содержанием серы остаётся открытым, ведь есть возможность и не использовать его. В таком случае IMO обязывает судовладельцев устанавливать на суда дорогостоящие очистительные системы (скрубберы). Однако, опрос судовладельцев компанией «Drewry» показывает, что к январю 2020 г. только 13% респондентов намерены использовать такие очистительные системы, в то время как 66% опрошенных заявили, что низкосернистое топливо является приемлемым решением для их судов, и только 8% участников опроса предпочли бы, в качестве опции, использование сжиженного газа.

Исследования шведской компании «SEB» показывают, что к 2020 году, менее 2000 судов из всего объема торгового флота (около 60 000 ед.), будут иметь установленные системы «скрубберов». Принимая во внимание производственные мощности существующих производителей «скрубберов», в ближайшие несколько лет ожидается дефицит готовых «скрубберов», что приведет к повышению цен на низкосернистое топливо (LSFO) и, следовательно, к увеличению финансовых затрат грузоотправителей [1].

Выводы.

Для соответствия требованиям MARPOL 73/78 целесообразно использование низкосернистых топлив. Однако, обязательный переход на такое топливо влечет за собой ряд особенностей в его эксплуатации. Потенциальной сложностью, с которой столкнется экипаж, является необходимость придерживаться правильного температурного режима при подготовке ULSFO и переходе на него от MGO.

ЛИТЕРАТУРА

1.ИМО 2020 – перспективы судоходной отрасли и нефтеперерабатывающих заводов [Электронный ресурс] https://modcon.ru/applications

2.Sulphur 2020 – cutting sulphur oxide emissions [Электронный ресурс] http://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/sulphur-2020.aspx

3.Dnv gl – preparing for low sulphur operation [Электронный ресурс] https://www.dnvgl.com/maritime/global-sulphur-cap/index.html

4.Тихомирова О.Б., Лысич Д.В. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА СО СВЕРХНИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ СЕРЫ В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. [Электронный ресурс]
https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16215

Секція 2. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

УДК 656.61.052

TERMINOLOGY USED FOR A MULTIPURPOSE VESSELS OF THE AUXILIARY FLEET

O. M. Mazur, Ph.D., lecturer,
T. S. Obnyavko, lecturer
O. A. Onishchenko, Dr.Tech.Sc., Professor
National University "Odessa Maritime Academy"
Military Academy (Odessa)
Ukraine, Odessa
1orcid.org/0000-0002-9316-288X,2orcid.org/0000-0002-2192-6377,3oleganaton@gmail.com

Annotation. *The substantiation of the proposed definition of the terminological concepts such as "efficiency", "operation" and "auxiliary fleet / vessel" with respect to a multi-purpose vessel of icebreaking class is given. It was determined that such a class of vessel belongs to the type of dual-use vessels and therefore the evaluation of the effectiveness of their operation is difficult and can only be used with integral indicators.*

Keywords*: multipurpose vessel; auxiliary fleet; efficiency; dual purpose; integral estimate; operation.*

Introduction. Multipurpose vessels are designed to universalize the application in different climates and circumstances (social, political, technogenic and other) for more flexible and economical operation, to solve various and non-standard tasks when there is an acute shortage of time for special operations and in other circumstances, complicating the use of highly specialized vessels. Multipurpose vessel - a vessel in some way adapted to perform a number of technological functions usually performed by several highly specialized vessels.

In the current political and economic conditions, Ukraine, as a maritime state, cannot afford to build highly specialized vessels and in the short term time with the available material resources. In addition, there is an urgent demand for the practice of the modern Navy of Ukraine for the use of new specialized ships, and the possibilities of conversion and renovation of existing civilian vessels are limited. One of the options for solving the identified problem of performing special operations in the internal territorial waters of Ukraine, including during the winter navigation and providing navigation safety is the design, creation and use of high performance multi-purpose vessel of the auxiliary fleet(MVAF) icebreaker class (IC), which can be done given the major stages of its life cycle (LC).

Thus, it can be argued that relevant and technical task for the modern auxiliary fleet of Ukraine is the creation of the design concept, construction synthesis, construction and subsequent effectively managed and operated, with previous scientific feasibility study of the necessary tactical and technical characteristics (TTC) taking into account the life cycle, MVAF icebreaking class. But it is necessary to exclude ambiguities in interpretation of basic terminological concepts used in the research for

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

practical implementation of a certain direction. This is exactly the purpose of this work.

Main part. The main goals of any general-purpose production system are interrelated and have two components: the first is to get the most profit from the system (enterprise), and the second component is the stability of receiving that profit. In [2] it is shown that the achievement of these goals depends on: a) the degree of perfection of the production system or enterprise itself; b) the organizational system of its operation.

According to GOST 25866-83, "Operation - the life cycle stage of the equipment (Fig. 1,a), at which its purpose is realized, its quality is maintained and restored. Operation includes intended use, transportation, storage, maintenance and repair". Effective implementation of the functions of a seagoing vessel operation is achieved in a certain organizational and technical environment (system). Such, most general, system of operation (Fig. 1,b) is a set of necessary and sufficient technical objects and means of operation, organizational structures and resources to achieve the purpose of functioning under the specified operating conditions. Of course, within the limits given in Fig. 1 structural diagrams can be detailed decomposition of its individual elements.

It is obvious that the degree of perfection of any production system depends, first of all, on the design decisions made at the first stages of its design - at the level of advance project (ie, the concept of creation).

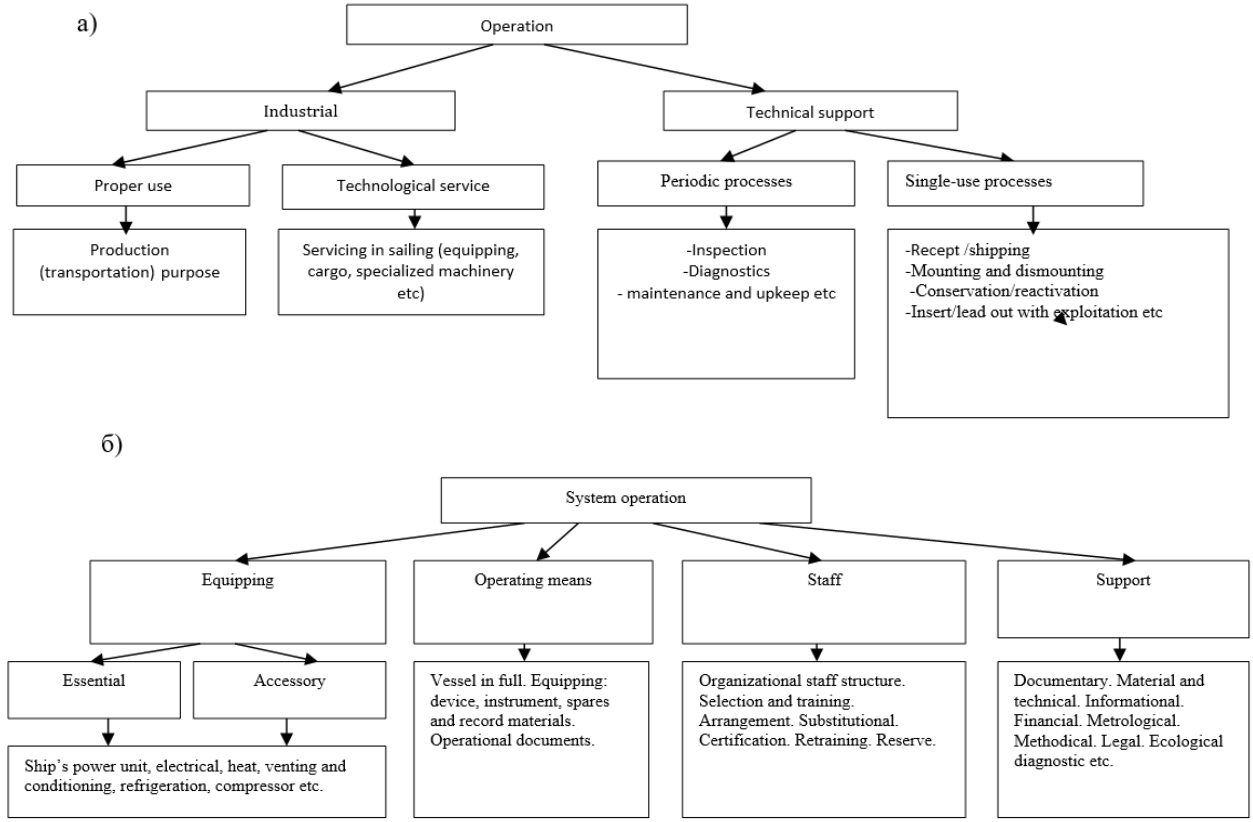


Figure 1 – General structure of operation and system of vessel's operation

In order to optimize (financial, time, functional) design processes, create a new vessel, operate, repair and dispose of it requires the use of special techniques, as well as indicators and criteria (technical, economic, integrated). Indicators and criteria should allow to evaluate the degree of objects' perfection or implemented processes (including operational ones).

One of the universal and commonly accepted estimates is the Degree of Efficiency, which shows how much of the total cost (use) is converted into a useful (target) effect.

The main purpose of the operation of a civilian vessel is the financial result of the СЦ [2]:

$$СЦ = СРе \cdot РЕ – (СУ \cdot ЕУ + СТ \cdot ЕТ + СР \cdot ЕР + СV \cdot \Delta V),$$

where СРе, СУ, СТ, СР, СV - are cost meters, respectively, of transport work, energy flows, technical potential; СРе·РЕ - revenues from transport work; СУ·ЕУ - management costs, including staffing; СТ·ЕТ - fuel and lubricant costs; СР·ЕР - repair costs; СV·ΔV - depreciation deductions (expenses for restoration of technical potential). And as a target function, you can take the function:

$$Fц = \Sigma (Дчі \times Tei) / \Sigma(Ri \times ni),$$

where ДЧІ- is cargo deadweight tonnage of the vessel, t; Tei - operating period, day; Ri- is the total cost of technical operation (TO), UAH; ni - number of crew members of ships, maintenance workers, average number of employees of shipyards.

It is necessary for Tei to increase and Ri to decrease to get the most out of the function ($Fц \rightarrow max$). However, this is not possible without the assessment and prediction of the technical condition (TC) of ships and its technical equipment (VTE). Due to the natural aging of the vessels, the need for repair can be reduced by efficient and competent operation, maintenance at a given level of vehicle, and improving the efficiency of coastal bases of maintenance.

Thus, increasing the efficiency of a civilian vessel operation is to find ways to increase the objective function Fц. That is, by optimizing the ratio of its indicators (the cost of transport work, the cost of personnel, fuel, repair without deterioration of the vehicle TC) it is necessary to obtain the highest financial result from operation.

The concept of "efficiency" applies to different transport systems. Usually, efficiency is understood as "the integral property of a purposeful process of functioning of the unit, system, device, mechanism, equipment, and so on, which characterizes the degree of its adaptation to the fulfillment of the main purpose, taking into account the cost of resources (material, time)" [1, 3,4] . For a civilian transport vessel, the following should be considered [1, 2, 4].

1. It is to be understood that the term "efficiency" refers to the purposeful process of using a ship as a production system rather than a ship as an object (system). That is, an "effective process" is united by a general concept and a single purpose, a concerted and purposeful set of actions. And, in assessing the efficiency of a seagoing vessel operation, it is necessary to clearly state the main objective to be achieved.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

2. The efficiency of the process (results) is determined by the equipment perfection, operation conditions, for example, meteorological, the perfection of using available resources. When evaluating the process effectiveness, it is crucial what price and time interval the goal will be achieved, what price the target effect will be obtained, and it is the consumption of resources that will determine the way the process is carried out.

3. The resultant effectiveness of the purposeful activity of a sophisticated technical system (STS), which is a modern seagoing vessel, is determined by the quality of the decisions taken not only at the management level but also laid down at the conceptual level of its design. Various indicators (manufacturability, material and resource intensity, energy excellence, environmental friendliness, resulting quality, efficiency, perfection of TO and R, patent purity, etc.) are included in the concept of efficiency and contain private indicators.

4. When evaluating the vessel design, its construction processes, operational efficiency, repair, maintenance and others, it is necessary to make an initial assessment. Such initial assessment is carried out using simplified criteria that integrally characterize a particular aspect of the process (operation stage, structural and technological and other design decisions). With such a primary assessment, all significant factors that most influence the final result are identified. The estimates and criteria are then applied to more detailed properties of all the selected significant factors [1].

The traditional criteria used to evaluate performance are: a) unit costs and unit labor costs; b) specific cost of machine hours of equipment operation; c) equipment readiness and utilization rates; d) operating time for failure. However, the traditional criteria are only valid when applied already at the pilot stage or at the final design stage.

One of the generally accepted criteria is the Overall Equipment Effectiveness (OEE) criterion [www.oee.com]. The criterion takes into account equipment readiness and downtime; equipment performance and losses from reduced production speed; product quality and the loss of quality. Poor indicator according to the OEE criterion - less than 65%, satisfactory - 65 ... 75%, good - 75% and above. When evaluating with the help of the OEE, the cost of achieving the goal should be taken into account, as well as the fact that in order to make correct management or project decisions always the a priori information required for the calculations of the indicators must be reliable (verified) and complete. That is why an additional comparison of the cost of possible measures and the benefits of their implementation, which at the stage of advance design is possible only with the help of expert assessments [4, 5, 6, 7].

Thus, determining the operational efficiency of a ship from a practical point of view is of value only in the case of complex assessments, analysis and synthesis. It can be argued that the evaluation and analysis of the operation efficiency, as a process, is the identification of the values of the integrating efficiency indicators and influencing the value of its parameters. Assessment and analysis is a major part, for example, in solving the direct problem of consistent vessel design [8-10].

Synthesis of an efficient operation process is an inverse task, which consists in the selection of values of controlled parameters, which are guaranteed to provide the necessary value of the integral indicator of process performance. Only with a synergistic (systemic) approach to assessing the efficiency of a vessel's operation are possible justifications for designing, creating and / or acquiring a new vessel (the system, its components), justification for choosing a method of use (for renovation, modernization) of an existing vessel to achieve the stated purpose.

The Register Book of the Shipping Register of Ukraine (SRU) contains a list of vessels to be classified or have conventional documents: ".... vessels of more than 24 meters in length, regardless of type and destination, passenger ships, icebreakers, tugs, pushers, floating cranes, technical fleets, special purpose vessels, vessels intended for the carriage of dangerous goods, regardless of their length "[http://www.shipregister.ua/pdf/reg-ships.pdf].

The meaning of term "auxiliary fleet" in modern terminology should be clarified. By definition, [11], "Auxiliary Fleet is an integral part of the Navy, which is organizationally composed of joints and parts of naval and raid security vessels, special purpose vessels. A security vessel (synonymous with an auxiliary vessel) is part of the Navy (Sea Naval Forces) - a naval or raid vessel intended to provide naval and peacetime force activity. Auxiliary Navy vessels may be special buildings or converted from other ships or vessels (conversion, renovation). Auxiliary Navy ships are divided into: a) combat training, weapons and equipment testing; b) medical, radiation and chemical protection vessels; c) ships of navigation and hydrographic support; d) security vessels; e) rescue vessels; e) technical support vessels; g) ships providing ships' facilities and equipment for theaters of war.

Vessel Support Vessels and Combat Theaters are designed to provide communications and supply basing points, escorting ships and vessels in ice, laying submarine cables, routes, towing, escorting, escorting, installing boom barriers and performing many other specialized tasks. Such vessels include: communication vessels, icebreakers, cable vessels, tugboats and others.

The main objective of the research is to develop theoretical prerequisites for the creation of a high-performance auxiliary fleet in multi-purpose inland waters of Ukraine. It is clear that, in essence, this can only be a dual-purpose vessel (DPV), which provides the specific tasks of both the civilian and military fleets of Ukraine. In this case, it should be taken into account that the effective commercial operation of the ship and the effective combat operation are significantly different. That is why the concept and "combat effectiveness" should be considered.

Combat effectiveness (CE) is a generic characteristic of weapons and military equipment (ME), necessary to evaluate the degree of compliance of the ME with the functional purpose and goals set at creation.

It can be concluded that the advantages and disadvantages of ME are evaluated using benchmarking criteria. Their use at the stage of preliminary design, at the stage of development of the technical assignment will ensure: a) compliance with economic

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

constraints and requirements of the state, b) minimization and rational use (exploitation) of allocated targeted resources, c) high efficiency level, matching of ME capabilities with strategic goals of modernization and improving the Armed Forces of Ukraine (AFU).

Theoretically, AFU should use only ME that, within their life cycle, satisfy the basic criterion "Efficiency - Time - Cost". The essence of the criterion is obvious - the contribution to the operation of the ME sample in damage inflicted on the enemy, or averted to himself, must be justified not only tactically but also economically. This is the basic principle of effective operation, and this is precisely the main dominant of the Armed Forces functioning in the conditions of preparation or holding of a conventional (non-nuclear) armed conflict. And this is the main contradiction of the theoretical substantiation of the design and effective operation of the MVAF IC.

When selecting and substantiating the design and assignment of an auxiliary fleet vessel in the current constraints (financial, time, technological, regulatory, political), it is necessary to predict its contribution: a) to the existing potential of the fleets; b) the project implementation price; c) key characteristics; d) time factor; e) the subjective component.

Extensive analysis of the properties of new and promising ME uses efficiency indicators, cost and operational capabilities, but the basis for determining the numerical values of indicators is the process of modeling combat operations in typical situations [12-14]. Moral aging factor has a particular impact on the efficiency of a complex multi-purpose ME - it is at the design stages that the properties and characteristics that will be relevant by the time of commissioning must be laid. In the context of continuous improvement by the enemy of the ME tools (air defense, communications, radio-electronic and cyber-means of combat, logistics, management, etc.), the delay in adopting a new ME will reduce the combat effectiveness of new systems dramatically. It is also necessary to use private indicators of evaluation of combat effectiveness: a) the probability of completing a combat task in the action of the forces of the fleet; b) the probability of hitting a typical target; c) the average (mathematical expectation) of the effective execution of the task, etc.

Conclusions. Based on the clarification of the concepts of "efficiency" and "auxiliary fleet, analysis of operating principles of auxiliary fleet vessels, we can take the following.

1. Definition of the concept of "operational efficiency" of the MVAF from a practical point of view is of value only in the case of complex assessments simultaneously from the standpoint of commercial and military operation of the vessel.

2. The evaluation and analysis of the operational efficiency as a process is an identification of the values of the integral performance indicators and is the main part in solving the direct problem of consistent design of the vessel.

3. The expected prospective indicators of commercial and combat effectiveness should be formulated already at the stage of vessel'spreliminary design, which is the basis for its further design.

LITERATURE

1. Mazur O., Onishchenko O. (2016). *Decision support system in assessing technical design and tender purchase.* Збірник наукових праць Військової академії. Одеса. 1(5), 91–99.

2. Логишев И. В., Онищенко О. А. (2016). *Управление технической эксплуатацией флота.* Учебник. Одесса: Феникс, 232.

3. Захарченко В. І., Корсікова Н. М., Меркулов М. М. (2012). *Інноваційний менеджмент: теорія і практика в умовах трансформації економіки:* навч. посібн.: Центр учбової літератури, 448.

4. Зайцев Н. Л. (2008). *Экономика, организация и управление предприятием*: уч. пос. – 2–е изд., доп. – М.: Инфра–М, 455.

5. Мазур О. М, Голіков В. В., Обнявко Т. С. (2017). *Особливості проекту багатоцільового судна подвійного призначення льодового класу, призначених для функціонування у територіальних водах України, VIII Міжн. наук.–практ. конф. "Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту"*, Ізмаїл: МОНУ, ДІ НУ "ОМА", НУ "ОМА", 162–166.

6. Шибаева Н. О., Вычужанин В. В., Рудниченко Н. Д., Шибаев Д. С. (2018). *Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению логистическими транспортными процессами.* Актуальные проблемы автотранспортного комплекса Межвузовский сборник научных статей (с международным участием). Самара ГТУ, 168–175

7. Коновалов С. Н., Вычужанин В. В. (2017). *Применение гибридных экспертных систем для прогнозирования технического состояния сложных систем.* Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: межвуз. сб. науч. статей (с междунар. участием). Самара: ГТУ, 95–101.

8. Храмушин В. Н. (2015). *Целевое непротиворечивое проектирование кораблей и судов для штормовых и ледовых условий Дальнего Востока Росси, Международный симпозиум "Наука. Инновации. Техника и технологии: проблемы, достижения и перспективы" 12–16 мая 2015*. Комсомольск–на–Амуре, 24–29.

9. Огай С. А. (2018). *Методологические подходы для определения оптимальных проектных характеристик многоцелевого судна ледового плавании.* Дис. д–ра техн. наук. ФГБОУ ВО Морской государственный университет им. адм.Невельского . Г. И. , 440.

10. Храмушин В. Н. (2010). *Поисковые решения и инженерные подходы в проектировании и оптимизации формы корпуса и общекорабельной архитектуры корабля* , Мореходство и морские науки–2009: Избр. докл. 2–й Сахалинской региональной морской науч.–техн. конф. (23.09.2009), (под ред.) Храмушина В. Н. – Южно–Сахалинск: СахГУ, 49–72.

11. Наказ Міністра оборони України № 231 (від 28.04.2006). "Положення про класифікацію корабельного складу ВМС Збройних сил України".

12. Чобиток В. А. (1984). *Оценка боевой эффективности и технического совершенства вооружения и военной техники:* уч. пособ. (под ред.) Чобиток В. А. К.: КВТИУ, 58.

13. Обнявко Т. С. (2016). Концепції визначення оцінок еколого–економічної ефективності функціонування воєнної економіки. *Вісник Одеського національного університету ім. І. І. Мечнікова. Серія "Економіка".* Том 21, Випуск 6(48), 62–66.

14. Короленко В. А., Синявский В. К., Гочиев Н. Х. Моделирование боевых действий, как основной инструмент принятия обоснованных решений. Режим доступа: https://docplayer.ru/47514101–Modelirovanie–boevyh–deystviy–kak–osnovnoy–instrument–prinyatiya–obosnovannyh–resheniy.html

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

УДК 681.335

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ В ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІЙ СУДНОВІЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІЙ СИСТЕМІ ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТУ

М. Ю. Зозуля, магистрант,
І. М. Гвоздева, д.т.н., професор,
В. В. Лещенко, ст. викладач
Р. К. Тер-Барсегян, магистран
Національний університет "Одеська морська академія"

Анотація: *Робота присвячена дослідженню динамічних процесів в судновій електромеханічній системі пасажирського ліфту. В склад системи входить безредукторний електропривод, оснащений синхронним двигуном з аксіальним полем та частотним перетворювачем. Запропонована кінематична схема досліджуваної електромеханічної системи, виконані розрахунки основних параметрів та проведено моделювання багатомасової системи ліфту.*
Ключові слова: *судновий пасажирський ліфт, частотно-регульований електропривод, динамічні процеси, синхронний двигун, кінематична схема.*

RESEARCH OF THE PROCESSES IN ENERGY SAVING VESSEL ELECTROMECHANICAL SYSTEM OF PASSENGER ELEVATOR

M. Y. Zozulia, Master Student,
I. M. Hvozdeva, Doctor of Science, Professor,
V. V. Leshchenko, Senior Lecturer,
R. K. Ter-Barsehian, Master Student
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract*: The work is devoted to the study of dynamic processes in the ship's electromechanical system of passenger elevator. The system includes a gearless electric drive equipped with a synchronous motor with an axial field and a frequency converter. The kinematic scheme of the investigated electromechanical system is proposed, the calculations of the basic parameters are performed, and the simulation of a multimass lift system is fulfilled.*
Keywords: *ship passenger elevator, frequency controlled electric drive, dynamic processes, synchronous engine, kinematic scheme.*

В сучасний час однією із найбільш важливих проблем суднової електроенергетики є енергозбереження в електроприводах суднових механізмів, у тому числі, в електроприводах перевантажувачів, зокрема пасажирських ліфтів. Частотно-регульований електропривод змінного струму є основним типом привода в суднових ліфтах [1]. Перетворювач частоти із програмованим контролером використовуються для формування пуско-тормозних режимів, тахограми руху кабіни ліфту з метою точного регулювання її руху при змінних навантаженнях. Таке схемо-технічне рішення, поряд із забезпеченням комфортних характеристик перевезення пасажирів в ліфті, у порівнянні з приводами ліфтів на базі двошвидкісних асинхронних двигунів, або регульованих асинхронних двигунів дозволяє суттєво знизити споживання електроенергії в часі перехідних режимів, що і визначає економічну ефективність використання частотно-регульованих

електроприводів з синхронними двигунами із аксіальним полем та постійними магнітами.

Особливістю роботи суднового пасажирського ліфту є постійна зміна навантаження його кабіни [2, 3], яка визначаться випадковим характером пасажиропотоку. Двигун приводу ліфту в цьому випадку працює з постійно змінним навантаженням, що ускладнює рішення завдання забезпечення оптимальної енергетичної ефективності електропривода. Забезпечення оптимального завантаження двигуна можливо за рахунок керування робочою швидкістю в робочих циклах з неврівноваженою кабіною ліфта і його продуктивності [4].

В регульованому редукторному електроприводі ліфтів використовується асинхронний двигун з керуванням від частотного перетворювача. Типовий асинхронний двигун допускає роботу понад номінальної швидкості при постійній потужності в обмеженому діапазоні при збільшенні частоти джерела напруги. Можливості збільшення швидкості в такому випадку обмежені збільшенням індуктивного опору обмоток двигуна, що призводить до зменшення струму при максимальному моменті магнітного потоку [5]. Діапазон регулювання швидкості асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором в цьому випадку є обмеженим. Застосування типових асинхронних двигунів в безредукторному електроприводі ліфта нераціонально, в першу чергу, через завищення потужності перетворювача частоти.

На ринку ліфтів займають значний сектор безредукторні електроприводи ліфтів на базі синхронних двигунів з постійними магнітами (СДПМ) [6]. Використання цих двигунів з перетворювачами частоти в складі суднового безредукторного електроприводу пасажирських ліфтів дозволяє істотно скоротити енерговитрати. Однак процеси, що відбуваються в зазначеному електроприводі з урахуванням динаміки багатомасової електромеханічної системи, не в повній мірі вивчені і описані в літературі.

Метою роботи є вдосконалення процесів в судновій електромеханічній системі пасажирського ліфту за рахунок застосування безредукторного енергозберігаючого частотно-регульованого електроприводу, оснащеного синхронним електродвигуном з аксіальним полем на основі математичного моделювання електромеханічної багатомасової системи.

Досягнення поставленої мети досягається шляхом вирішення наступних завдань:

1. Критичний аналіз та порівняння існуючих електроприводів електромеханічних систем пасажирських ліфтів.

2. Обґрунтування напрямку досліджень, що враховує особливості ліфтів суднового призначення.

3. Математичне моделювання процесів в судновому безредукторному енергозберігаючому частотно-регульованому електроприводі пасажирського ліфту.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

4. Комп'ютерне моделювання процесів в судновому безредукторному енергозберігаючому частотно-регульованому електроприводі пасажирського ліфту.

5. Експериментальне дослідження процесів в судновому безредукторному енергозберігаючому частотно-регульованому електроприводі пасажирського ліфту.

Незалежно від відмінностей типів ліфтів та їх особливостей всі ліфти мають схожі конструктивні рішення, тому у пристрої ліфта застосовуються типові компоненти незалежно від принципу роботи ліфта. В рамках досягнення мети дослідження розглядаються процеси в електромеханічної системі пасажирського ліфта контейнеровоза M.V. Kota Satria.

На основі розробленої кінематичної схеми виконано математичний опис навантажувальних параметрів досліджуємої електромеханічної системи, необхідний для вивчення процесів в ліфтовому електроприводі.

Ліфтовий безредукторний привід оснащений синхронним електродвигуном Kone EcoDisc з постійними магнітами, а також частотним регулятором і безредукторним пристроєм низького тертя [7]. Цей двигун має високі коефіцієнт корисної дії та продуктивність. Безредукторна конструкція електроприводу з використанням зазначеного двигуна дозволяє скоротити зношуваність і енергоспоживання електромеханічної системою ліфта. Завдяки відсутності необхідності в мастилі скорочується також ризик виникнення пожежі та забруднення навколишнього середовища.

Висновки. Створення математичної моделі процесів в електромеханічної системі і електроприводі, який оснащений синхронним двигуном з осьовим полем, та її програмна реалізація дозволить дослідити роботу в даній системі при різних завантаженнях кабіни в динамічному режимі і вдосконалити алгоритми управління судновим ліфтом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коваль А.С. Электромеханическая система лифтов со скоростью до 2 м/с / А.С. Коваль, А.В. Шваяков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2009. – № 4. – С. 113–120.

2. Коваль А.С. К вопросу разработки электропривода пассажирских лифтов с регулируемой номинальной скоростью движения кабины лифта / А.С. Коваль, Е.В. Ефименко // Вестн. Белорус.-Рос. ун-т. – 2015. – № 1(46) – С. 96–102

3. Гайдукевич В.И. Случайные нагрузки силовых электроприводов / В.И. Гайдукевич, В.С. Титов. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 159 с.

4. Лифты: учебник для вузов / Г.Г. Архангельский [и др.]; под общ. ред. Д.П. Волкова. – М. : АСВ, 1999. – 479 с.

5. Фираго Б.И. Теория электропривода : учебное пособие / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – 2-е изд. – Минск: Техноперспектива, 2007. – 585 с.

6. Коваль А.С. К вопросу совершенствования электропривода массовых лифтов / А.С. Коваль, Б.Б. Скарыно // Вестн. Белорус.-Рос. ун-т. – 2011. – № 3(32) – С. 145–150.

7. Електроний ресурс: https://toolbox.kone.com/media/en_IE/KONE_610_v1.pdf

УДК 62-5-681.5

ГАСІННЯ КОЛИВАНЬ ВАНТАЖУ ЗАСОБАМИ ЧАСТОТНО-КЕРОВАННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

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

Анотація. *Розглянуто метод гасіння коливань вантажу шляхом управління моментом приводного асинхронного двигуна з використанням сучасних частотно-керованих електроприводів. Записані основні рівняння, що пов'язують тягове зусилля і кут відхилення вантажу від вертикалі, на основі яких формується закон управління моментом приводного двигуна за умови нульового відхилення вантажу від вертикалі наприкінці етапів розгону і гальмування. Наведено результати моделювання поведінки в режимі розгону двомассової системи "візок-вантаж" для характерних співвідношень маси вантажу та довжини канату, які підтверджують справедливість припущення можливості гасіння коливань вантажу шляхом безпосереднього управління моментом приводного двигуна.*

Ключові слова: *variable frequnsy drive, anti-sway control, container crane, induction motor torque control*

PROPOSALS FOR A CARGO ANTI-SWAY METHOD USING MOTOR TORQUE CONTROL

A. I. Shestaka, Senior Lecturer
National University "Odessa Maritime Academy"
L. V. Melnikova, PhD, Associate Professor
Odessa National Polytechnic University

Abstract. *The method of quenching load oscillations by controlling the torque of a drive asynchronous motor using modern frequency-controlled electric drives is considered. The basic equations relating the tractive force and the angle of deflection of the load from the vertical are written, on the basis of which the law of control of the torque of the drive motor is formed, provided that the deviation of the load from the vertical is zero at the end of the acceleration and deceleration stages. The results of the simulation of the behavior in the mode of acceleration of the two-mass trolley-truck system for characteristic ratios of the weight of the load and the length of the rope, which confirm the validity of the assumption of the possibility of quenching the vibrations of the load by directly controlling the torque of the drive engine.*

Key words: variable frequency drive, anti-sway control, container crane, induction motor torque control

Однією з актуальних задач автоматизації і підвищення ефективності вантажних операцій робіт є гасіння коливань вантажу. На сьогоднішній день є відомою певна кількість підходів до вирішення цього завдання: від механічних (запасовка канатів вантажопідйомного пристрою, підтягуючи канати для спредера [2, 4]) до електричних (формування завдання швидкості візка контейнерного перевантажувача або швидкості повороту стріли з нульовим відхиленням вантажу від вертикалі в кінці періодів розгону-гальмування). Електричний вплив на привід пересування (повороту), як правило, реалізовується прикла-

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

данням знакозмінного повного моменту двигуна до механізму, що призводить до прискореного зносу і механічних передач, і приводного двигуна.

Розглянемо процес коливань в двомасовій системі "візок-вантаж" механізму пересування вздовж консолі причального контейнерного перевантажувача. В такому механізмі всі процеси представляються в двомірних декартових координатах. Розгляд процесів виникнення і гасіння коливань в одній площині дозволяє сформулювати базові принципи інженерного підходу до вирішення задачі гасіння коливань доступними на сьогоднішній день технічними можливостями частотно-керованого електроприводу (Variable Frequency Drive, VFD), а також розробити основні алгоритми керування VFD в цьому процесі.

Надалі будемо ділити рух двомасової системи "візок-вантаж" на два етапи: динамічний, що супроводжується зміною швидкостей обох мас при керуванні моментом двигуна, і стаціонарний, який характеризується рівністю швидкостей обох мас і рухом в умовах стабілізації швидкості.

Характерною особливістю першого етапу є робота VFD в режимі керування моментом при формуванні необхідного, припустимого за умовами експлуатації і міркувань безпеки закону відхилення вантажу від вертикалі на етапі розгону-гальмування механізму пересування вантажу. Другий етап відбувається в режимі керування вектором магнітного потоку з метою управління швидкістю двигуна.

Процес пересування двомасової системи "візок-вантаж" першочергово зумовлений прикладенням тягового зусилля F (тобто моменту приводного двигуна), до першої маси візка m_1. Зміщення візка відносно другої маси (як наслідок прикладеної сили F) супроводжується відхиленням тросу довжини l від вертикалі внаслідок інерційності вантажу на кут α (рис. 1). Цей процес характеризується співвідношенням мас візка m_1 і вантажу з захоплюючим пристроєм m_2.

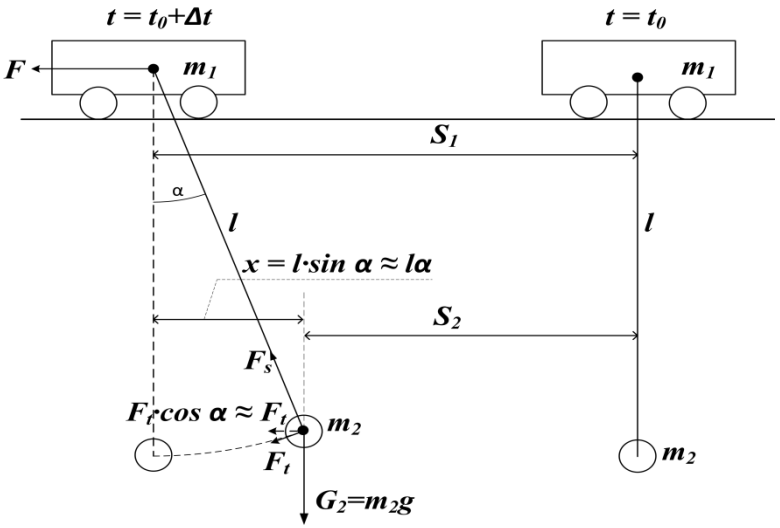


Рисунок 1- Система "візок-вантаж"

При відхиленні на кут α сила тяжіння $G_2=m_2g$, яка діє на вантаж, може бути розкладена на силу пружності F_s, направлену вздовж канату, і на силу F_t,

направлену по дотичній до траєкторії розгойдування вантажу (окружність з радіусом l).

Зрозуміло:

$$F_s = m_2 g \cos\alpha;$$
$$F_t = m_2 g \sin\alpha,$$

Для спрощення подальших викладок звернемо увагу на наступні припущення. Проекція x відхилення вантажу на горизонтальну вісь дорівнює $x = l \cdot \sin\alpha$. Приймаючи до уваги, що для малих кутів відхилення (в радіанах) $\alpha \approx \sin\alpha$, отримаємо $x \approx l\alpha$.

Реальні коливання вантажу на практиці не перевищують 4^0. Для такого кута відносна похибка складає 0,025 % для припущення $\sin\alpha \approx \alpha$ і 0,24 % для припущення $\cos\alpha \approx 1$. Таким чином, з високою точністю надалі будемо вважати, що $sin\ \alpha = \alpha\ i\ \cos\alpha = 1$ для зазначених вище меж кута відхилення.

Важливим наслідком цього припущення є можливість розташувати складову F_t не по дотичній до дуги окружності, а по горизонтальній осі, оскільки точне значення дотичної складової сили G_2 дорівнює:

$$F_t = m_2 g \sin\alpha \approx m_2 g\alpha,$$

а горизонтальна проекція дотичної складової F_t може бути з високою точністю бути прирівняна до самої F_t оскільки:

$$F_t \cos\alpha = F_t,$$

що дозволяє надалі істотно спростити математичне описання процесу.

Необхідно зауважити, що нормальна компонента F_s розкладення G_2, що дорівнює силі натяжіння тросу, не впливає на рух m_2, але є однією з причин гасіння коливань (в зв'язку з наявністю пружності та піддатливості тросу) наряду з силами тертя в місцях підвісу вантажу і тросу, а також з силою опору повітря. Дотична ж складова F_t є причиною коливань. Вона є, по суті, силою навантаження для приводного двигуна опосередковано через першу масу візка m_1 в двомасовій системі "візок-вантаж".

Складемо основні рівняння, які описують процесу руху механічної системи, що розглядається із стану спокою в момент часу $t_0 = 0$ при прикладенні до першої маси m_1 тягового зусилля F, яке призводить до зміни швидкостей першої та другої мас і до виникнення відхилення канату на кут α:

$$F - F_t = m_1 \frac{d^2 S_1}{dt^2}; \qquad (1)$$

$$F_t = m_2 \frac{d^2 S_2}{dt^2}. \qquad (2)$$

Приймаючи до уваги, що різність шляхів $\Delta S = S_1 - S_2$, що проходять візок S_1 і вантаж S_2 на етапі розгону, з урахуванням прийнятого припущення $\alpha = \sin\alpha$, може бути визначена як :

$$\Delta S = S_1 - S_2 = l \sin\alpha \approx l\alpha, \qquad (3)$$

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

а також:

$$F_t = m_2 g\alpha = m_2 a_2, \quad (4)$$

де a_2 - лінійне прискорення вантажу, отримаємо із (2):

$$a_2 = \frac{d^2 S_2}{dt^2} = g\alpha. \quad (5)$$

Із (3) виходить, що

$$S_1 = \Delta S + S_2 = l\alpha + S_2.$$

Тоді лінійна швидкість V_1 візка рівна:

$$V_1 = \frac{dS_1}{dt} = l\frac{d\alpha}{dt} + \frac{dS_2}{dt}, \quad (6)$$

а лінійне прискорення a_1 візка:

$$a_1 = \frac{d^2 S_1}{dt^2} = l\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{d^2 S_2}{dt^2}, \quad (7)$$

що з урахуванням (5) може бути записано у вигляді:

$$a_1 = \frac{d^2 S_1}{dt^2} = l\frac{d^2\alpha}{dt^2} + g\alpha. \quad (8)$$

Тоді рівняння (1) приймає вигляд:

$$F = m_1 l\frac{d^2\alpha}{dt^2} + (m_1 + m_2)g\alpha. \quad (9)$$

Останнє рівняння зв'язує тягове зусилля (тобто момент на валу приводного двигуна) з кутом відхилення тросу α і другою похідною α через співвідношення мас візка та вантажу, а також через довжину канату.

Таким чином, задаючи певний закон зміни кута на етапі розгону (гальмування) ми отримаємо певний характер тягового зусилля F для забезпечення цього потрібного закону зміни кута α.

Метою управління є формування такого сигналу на вхід завдання моменту VFD, який забезпечує відсутність коливань вантажу по закінченні процесу зміни швидкості вантажу від начальної до заданої.

Очевидно, закон зміни кута повинен характеризуватись неперервною функцією, що диференціюється, з нульовими початковими і кінцевими умовами, включно з її першою похідною. Таким вимогам задовольняє зміщена на величину власної амплітуди косинусоїда:

$$\left.\begin{aligned} &\omega_\alpha = 2\pi f\alpha = 2\pi\frac{1}{T\alpha} = \frac{2\pi}{t_{acc}} \\ &T\alpha = t_{acc} = t_{dcc} \\ &\alpha(t) = \alpha_m(1-\cos\omega_\alpha t) = \alpha_m(1-\sin(\frac{2\pi}{T\alpha}t + \frac{\pi}{2})) \\ &\alpha(t) = \alpha_m(1-\cos\frac{2}{3}\pi t) = \alpha_m(1-\sin(\frac{2}{3}\pi t + \frac{\pi}{2})) \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

де α_m - половина кута , яка допускається при відхиленні тросу від вертикалі;

t_{acc} - час, який відводиться на розгін (гальмування t_{dcc}) вантажу.

Для перевірки висунутих пропозицій було проведено моделювання в середовищі Matlab поведінки двомасової системи "візок-вантаж" при безпосередньому керуванні моментом двигуна для характерних значень, які відповідають реальним умовам експлуатації крана. При виборі цих значень, а також при розрахунку відповідних коефіцієнтів використовувались реальні дані контейнерного перевантажувача Liebherr P-179 L Super.

Висновки.

Отримані результати моделювання повністю підтвердили можливість керованого і прогнозуємого гасіння коливань в двомасовій системі «візок-вантаж» при керуванні моментом приводного двигуна. Таким чином, керування по запропонованому методу на етапі зміни швидкості двомасової системи забезпечує точне задане відхилення вантажу в середині етапу і нульове відхилення наприкінці його. При цьому шлях, який проходить вантаж, є очікуваним і прогнозованим, що автоматично вирішує задачу позиціювання вантажу. Метод є простим в технічній реалізації: генератор косинусоїди і обчислювач зусилля можуть бути закладені в алгоритми окремого керуючого PLC разом з алгоритмом перемикання режимів VFD з управління моментом в стадії розгону-гальмування на автоматичну стабілізацію швидкості в стадії пересування вантажу із сталою швидкістю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Khandakji K. Anti-Sway System for Container Cranes with Coordinated Motion Control and Reduced Dynamic Loads [Text] / Kamal Khandakji, Victor Busher, Lubov Melnikova (2017) // Jordan Journal of Electrical Engineering, ISSN (Print): 2409-9600, ISSN (Online): 2409-9619 – Tafila Technical University,. – Vol. 3, No. 2. – P. 86–101.
Access mode http://www.ttu.edu.jo/jjee/docs/Vol3no2/JJEE_vol_3_no_2_pp_86_101.pdf

2. Miyata, N., Nishioka, M. (2010). Development of Feedforward Anti-Sway Control for Highly efficient and Safety Crane Operation. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review. 38 (2), 73–77.

3. N. Sun and Y. Fang, "Nonlinear tracking control of underactuated cranes with load transferring and lowering: theory and experimentation," (2014). *Automatica*, vol. 50, no. 9, pp. 2350-2357

4. K. Khandakji and K. Zdrozis, "Optimum sway control for overhead traveling cranes," (2008) *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, vol. 7, no.6, pp. 521-527.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Секція 3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

УДК 621.362.2

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ СХЕМ УПРАВЛІННЯ В ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ МОДУЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ПРИ АСИМЕТРІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

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

Анотація. *Розглянуті особливості використання різних схем управління імпульсними перетворювачами постійної напруги модульної структури з граничним режимом функціонування при асиметрії електричних процесів. Отримані співвідношення для розрахунку струмів в елементах схем.*
Ключові слова: *імпульсні перетворювачі постійної напруги модульної структури.*

FEATURES OF THE USE OF VARIOUS CONTROL CIRCUITS IN PULSE CONVERTERS OF CONSTANT VOLTAGE OF A MODULAR STRUCTURE WITH ASYMMETRY OF ELECTRICAL PROCESSES

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

Abstract. *The features of using various control circuits of pulsed DC/DC converters of a modular structure with a boundary mode of operation with asymmetry of electrical processes are considered. The relations for calculating currents in circuit elements are obtained.*
Key words: *pulsed DC / DC converters of modular structure.*

Поліпшення техніко-економічних показників засобів електроживлення, які є складовою частиною радіотехнічних і телекомунікаційних систем, є однією з серйозних проблем, актуальність вирішення якої відображена в [1]. Основною частиною сучасних засобів електроживлення є імпульсні перетворювачі постійної напруги (ППН) модульної структури, виконані з паралельно включених N однотипних силових каналів СК$_k$ (де k = 1, 2 ..., N), які функціонують на загальне навантаження Н від джерела первинного електроживлення ДПЕ (рис. 1: СУ – схема управління; $U_Ж$ – напруга живлення ППН; $U_Н$ – напруга навантаження ППН; u_{yk} – напруга управління k-го СК). Модульна побудова імпульсних ППН підвищує коефіцієнт корисної дії (ККД), рівень технологічності, а також їхню надійність

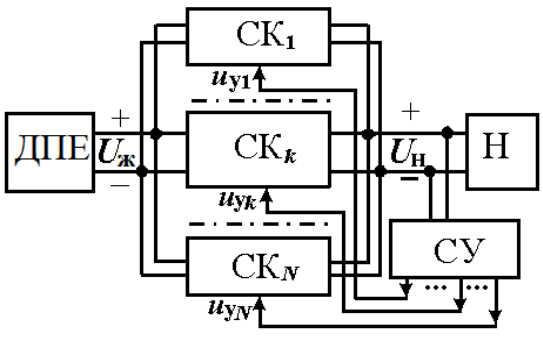


Рисунок 1 – ППН модульної структури

Використання граничного режиму функціонування СК дозволяє поліпшити динамічні параметри, зменшити енергетичні втрати при переключенні силових ключів, зменшити рівень випромінюваних завад.

У відомих науково-технічних публікаціях для модульних ППН вважається ідентичність електричних процесів (симетрія) і параметрів СК, зокрема параметрів індуктивностей L_k дроселів СК. Однак на практиці неможливо досягти симетричного режиму функціонування всіх СК модульного ППН внаслідок неідентичності, наприклад, параметрів дроселів СК.

Для отримання співвідношень щодо визначення струмів в елементах СК модульних ППН, які описують декілька схемотехнічних рішень при граничному режимі роботи при неідентичності параметрів дроселів СК, розглянемо особливості функціонування різних схем управління (СУ). Це дозволить оптимізувати методику проектування імпульсних ППН модульної структури, що враховує особливості функціонування різних схем управління перетворювачами.

Розглянемо різні схеми управління (рис. 1), які функціонують за одним з таких алгоритмів [2] – рис. 2:

1. Схема управління СУ1 з формуванням сигналів $u_{yk}(t)$ управління N силовими каналами шляхом розподілу одного сигналу $u_y(t)$ управління.

2. Схема управління СУ2 з формуванням сигналів $u_{yk}(t)$ управління в кожному k-му СК, що забезпечують рівномірний розподіл струму навантаження в k-х СК: $I_{нk} = I_н/N$.

3. Схема управління СУ3 зі струмовим регулюванням в k-х СК: $I_{m1k} = I_{m1}$, $k = 1, 2\ldots, N$.

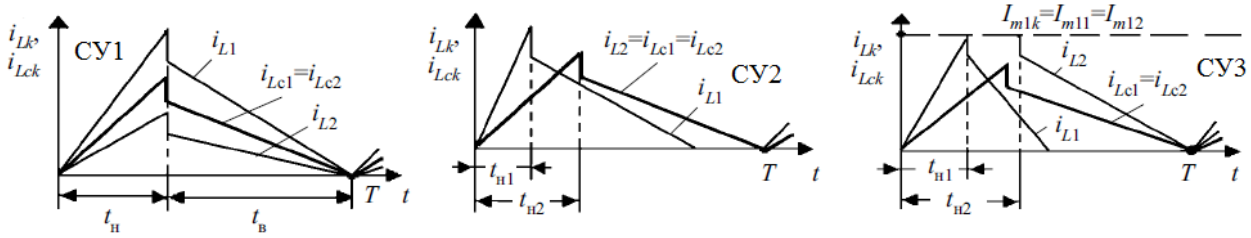


Рисунок 2 – Часові діаграми, що пояснюють роботу різних схем управління ($N = 2$)

На рис. 2 прийняті наступні позначення [2]: T – період комутації; $t_{нk}$ і $t_{вk}$ – інтервали, на яких відбувається накопичення і повернення енергії дроселями $L_{нk}$ СК, значення розмаху I_{mk} пульсацій струму дроселя i_{Lk} k-го СК.

Схема управління СУ1 забезпечує в окремо взятому k-му СК наступні параметри електричних процесів:

$$\begin{cases} u_{yk}(t) = u_y(t), & \Delta t_y = \Delta t_{ck}, & t_{ик} = t_и, & к_{зk} = к_з, & T_{cyk} = T_{cy}; \\ t_{нk} = t_н, & t_{вk} = t_в, & к_{нk} = к_н, & к_{вk} = к_в, & k = 1, 2\ldots, N. \end{cases} \quad (1)$$

При асинхронному режимі роботи модульного ППН часовий зсув між електричними процесами в СК $\Delta t_{ck} \neq 0$, при однофазному режимі роботи $\Delta t_y = \Delta t_{ck} = 0$, при багатофазному режимі $\Delta t_y = \Delta t_{ck} = T/N$ [2, 3].

У загальному випадку значення індуктивності L_{1k} дроселя k-го СК визначається як:

$$L_{1k} = \begin{cases} L_1 + \Delta L_{1k}; \\ (L_2 + \Delta L_{2k})/(n_{21} + \Delta n_{21k})^2, \end{cases} \quad (2)$$

$$L_{1k} \in \{L_{1\min} \div L_{1\max}\}, \quad L_{1\min} = L_1 - \Delta L_{1\max}, \quad L_{1\max} = L_1 + \Delta L_{1\max},$$

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

де L_1, L_2, n_{21} і ΔL_{1k}, ΔL_{2k}, Δn_{21k} – номінальні значення індуктивностей первинних W_1, вторинних W_2 обмоток, коефіцієнтів автотрансформації дроселів k-х СК і їх відхилення (максимальне $\Delta L_{1\max}$) від номінальних значень. Тобто, $L_{1k}= f\ (\Delta L_{1k}, \Delta L_{2k}, \Delta n_{21k})$.

При $\Delta L_{1k}= 0$ ($\Delta L_{2k} =0$, $\Delta n_{21k} =0$) забезпечуються симетричні електричні процеси. В цьому випадку $I_{m1k} = I_{m1}, I_{m2k} = I_{m2}$:

$$I_{m1} = U_{Lн} t_н / L_1 = U_{Lн} к_н T / L_1; \qquad I_{m2} = U_{Lв} t_в / L_2 = U_{Lв} к_в T / L_2. \quad (3)$$

Схема управління СУ2 забезпечує умови рівності середніх струмів навантаження k-х СК незалежно від значень індуктивностей L_{1k}:

$$I_{нсрk} = I_{нk} = I_{нсk} = I_н / N. \quad (4)$$

Силові канали $СК_{L1k\max}$ з максимальними значеннями індуктивностей $L_{1k}=L_{1k\max}$ функціонують в граничному режимі, а інші СК – в розривному режимі. Значення $L_{1k\max}$ визначається як:

$$L_{1k\max} = \max \{ L_{1k} \}, \quad k = 1, 2\ldots, N. \quad (5)$$

При асиметрії електричних процесів ППН частота $f_k = f\ (L_{1k\max}) = f\ \{L_{1k\max}\}$ визначається значенням $L_{1k\max}$ [3]. Часи накопичення $t_{нk}$ (і часи повернення $t_{вk}$) електричної енергії в k-х СК не рівні між собою і не рівні часу накопичення $t_{нс}$ (часу повернення $t_{вс}$) при симетрії електричних процесів: $t_{нk} \neq t_{нс}$; $t_{вk} \neq t_{вс}$.

Схема управління СУ3 забезпечує виконання умови рівності амплітудних значень струмів в дроселях СК:

$$\begin{cases} I_{m11} = \ldots I_{m1k} = \ldots = I_{m1N}; \\ I_{m21} = \ldots I_{m2k} = \ldots = I_{m2N}. \end{cases} \quad (6)$$

При асиметрії електричних процесів (при $\Delta L_{1k} \neq 0$) ППН функціонує на частоті $f_k = f\ \{L_{1k\max}\}$, струми навантаження $I_{нk}$ силових каналів не рівні між собою. СК з максимальним значенням індуктивності дроселя $L_{1k\max}$ функціонує в граничному режимі, а інші СК – в розривному режимі.

При використанні схеми управління СУ3 для будь-якого k-го СК ППН справедливе наступне:

$$I_{m1k} = I_{m1}; \qquad I_{н1} \neq \ldots \neq I_{нk} \neq I_{нсk}, \qquad k = 1, 2, \ldots, N. \quad (7)$$

Висновки. Отримані співвідношення для визначення струмів в елементах СК імпульсних перетворювачів постійної напруги, що функціонують в граничному режимі, в тому числі, при неідентичності параметрів дроселів СК, є узагальненими для основних типів схем силових каналів і щодо їх режимів роботи – стабілізації та стеження. Вони дозволяють проводити необхідні розрахунки при вирішенні завдань дослідження і проектування силової частини імпульсних ППН з різними схемами управління.

ЛІТЕРАТУРА

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

2. Кадацкий, А.Ф. Асимметрия электрических процессов в импульсных преобразователях постоянного напряжения модульной структуры [Текст] / А.Ф. Кадацкий, И.П. Малявин // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2008. –№ 3 (75). – С.7 - 14.

3. 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 621.3.072.1 (045)

ВПЛИВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СУДНОВОЇ МЕРЕЖІ НА ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РЕГУЛЬОВАНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

В. М. Захарченко, д.т.н., професор
М. Й. Муха, д.т.н., професор
А. О. Дранкова, к.т.н., доцент
І. І. Красовський, електромеханік
В. А. Недосєйкін, магістрант
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: *У роботі досліджувався вплив якості електроенергії суднової мережі на показники енергоефективності регульованих електроприводів при роботі у типових експлуатаційних режимах. Експериментальні дослідження проведені при використанні лабораторного комплексу на базі обладнання фірми Mitsubishi Electric, яке складається із багатофункціонального вимірювального пристрою (Electronic Multi-Measuring Instrument ME96SS), перетворювача частоти (FR-F840-00052) та програмованого логічного контролера Alpha2. Електромашинний підсилювач ЭМУ12А-А11-УХЛ з асинхронним двигуном (АД) потужністю 1,68 кВт використано для імітації режимів роботи суднового підрулюючого пристрою з реалізацією частотного управління та типового навантаження. Система управління навантаженням АД реалізована з використанням ПЛК Alpha2. Параметри електричної енергії (фазні струми, напруги, коефіцієнт потужності та гармонійний склад) вимірювались як на стороні живлення перетворювача частоти, так і на його виході. Крім цього проводилось вимірювання активного опору статорних обмоток АД на всьому діапазоні зміни навантаження.*

Ключові слова*: показники якості електроенергії, показники енергоефективності регульованих електроприводів, частотний перетворювач, асинхронний двигун, контролер, багатофункціональний вимірювальний пристрій.*

IMPACT OF SHIPBOARD ELECTRIC POWER QUALITY ON ENERGY EFFICIENCY INDICATORS OF A VARIABLE FREQUENCY DRIVE

Vadim Zakharchenko, Dr.Tech.Sc., Professor
Mykola Mukha, Dr.Tech.Sc., Professor
Alla Drankova, PhD, Assistant professor
Igor Krasovskyi, ship's electrotechnical officer
Viktor Nedosieikin, Master Student
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *In this paper, the impact of shipboard quality electric power on the energy efficiency indicators of a variable frequency electric drive was investigated. Experimental researches were performed using a laboratory complex based on equipment from Mitsubishi Electric, which consists of a multifunction measuring device (Electronic Multi-Measuring Instrument ME96SS), a frequency converter (FR-F840-00052) and a programmable logic controller Alpha2. An EMU12A-A11-UHL electric machine amplifier with an induction motor and load DC generator are used to simulate the operating modes of a ship's bow thruster with fre-*

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

quency control and typical load. The parameters of electrical energy (phase currents, voltages, power factor and harmonic composition) were measured both on the power supply side of the frequency converter and on its output. In addition, measurements were made of the active resistance of the induction motor stator windings over the entire load change range.

Keywords: *power quality indicators, energy efficiency indicators of controlled electric drives, frequency converter, induction motor, load DC generator, controller, multifunctional measuring device*

Оцінка енергоефективності роботи регульованих електроприводів в умовах проведення сучасної модернізації систем керування судновими механізмами і комплексами, а також зростання вимог до якості електроенергії суднової мережі у відповідності до вимог морських Класифікаційних Товариств є актуальною науковою та експлуатаційною задачею [1,2,3].

Задля проведення експериментів з дослідження впливу частотно-керованого електроприводу на енергоефективність роботи асинхронних двигунів та оцінки якості електромережі на кафедрі суднової електромеханіки і електротехніки НУ «ОМА» було проведено модернізацію електромеханічного лабораторного стенду, показаного на блок-схемі (рис.1). Вимірювальні блоки №1 та №2 реалізовано на базі багатофункціонального вимірювального пристрою Electronic Multi-Measuring Instrument ME96SS, блок вимірювання №3 – за допомогою цифрових мультиметрів LINI-T UT70A та LINI-T UTM1803.

В якості силового каналу електропривода застосовано перетворювач частоти FR-F840-00052, електромашинний підсилювач ЭМУ-12А з приводним асинхронним двигуном потужністю споживання 1,68 кВт та навантажувальним генератором постійного струму потужністю 1 кВт, в якірному колі котрого включаються активні опори у відповідності з типовим навантаженням імітуємого електропривода, а саме підрулюючого пристрою танкера-газовоза дедвейтом 5700 тон. Управління зміною навантаження АД реалізовано промисловим програмованим контролером Alpha2, який забезпечує переключення навантаження на 25%, 50%, 75%, 100% від номінального, а також реалізує режим перенавантаження (125%).

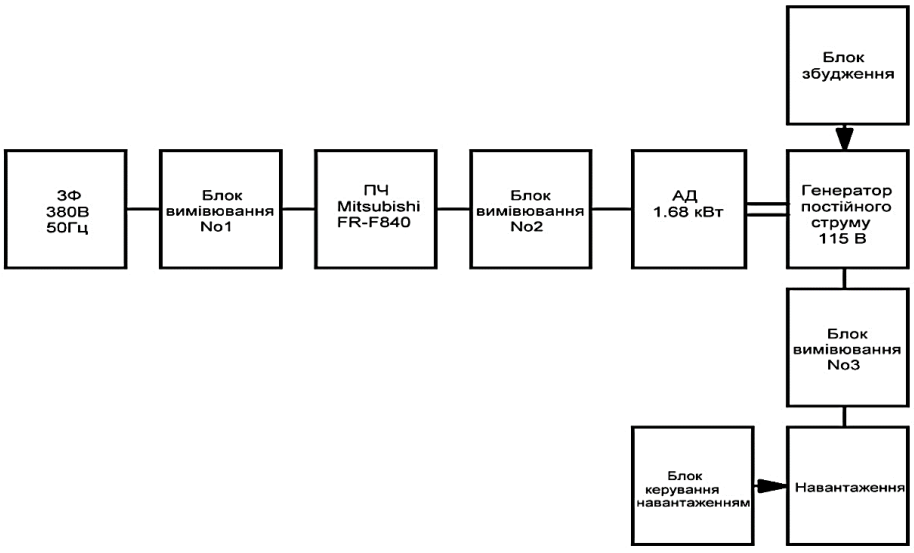


Рисунок 1 – Блок-схема обладнання для проведення експериментів

Монтаж та налаштування лабораторного стенду проведено згідно наступної функціональної схеми (рис.2), яка безпосередньо включає обладнання фірми Mitsubishi Electric [4,5,6,7].

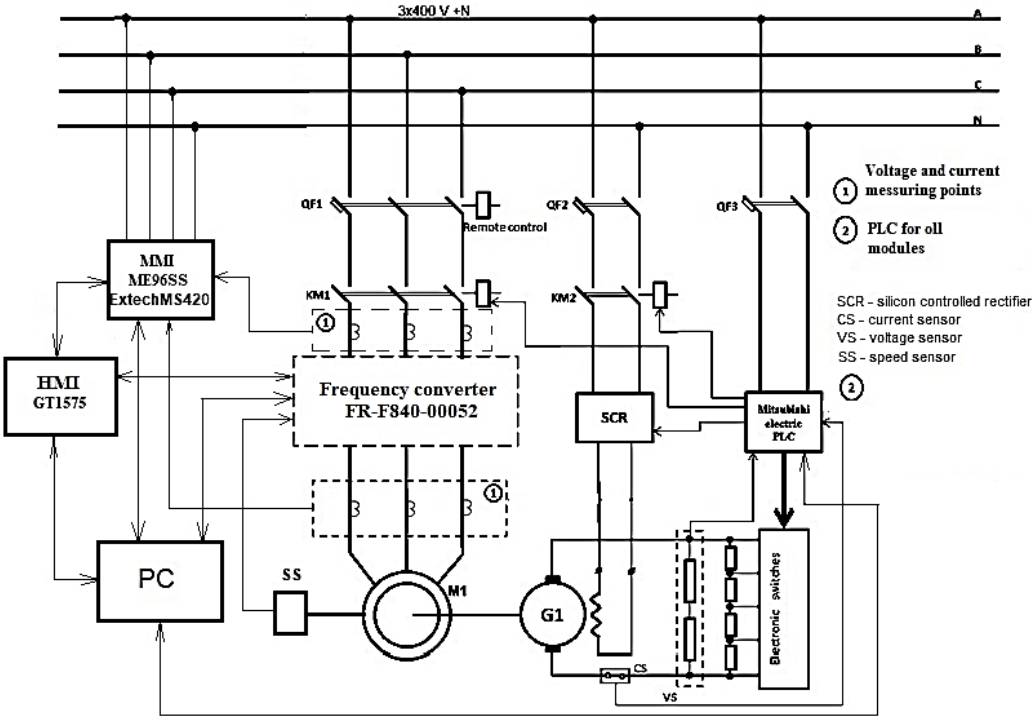


Рисунок 2 – Функціональна схема електромеханічного лабораторного стенду

За результатами експерименту були отримані показники енергоефективності регульованого електроприводу, в якості прикладу наведені результати експерименту при навантаженні 100% та 50% та роботі на частоті 50 Гц (табл.1 та табл.2).

Таблиця 1 – Результати експерименту при 100% навантаженні.

DCG load data: I_{load} = 8,6A R_{load} = 13,8Ω U_{load} = 115V					
Converter FR-F840-00052 data: I_{FR} = 1,96A U_{FR} = 385V f_{FR} = 50,3Hz					
Classroom temperature = 22,7 ºC					
ME9696SSRA-MB					
I_A, A	2,828	U_{A-N}, V	284,1	U_{A-B}, V	412,8
I_B, A	2,828	U_{B-N}, V	283,3	U_{B-C}, V	414,1
I_C, A	2,811	U_{C-N}, V	283,7	U_{A-C}, V	415,3
Before testing: stator winding resistance - $R_A = R_B = R_C$ = 3,4 Ω					
After one-hour operation. Measuring during 10 sec after motor stop, classroom temperature = 24,2 ºC					
R_A, Ω	3,8				
R_B, Ω	3,8				
R_C, Ω	3,8				
Measuring after 15 min of motor stopped					
R_A, Ω	4,0				
R_B, Ω	4,0				
R_C, Ω	4,0				

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Таблиця 2 – Результати експерименту при 50% навантаження.

DCG load data: I_{load} = 4,2A R_{load} = 26,2Ω U_{load} = 110V					
Converter FR-F840-00052 data: I_{FR} = 1,94A U_{FR} = 393V f_{FR} = 50,3Hz					
Classroom temperature = 23,4 ºC					
ME9696SSRA-MB					
I_A, A	2,828	U_{A-N}, V	254,1	U_{A-B}, V	405,8
I_B, A	2,828	U_{B-N}, V	253,3	U_{B-C}, V	406,1
I_C, A	2,811	U_{C-N}, V	254,7	U_{A-C}, V	407,3
Before testing: stator winding resistance - $R_A = R_B = R_C$ = 3,4 Ω					
After one hour operation. Measuring during 10 sec after motor stop, classroom temperature = 24,1 ºC					
R_A, Ω	3,7				
R_B, Ω	3,7				
R_C, Ω	3,7				
Measuring after 15 min of motor stopped					
R_A, Ω	4,0				
R_B, Ω	4,0				
R_C, Ω	4,0				

Висновки. Отриманні експериментальні результати демонструють функціональні можливості використання створеного лабораторного стенду на базі обладнання фірми Mitsubishi Electric для оцінки енергоефективності роботи регульованих електроприводів. У подальшому планується серія експериментів для аналізу енергоефективності основних суднових електроприводів при роботі у реальних умовах зміни якості електромережі та типового навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

1. А.О. Дранкова, М.Й. Муха, С.С. Міхайков, І.І. Красовський, М.С. Химчак, А. О. Цибух. Електромеханічний лабораторний стенд для дослідження якості електроенергії автономної електромережі // Матеріали науково-методичної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.12.2018 – 06.12.2018. – Одеса: НУ«ОМА», 2019). – С.86-93.

2. С.С. Міхайков, М.Й. Муха, Дранкова А.О. Підвищення якості електроенергії в експлуатаційних режимах суднової системи охолодження // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – №16 (1341). – С.85-89, doi: 10.20998/2079-8024.2019.16.15.

3. В. С. Петрушин, Р. Н. Еноктаев, О. И. Шестаков, Н. С. Прокопенко. Учет потерь от высших гармонических в регулируемых асинхронных двигателях // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворювання енергії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – №1 (1223). – С. 101-105.

4. Electronic Multi-Measuring Instrument. Model ME96SSRA-MB. User's Manual: Detailed Edition. Mitsubishi Electric Corporation (Head office), Tokyo Building 2-7-3, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8310, Japan, 2017. – 108 с.

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

6. Mitsubishi Electric. α2 Простой прикладной контроллер. Руководство по аппаратной части. – Mitsubishi Electric Corporation: Токио 100-8310 фабрика Химеджи 840, Чийода Чо,Химеджи, Япония, 2008. – 131 с.

7. https://www.kck.ua

Секція 4. СУЧАСНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, КОМПОНЕНТИ ТА ДІАГНОСТИКА

УДК 621.313.333

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПРИВОДУ НАСОСУ ЗАБОРТНОЇ ВОДИ РЕГУЛЬОВАНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ У РІЗНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМАХ

В. С. Петрушин, д.т.н.. професор
Є. В. Дзюба, магістрант
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: *Розглянуто привід насосу забортної води, в якому для підвищення стабільності тиску в трубопроводі мережі, а також для зменшення експлуатаційних витрат, було запропоновано застосовувати перетворювач частоти. Аналізуються критерії енергоефективності приводу у різних експлуатаційних режимах та отримується результуючий критерій.*

Ключові слова: *асинхронний двигун, регульований електропривод, насос забортної води, частотний перетворювач, моделювання, дросельне регулювання, критерії ефективності.*

MODELING AND RESEARCH OF OPERATION OF SEAWATER PUMP DRIVE WITH CONTROLLED PRODUCTION IN DIFFERENT OPERATING MODES

V. Petrushyn, Dr. of Science, Professor
Y. Dziuba, Master Student
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *The drive of the seawater pump was observed, in which the frequency converter was proposed to increase the stability of the pressure in the pipeline and to reduce operating costs. The energy efficiency criteria of the actuator are analyzed in different operating modes and the resulting criterion is obtained.*

Key-words: *asynchronous motor, regulatable drive, outboard water pump, frequency converter, modeling, throttle control, performance criteria.*

Насос забортної води відноситься до системи охолодження, яка призначена для підтримки температурного режиму головного двигуна при всіх режимах його роботи. Охолодження суднових двигунів зазвичай проходить по замкнутому контуру прісної води, яка охолоджується забортною водою в спеціальному холодильнику. Забортна вода приймається в систему охолодження через бортовий або донний кінгстон. Потім через фільтр поступає до насосу і далі пройшовши через холодильник виливається за борт. В залежності від температури забортної води, а також від режиму роботи суднового двигуна, кількість забортної води що покачується через холодильник постійно змінюється.

Самим розповсюдженим на даний час є метод зміни продуктивності насосу дроселюванням. Внутрішній контур замкнений. Кількість прісної води, що проходить через двигун и через холодильник однакове. При зміни температури

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

прісної води, що надходить в двигун, регулюючий орган, встановлений на магістралі підвода забортної води, змінює кількість води, яка протікає через холодильник, шляхом дроселювання. Недоліком даної системи, в першу чергу, є її не економічність з точки зору енергоспоживання. Оскільки, електродвигун постійно обертається з номінальною швидкістю незалежно від навантаження.

Теорія роботи нагнітачів (насосів і вентиляторів) доводить, що зміна частоти обертання приводу нагнітача змінює його напірні характеристики, крім того, натиск створюваний нагнітачем, пропорційний квадрату частоти обертання агрегату. Можливості зниження потужності, споживаної двигуном насоса, при регулюванні швидкості електропривода в порівнянні з регулюванням дросельною заслінкою ілюструє (рис.1).

При номінальній витраті і напорі насос працює в точці А, що відповідає характеристиці магістралі 3 і характеристиці $H = f(Q)$ насоса(крива 1) при номінальній швидкості двигуна. Зі зменшенням витрати при нерегульованому електроприводі за рахунок дросельного керування відбувається зміна опору магістралі (крива 4). Насос працює в точці В кривої 1, що призводить до зростання напору, який стає більшим від номінального. Потужність, споживана насосом, пропорційна площі прямокутника ODBF.

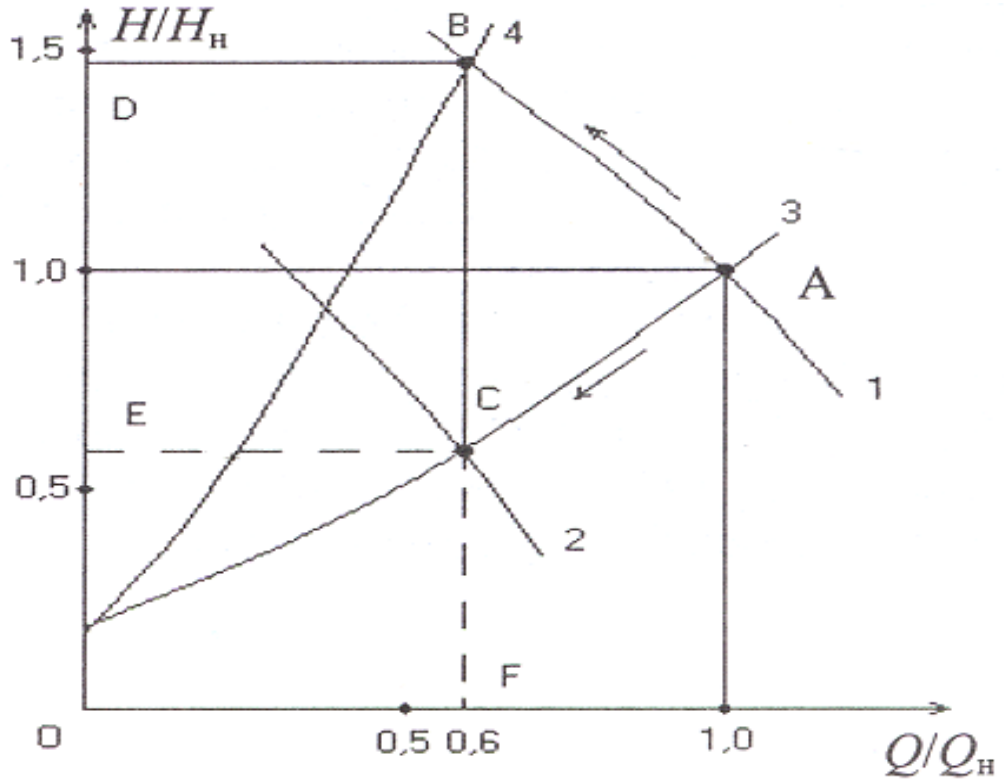


Рисунок 1 – Можливості зниження потужності, споживаної двигуном насоса, при регулюванні швидкості електропривода в порівнянні з регулюванням дросельною заслінкою

При використанні регульованого електропривода за рахунок зниження швидкості насос працює при знижених витратах в точці С, що відповідає іншій характеристиці $H = f(Q)$ (крива 2) при незмінній характеристиці магістралі (крива 3). Потужність, споживана електроприводом у цьому випадку, про-

порційна OECF, що наочно ілюструє можливості істотного зниження енергоспоживання при впровадженні електроприводів насосів.

Якщо організувати роботу приводу насосного агрегату так, щоб він при зміні параметрів технологічного процесу (витрати в мережі і тиск на вході агрегату) змінював частоту обертання, то у результаті можна без істотних втрат енергії стабілізувати тиск в мережі споживачів. При такому способі регулювання виключаються втрати натиску (немає дросельних елементів), а значить, і втрати гідравлічної енергії.

У процесі експлуатації, електропровід насосу забортної води може працювати у різних експлуатаційних режимах, пов'язаних з відповідними режимами роботи суднового двигуна. У зв'язку з цим, доцільно розглянути декілька експлуатаційних режимів.

Перший експлуатаційний режим, передбачає однакову тривалість роботи на кожній швидкості діапазону регулювання. В такому випадку оцінка енергетики здійснюється за середньодіапазоним критерієм ефективності.

Другий експлуатаційний режим, пов'язаний з неоднаковою тривалістю роботи на розглянутих швидкостях. При цьому критерії ефективності розглядаються з урахуванням тривалості роботи на цих швидкостях.

Третій експлуатаційний режим передбачає близьку за часом тривалість усталених та перехідних процесів. В цьому випадку вимагається урахування значень критеріїв ефективності у перехідних процесах. Можливо роздивитися декілька критеріїв енергоефективності: ККД та коефіцієнт ефективності, що представляє собою добуток ККД на коефіцієнт потужності.

Доцільно в підсумку перейти від значень коефіцієнтів енергоефективності для кожного режиму до результуючого значення коефіцієнту енергоефективності. Одночасно з розглядом енергоефективності можуть бути розглянуті інші функціональні показники (температура, віброакустичні та механічні показники).

Висновки. Застосування частотного регулювання приводів дозволяє істотно зменшити експлуатаційні витрати, пов'язані з обслуговуванням агрегатів і систем. Наприклад, зниження перепаду тиску між всмоктуючим і напірним патрубками насосного агрегату збільшує термін служби сальникових ущільнень, практично виключаючи гідроудари і забезпечує стабільність тиску в трубопроводах мереж, а також мінімізує витрати на обслуговування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Петрушин В.С. Учебное пособие "Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе"// Одесса, Наука и техника, 2006, – 320 с.

2. В.С. Петрушин, Р.Н. Еноктаев. Модификация критерия приведенных затрат электропривода для проектирования регулируемых асинхронных двигателей // Вестник Национального технического университета "ХПИ". – 2014. – Вып. 38 (1081). – С. 132 – 137.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

УДК 629.1-46

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ КЛІМАТУ В ЗАЛІ РЕСТОРАНУ ПАСАЖИРСЬКОГО СУДНА

О. С. Жуков, магістрант
Ю. В. Курганский, електромеханік
А. О. Карпеленя, магістрант
В. В. Бушер, д.т.н., професор
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Метою роботи є аналіз варіантів рішення проблеми забезпечення комфортних мікрокліматичних умов в приміщенні великого залу ресторану пасажирського судна і розробка рекомендацій щодо вибору основних агрегатів системи та її налаштування в режимах вентиляції/кондиціювання. На підставі експериментальних досліджень в малому приміщенні зі спліт-кондиціонером та принципу подібності запропоновано використовувати систему чіллер-фанкойл з налаштуванням вихідного сигналу ПІД-регулятора зовнішнього контуру таким чином, щоб у момент досягнення заданої температури приміщення відбувалось короткочасне перемикання (скидання) інтегральної складової до заданого значення температури в приміщенні. Для оптимізації енергоспоживання в системі запропоновано в системі вентиляції використовувати датчики якості повітря з автоматичним перемиканням режимів кондиціювання і вентиляції та регулюванням швидкості вентилятора.*

Ключові слова. *Кондиціювання, вентиляція, чіллер, фанкойл, ПІД-регулятор, спіральний компресор, інвертор*

CLIMATE CONTROL SYSTEM RESEARCH IN THE RESTAURANT OF CRUISE VESSEL

O. S. Zhukov, Master Student
Yu. V. Kurganskyi, elektromehanik
A. O. Karpelenya, Master Student
V. V. Busher, Dr. of Science, Professor
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *The purpose of this work is to analyze the solutions to the problem of providing comfortable microclimate conditions in the restaurant room of a passenger ship and to develop recommendations for the choice of the main units of the system and its adjustment in the modes of ventilation / air conditioning. Based on experimental studies in a small room with split-air conditioner and the principle of similarity, it is proposed to use a chiller-fancoil system with adjusting the output signal of the PID controller of the external circuit so that at the moment of reaching the set room temperature, a short switching will occur (switchover) room temperature. In order to optimize the power consumption of the system, it is suggested to use air quality sensors in the ventilation system with automatic switching of the air-conditioning and ventilation modes and regulation of the fan speed.*

Keywords*. Air conditioning, ventilation, chiller, fancoil, PID controller, spiral compressor.*

Великий зал ресторану на судні служить не тільки для прийму їжі, а й є місцем відпочинку багатьох пасажирів під час довгого рейсу. Відповідно, у цьому приміщенні в будь-який час необхідно забезпечувати комфортні умови, до основних показників яких входять не тільки температура, але й вологість повітря та доля шкідливих домішок у ньому.

Мета роботи – аналіз варіантів рішення проблеми забезпечення комфортних мікрокліматичних умов в приміщенні концертного холу пасажирського судна і розробка рекомендацій щодо вибору основних агрегатів системи та її налаштування в режимах вентиляції/кондиціювання.

В якості об'єкту дослідження обрано ресторан з нормативним за санітарними вимогами обсягом обміну повітря 9000 м^3/год.

Рівень комфорту в приміщенні оцінюється по поєднанню як мінімум двох показників: температури та вологості повітря. В якості критерія оцінки може бути використаний наступний індекс:

$$D_n = 0.72\left(\theta_C + \theta_B\right) + 40.6, \tag{1}$$

де θ_C, θ_B – показання сухого и вологого термометрів [1]. Оптимальним вважається $D_n \le 70$. З техніко-економічних зображень доцільно обирати $D_n = 70$, так як при зменшенні цього індексу необхідно зменшувати температуру в приміщенні і, відповідно витрачати більше енергії на охолодження.

Очевидно, що сума $\theta_C + \theta_B$ є функцією температури и вологості повітря в приміщенні.

Враховуючи, що температура вологого термометру $\theta_B = \theta_C - \Delta\theta\left(\theta_C, \phi\right)$, де $\Delta\theta$ – психрометрична різниця, вираз (1) може бути записаний у вигляді:

$$D_n = 0.72\left(2\theta_C - \Delta\theta\left(\theta_C, \phi\right)\right) + 40.6, \tag{2}$$

з якого отримаємо вираз:

$$\theta_C = \left(\left(D_n - 40,6\right)/0,72 + \Delta\theta\right)/2. \tag{3}$$

На підставі психрометричної таблиці [2] і методиці її розрахунку [3] можна визначити вологість за заданою психрометричною різницею $\Delta\theta \ge 0$ и розрахованою за (3) θ_C:

$$\begin{aligned}
&\varphi = 100\frac{10^{A_v} + B_v}{10^{A_t}},\\
&A_v = 10.79574\left(1 - q_v\right) + 5.028lg\left(q_v\right) + 0.000150475\left(1 - 10^{-8.2969\left(p_v - 1\right)}\right) +\\
&+0.00042873\left(10^{4.76955\left(1 - q_v\right)} - 1\right) + 0.78614,\\
&B_v = 0.00795\left(\theta_c - \left(\theta_c - \Delta\theta\right)\right)\left(1 + 0.00115\left(\theta_c - \Delta\theta\right)\right),\\
&A_c = 10.79574\left(1 - q_c\right) + 5.028lg\left(q_c\right) + 0.000150475\left(1 - 10^{-8.2969\left(p_c - 1\right)}\right) +\\
&+0.00042873\left(10^{4.76955\left(1 - q_c\right)} - 1\right) + 0.78614,\\
&q_v = \frac{273.16}{273.15 + \theta_c - \Delta\theta}, p_v = \frac{273.15 + \theta_c - \Delta\theta}{273.16}, q_c = \frac{273.16}{273.15 + \theta_c}, p_c = \frac{273.15 + \theta_c}{273.16}.
\end{aligned} \tag{4}$$

На підставі розрахунку $\theta_C\left(\Delta\theta\right)$ по (3) і підстановки отриманих значень в $\phi\left(\theta_C, \Delta\theta\right)$ по (4), можна виключити $\Delta\theta$ та отримати залежність комфортної температури від вологості.

Результати обчислень надано в табл. 1.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Таблиця 1 – Залежність комфортної температури від вологості повітря

$D_n = 70$	θ_C	20,4	21,4	22,4	23,4	24,4	25,4	26,4	27,4	28,4	29,4	30,4
	ϕ	100,0	88,3	78,0	68,9	60,8	53,7	47,4	41,8	36,9	32,5	28,7

Цю залежність легко апроксимувати логарифмічній функцією, значно простіше за (4). З похибкою менш $0.015\,°C$ комфортну температуру можна обчислити за формулою:

$$\theta_C^{D_n=70} = -8.006\ln(\phi) + 57.295. \qquad (5)$$

Таким чином, якщо в приміщенні виміряти вологість повітря, то цей вираз доцільно використовувати в модулі автоматичного завдання температури системи контролю мікроклімату, що забезпечує відповідність температури і вологості оптимальному значенню індексу комфорту.

На підставі i-d-діаграм вологого повітря та завдання узагальненого циклу охолодження влітку (рис.1) розраховано теплову потужність чіллеру. Для порівняння на рис. 1 наведено також розрахунки потужності системи обігріву взимку, який дає приблизно однаковий результат. Також змодельовано режим кондиціювання, умовно враховуючі зовнішні теплові потоки, як зміну початкових умов (рис. 2).

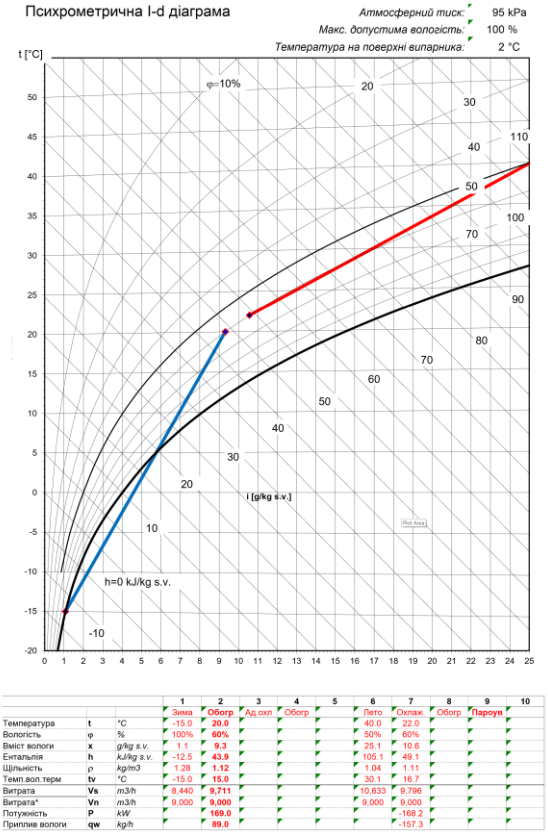


Рисунок 1 – I-d-діаграми загального режиму охолодження та обігріву в режимі вентиляції

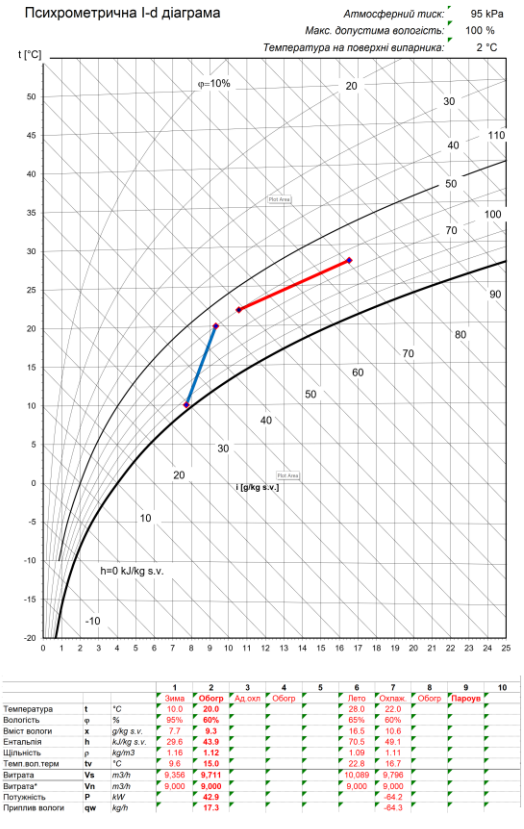


Рисунок 2 – I-d-діаграми загального режиму охолодження та обігріву в режимі кондиціювання

Відповідно отримано необхідну теплову потужність чіллера (180 kW) та обрано вентилятор з продуктивністю 9000 м^3/год. Очевидно, що в режимі кондиціювання витрати енергії чіллера зменшуються в декілька разів.

В лабораторії 121 кафедри СЕМіЕТ проведено дослідження роботи спліт-кондиціонеру в режимах обігріву та охолодження, який за своїми фізичними властивостями при охолодженні суттєво не відрізняється від чіллеру. Різниця полягає лише в тому, що в чіллері функцію носія холоду до фанкойла виконує вода, а в кондиціонері – безпосередньо фреон.

Результати досліджень наведено на рис. 3.

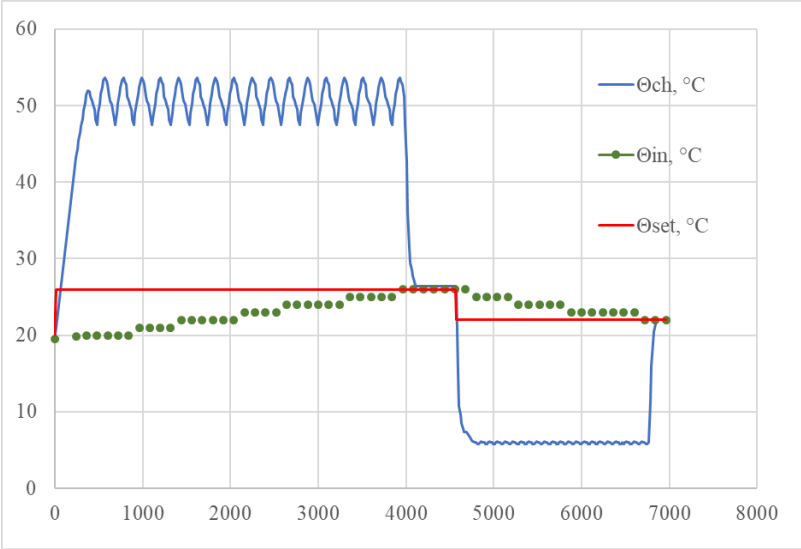


Рисунок 3 – Графіки зміни температури повітря в приміщенні Θ_{in} (зелений), на виході з кондиціонеру Θ_{ch} (синій) відповідно до зміни завдання Θ_{set} (червоний)

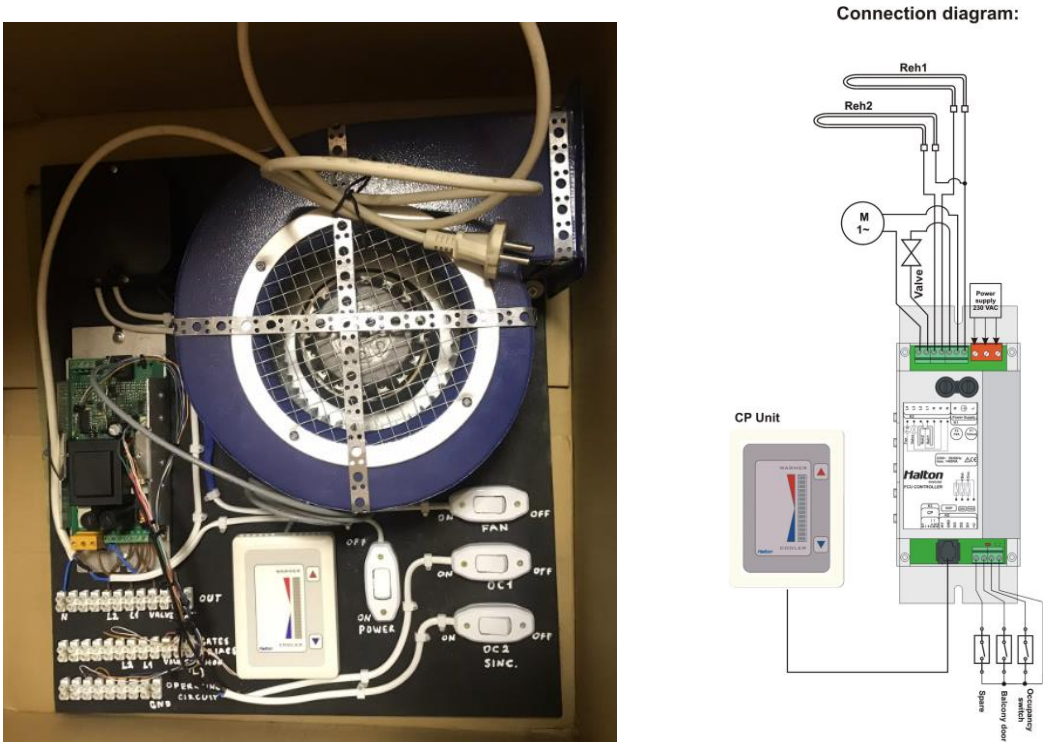
Коливання температури повітря на виході з кондиціонеру є наслідком роботи термо-регулюючого вентиля [4]. Найважливіше, що в системі відсутнє перерегулювання температури в приміщенні Θ_{in} і це, вірогідно, досягається тим, що завдання температури теплоносія Θ_{ch} швидко змінюється до Θ_{set}, як тільки датчик температури в приміщенні свідчить, що $\Theta_{in} = \Theta_{set}$. Це може бути використано при налаштуванні контролера чіллера.

Також важливим елементом системи керування є модуль селектора сигналів, який розподіляє сигнал, розрахований регулятором температури повітря на виході фан-койла, на два канали – регулювання швидкості вентилятора и регулювання теплової продуктивності чіллера. Такий саме модуль керування фанкойлом в каюті використовується на стенді вентиляційної установки, який розміщено також в лабораторії кафедри (рис. 4.).

Також необхідно відмітити, що в великих залах кількість людей може змінюватись в десятки-сотні разів від одиниць до сотень-тисяч. Відповідно, змінюється кількість CO_2, яке поступає в приміщення. Тому доцільно змінювати режим роботи системи мікроклімату: при великій кількості людей система повинна працювати в режимі вентиляції майже з максимальною швидкістю приплив-

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

ного вентилятора і, відповідно, з максимальними енергетичними витратами в чіллері, а при малій кількості – можна працювати в режимі кондиціювання, витрачаючи енергію тільки на компенсацію теплового потоку зовні, а крім того, при невеликій швидкості вентилятора.



а) б)

Рисунок 4 – Учбовий тренажер системи вентиляції каюти (а) та схема підключення системи LRC-1.FC3 (б)

Для роботи такої системи необхідно встановити повітряну заслінку, яка буде відповідати за зміну режимів вентиляції/кондиціювання, і датчик якості повітря, який буде виміряти рівень CO_2 в приміщенні і давати завдання швидкості вентилятора.

З урахуванням отриманих даних розроблено узагальнену структурну схему системи контролю клімату (рис. 5).

Основними блоками системи є регулятори температури приміщення і теплоносія, модуль регулювання швидкості вентилятора.

При моделюванні системи прийнято деякі спрощення, насамперед, приміщення, випарник та конденсатор враховуються, як лінійні інерційні ланки першого порядку. Особливостями роботи терморегулюючого вентиля нехтуємо. З урахуванням таких спрощень диференційні рівняння, що описують перегрів/охолодження повітря відносно температури зовнішнього середовища в режимі вентиляції будуть наступними:

$$\left(\frac{T_{in}}{v^*+q_{in}}p+1\right)\Delta\theta_{in}=\Delta\theta_{in_n}\left(\theta_{ex},\phi\right)\frac{\sum_{i=1}^{n}Q^*_{in_i}}{v^*+q_{in}},$$

$$\left(T_{ch}p+1\right)\Delta\theta_{cond}=\Delta\theta_{cond_n}\left(\theta_{ex},\phi\right)\frac{Q^*_{cond}}{v^*+q_{ch}},$$

$$\left(T_{ch}p+1\right)\Delta\theta_{evap}=\Delta\theta_{evap_n}\left(\theta_{ex},\phi\right)\frac{Q^*_{evap}}{v^*+q_{ch}}, \quad (6)$$

$$\Delta\theta_{cond}=\theta_{cond}-\theta_{ex}heat-\theta_{in}cool,$$

$$\Delta\theta_{evap}=\theta_{evap}-\theta_{ex}cool-\theta_{in}heat,$$

де $\Delta\theta_{in}$, Δ_{cond}, Δ_{evap} – зміна температури повітря в приміщенні, на випарнику і конденсаторі; Q^*, $Q^*_{in_i}$ – відносна теплова потужність джерел тепла/холоду; T_v, T_{ch}, T_{in} – сталі часу елементів системи; $heat$, $cool$ – логічні сигнали, що визначають режим роботи узагальненого кондиціонера підігрів/охолодження (чіллер працює тільки в режимі охолодження); θ_{ex}, θ_{in}, θ_{cond}, θ_{evap} – температура повітря зовні та в приміщенні, на виходах фанкойла; $\Delta\theta_{cond_n}$, $\Delta\theta_{evap_n}$, $\Delta\theta_{in_n}$ – номінальний перегрів повітря при номінальній потужності чіллера та номінальній швидкості вентилятора; q_{ch}, q_{in} – коефіцієнт корекції параметрів від швидкості повітря.

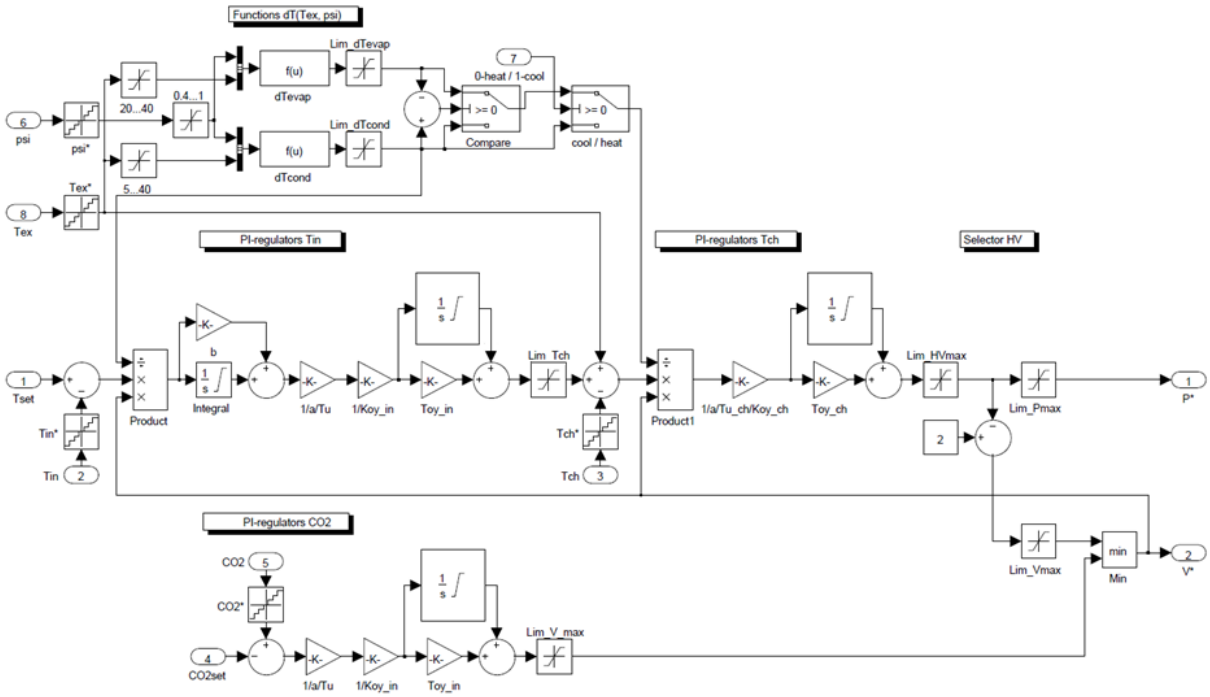


Рисунок 5 – Узагальнена схема системи керування

На рис. 6 наведено результати моделювання перехідних процесів системи контролю мікроклімату в режимі вентиляції для умовного добового циклу, коли

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

температура зовнішнього повітря змінюється по синусоїдальному закону з амплітудою $5°C$, а вночі завдання температури зменшується на $4°C$.

Для зменшення перерегулювання запропоновано модифікувати регулятор температури приміщення так, щоб у момент досягнення завданої температури інтегральна складова регулятора на короткий час скидалася до значення завдання.

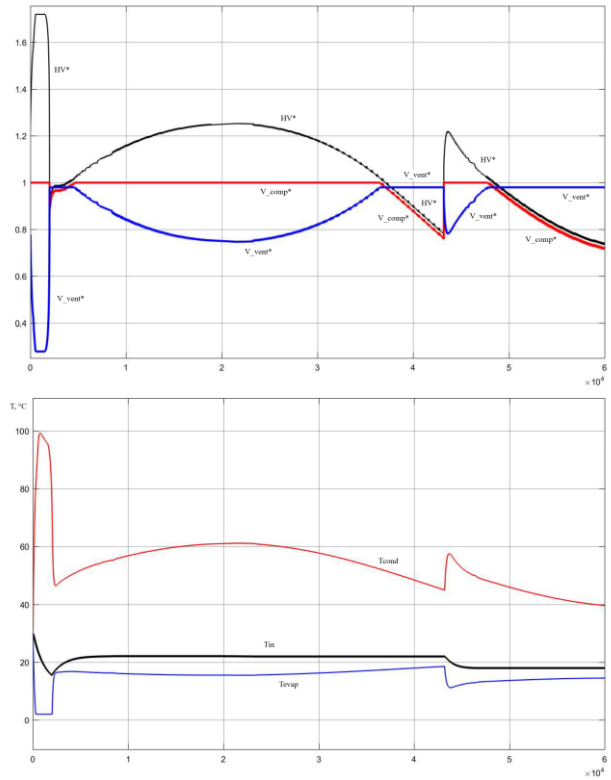


Рисунок 6 – Графіки перехідних процесів в умовному добовому циклі

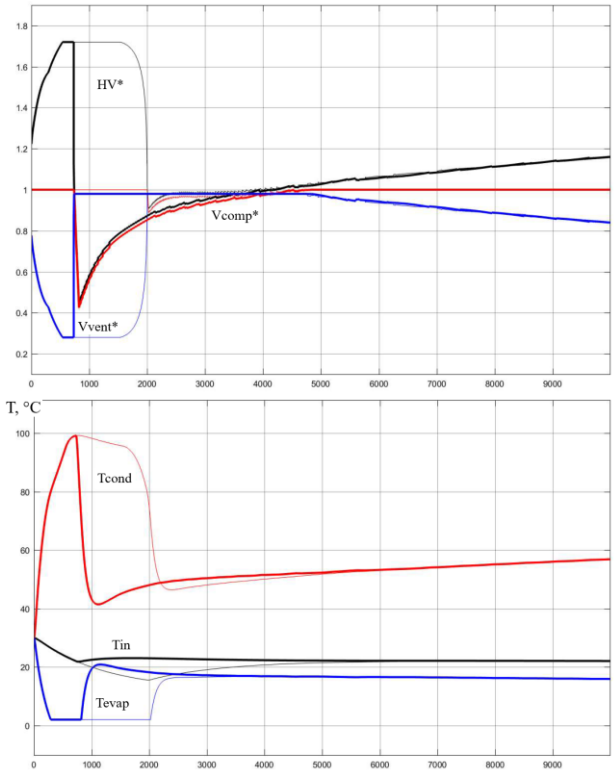


Рисунок 7 – Графіки перехідних процесів сигналів керування компресором і вентилятором та температури в приміщенні, на виході конденсатора та випарника з модифікованим регулятором

Зі створеним регулятором перехідні процеси суттєво змінюються. На рис. 7 показано, як зменшилось перерегулювання з –6.5 °C (тонкі лінії) до +1 °C на початку перехідного процесу, що відповідає процесу охолодження приміщення з 30 до 22 градусів.

З рис. 6 та 7 можна бачити, що система підтримує задану температуру в приміщенні з високою точністю за рахунок спільної роботи як чіллера, так і регулятора швидкості вентилятора.

Висновки. Необхідність забезпечувати комфортні умови в великому приміщенні ресторану при різних зовнішніх умовах і можливих суттєвих змінах кількості людей в залі надають змогу запропонувати реалізацію системи підтримки мікроклімату на базі чіллеру з одночасним використанням датчику якості

повітря для перемикання системи в режим кондиціювання при малому рівні шкідливих домішок у повітрі. Це дозволяє суттєво зменшити витрати енергії в тих випадках, коли якість повітря в приміщенні задовольняє вимогам комфорту. Також необхідно використати датчик вологості повітря для автоматичного розрахунку заданої температури, що забезпечує відповідність температури оптимальному індексу комфорту.

Моделювання системи показало доцільність спільної роботи чіллера і вентиляційної установки шляхом регулювання швидкості вентилятора і теплової продуктивності чіллера. В чіллері це забезпечується вмиканням/вимиканням компресорів і, можливо, регулюванням частоти обертання одного з них перетворювачем частоти, а також використанням перетворювача частоти в вентиляційній установці, керування якого буде виконувати контролер чіллера.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що запропоновано удосконалити алгоритм роботи ПІ- або ПІД-регулятора температури повітря так, щоб в момент досягненні заданої температури скидати завдання температури теплоносія до завдання температури приміщення, що забезпечує відсутність перерегулювання.

Також пропонується удосконалити алгоритм розрахунку завдання температури в приміщенні шляхом використання датчику вологості повітря і отриманого в роботі аналітичного виразу для забезпечення оптимального індексу комфорту в приміщенні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие. [Текст] /А. С. Клюев, А. Т. Лебедев, С. А. Клюев, А. Г. Товарнов, Под ред. А. С. Клюева. – 2–е изд., перераб. и доп. // – М.: Энергоатомиздат, 1989. –386 с.: ил.

2. Богданов, С. Н. Холодильная техника. Кондиционирование воздух. Свойства веществ: Справ. [Текст] / Богданов С. Н., Бурцев С. И., Иванов О. П., Куприянова А. В. Под ред. С.Н. Богданова. 4–е изд., перераб. и доп. — СПб.: СПбГАХПТ, 1999. — 320 с.

3. ГОСТ 8.524–85. Государственная система обеспечения единства измерений. Таблицы психрометрические. Построение, содержание, расчетные соотношения. [электронный ресурс].

4. https://www.youtube.com/watch?v=-I_8MleCPGU «Как работает ТРВ (терморегулирующий вентиль). Принцип работы, монтаж и настройка». [электронный ресурс].

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

УДК 621.3.072.8 (045)

РЕАЛІЗАЦІЯ МОДУЛЯ КЕРУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА БАЗІ ПЛК ДЛЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

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

Анотація: *В роботі представлена технічна реалізація модуля керування типовим навантаженням регульованого електропривода з використанням обладнання фірми Mitsubishi Electric, який є частиною електромеханічного лабораторного комплексу, призначеного для дослідження показників якості електромережі та оцінки енергоефективності роботи частотно-регульованого електропривода. Модуль керування створено на базі промислового програмованого логічного контролера ALPHA2, програма якого написана на мові функціональних блок-діаграм (FBD) у програмному середовищі AL-PCS/WIN-EU. Модуль програмно забезпечує два способи керування типовим навантаженням електропривода: ручний, при якому відповідна ступінь резистора підключається до якірного кола навантажувального генератора, та автоматичний, що забезпечує підключення навантажувального резистора генератора у функції частоти обертання двигуна та у відповідності з обраним типовим характером навантаження. Результати експериментальних випробувань показали, що створений модуль керування типовим навантаженням є зручним та надійним інструментом при проведенні наукових досліджень регульованих електроприводів у лабораторних умовах.*

Ключові слова*: частотно-регульований електропривод, навантажувальний генератор, програмований логічний контролер, частотний перетворювач, типове навантаження, давач обертів*

IMPLEMENTATION OF THE PLC BASED LOAD CONTROL MODULE FOR FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVE

Mykola Mukha, Dr. of Science, Professor
Alla Drankova, PhD, Associate Professor
Igor Krasovskyi, ship's electrotechnical officer
Sergiy Mikhaykov, ship's electrotechnical officer
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *The paper presents the technical implementation of the load control module for the controlled electric drive using Mitsubishi Electric equipment, which is part of the electromechanical laboratory complex, designed to study the quality of the electrical network and to evaluate the energy efficiency of the variable frequency electric drive(VFD). The control module is based on the industrial programmable logic controller ALPHA2, the program of which is written on the functional block diagrams (FBD) language in the AL-PCS / WIN-EU software environment. The module software provides two ways to control the typical load of the actuator: manual, in which the corresponding degree of resistor is connected to the anchor circuit of the load generator, and automatic, which provides the connection of the load resistor of the generator in the function of the speed of the motor and in accordance with the selected typical load. The results of the experimental tests showed that the created module of typical load control is a convenient and reliable tool for carrying out scientific researches of variable frequency drives in laboratory.*

Keywords: *variable frequency electric drive, load generator, programmable logic controller, frequency converter, typical load, speed sensor*

Лабораторія мікроконтролерного керування та моделювання електромеханічних систем, яка функціонує на кафедрі суднової електромеханіки і електротехніки з початку 2014 року є частиною інноваційного тренажерного комплексу [1,2,3]. Вона облаштована сучасними засобами промислової автоматизації фірми Mitsubishi Electric, а саме практично повною лінійкою програмованих логічних контролерів (ПЛК), перетворювачами частоти, пристроями плавного пуску, шаговими серводвигунами, інтерактивними панелями оператора та мережевим комунікаційним обладнанням, використовується як в навчальному процесі, так і у наукових дослідженнях кафедри.

Сучасний частотно-регульований асинхронний електропривод стає невід'ємною частиною суднових систем і комплексів, де широко використовуються ефективні енерго- і ресурсозберігаючих технології. Тому вивчення та дослідження таких електроприводів у різних варіантах застосування з типовим навантаженням, характерним для суднових механізмів є актуальним завданням.

Розроблений модуль керування навантаженням асинхронного електроприводу є частиною експериментального стенду, одним із завдань якого є оцінка впливу якості автономної електромережі на показники енергоефективності регульованих електроприводів при роботі у реальних експлуатаційних режимах з типовим навантаженням. У цьому експериментальному дослідженні розглядались наступні показники якості електромережі: відхилення напруги, відхилення частоти, несиметрія та несинусоїдність напруги. Коефіцієнт потужності та коефіцієнт корисної дії використовувались як показники енергоефективності електроприводу.

Основні завдання, які були вирішені при розробці експериментального стенду:

- аналіз експлуатаційних режимів роботи частотно-регульованого електроприводу різних суднових механізмів з типовим навантаженням;
- розробка методики експериментального дослідження;
- розробка функціональної схеми експериментального стенду;
- вивчення документації з експлуатації та монтажу обладнання;
- виконання монтажу експериментального стенду;
- отримання та аналіз показників якості електромережі та енергоефективності регульованого електроприводу;
- підвищення якості електроенергії за рахунок використання пасивної фільтрації [4,5].

Фото частини стенду з модулем керування навантаження частотно-регульованого електропривода зображено на рис.1.

Схема модуля керування навантаженням асинхронного двигуна АД з використанням ПЛК ALPHA2 фірми Mitsubishi Electric зображена на рис. 2.

В експериментальному стенді використано ПЛК модифікації AL2-14-MR-D без адаптерних модулів, який має вісім каналів введення та 6 каналів виводу. Жив-

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

лення ПЛК здійснено від зовнішнього джерела 24 В постійного струму [6]. На дискретні канали введення I04 - I08 шляхом натискання кнопки з додатковою світовою сигналізацією подаються сигнали, які відповідають обраному відсотку навантаження (25, 50, 75, 100 та 125%) та підключенню до якірного кола генератора G1(D1 – D2) навантажувальних резисторів R25 – R125) у ручному режимі (кнопка S6 не натиснута). Канали виводу контролера комутують відповідну ступень активного навантаження за допомогою напівпровідникових реле.

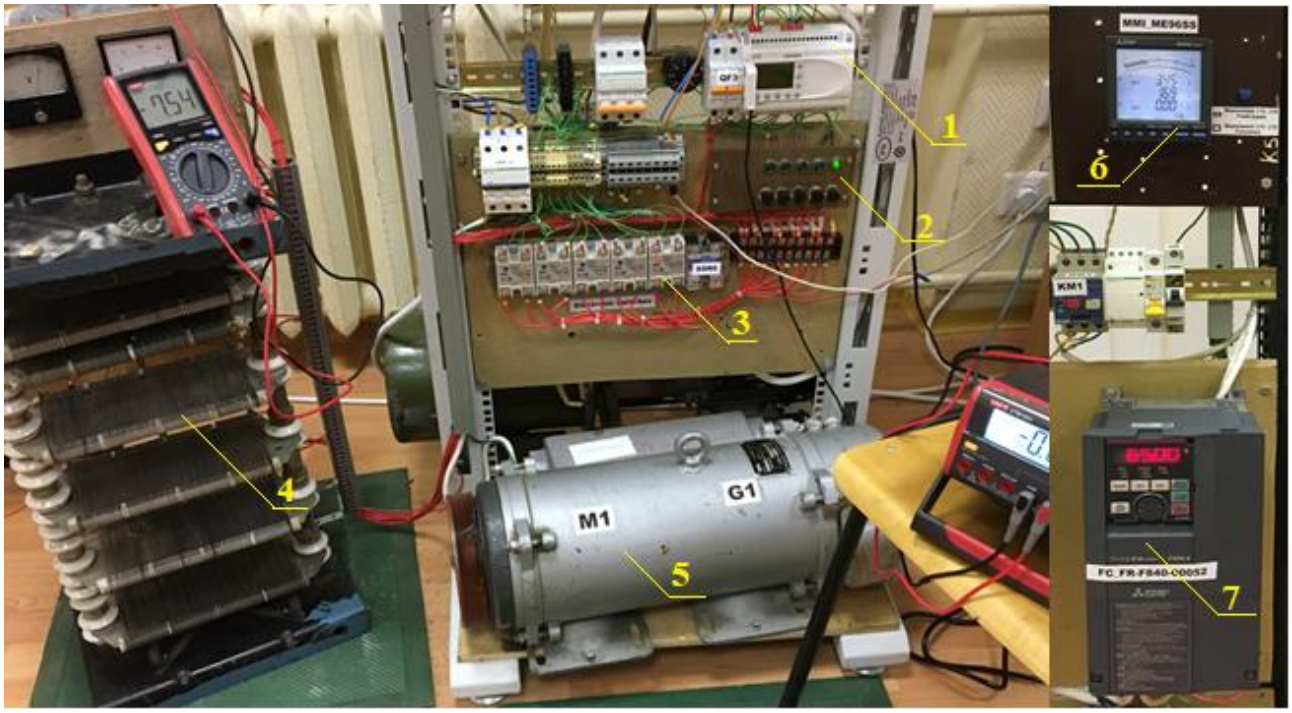


Рисунок 1 – Фото експериментального стенду: 1 – ПЛК Alpha2; 2 – блок ручного включення ступенів навантаження; 3 – напівпровідникові реле (solid state relay); 4 – навантажувальні резистори; 5 – електромашинний підсилювач (асинхронний двигун М1 – генератор постійного струму G1); 6 – багатофункціональний вимірювальний пристрій параметрів електроенергії MMI ME96SS; 7 – перетворювач частоти FR-F840

В автоматичному режимі (кнопка S6 натиснута) згідно обраного типового характеру навантаження частотно-регульованого асинхронного електропривода комутація відповідного резистора навантажувального генератора відбувається у функції частоти обертання АД, аналоговий сигнал від давача обертів подається на канал введення I02.

Розрахунок навантаження проведено згідно з характеристиками електромашинного підсилювача ЭМУ 12А: потужність асинхронного двигуна 1,68 кВт, номінальний струм навантажувального генератора 8,7 А (табл. 1).

Таблиця 1 – Параметри навантаження

Навантаження, %	25	50	75	100	125
I, A	2,18	4,35	6,53	8,7	10,9
R, Ом	53	26,5	17,6	13,2	10,6

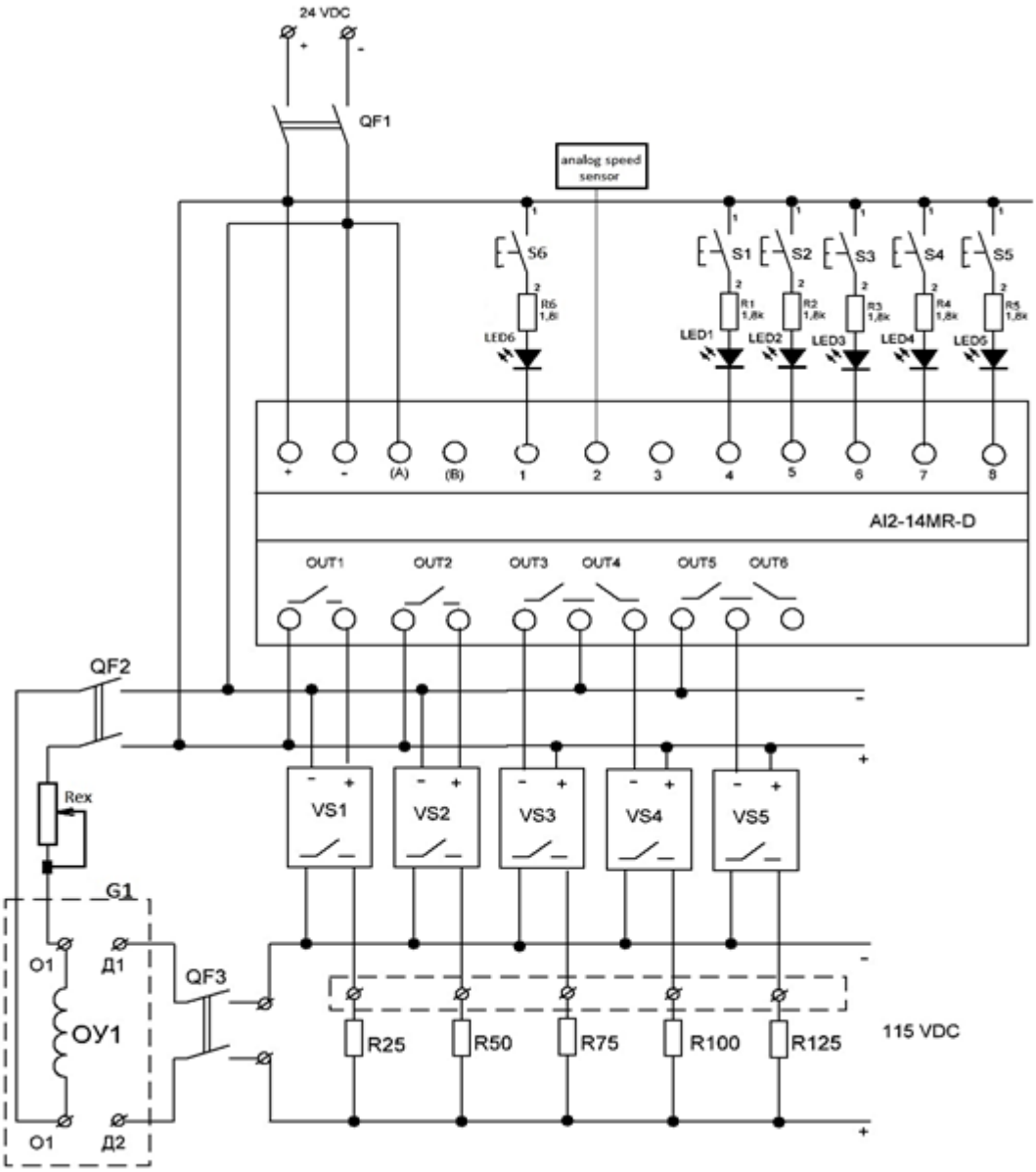


Рисунок 2 – Схема модуля керування навантаженням АД

Програмування [7] ПЛК ALPHA2 здійснено на мові функціональних блок-діаграм (FBD) у програмному середовищі AL-PCS/WIN-E (рис.3). Програма включає логічні блоки, блоки затримання, тригерні блоки та блок DINAMIC UNIT, який використано задля забезпечення автоматичного режиму керування навантаженням. Вибір режиму роботи (ручний та автоматичний) здійснюється при натисканні на кнопку Static/Dynamic (I01). Логіка програми забезпечує пріоритетне опитування датчика обертів у автоматичному режимі. Датчик обертів підключено на другий канал введення (I02). У ручному режимі вибір навантаження (25%, 50%, 75% та 100%) здійснюється при натисканні на відповідні кнопки (I04, I05, I06, I07). Режим перенавантаження (125%) програмований до каналу введення I08. Програма має один резервний канал введення та канал виводу.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

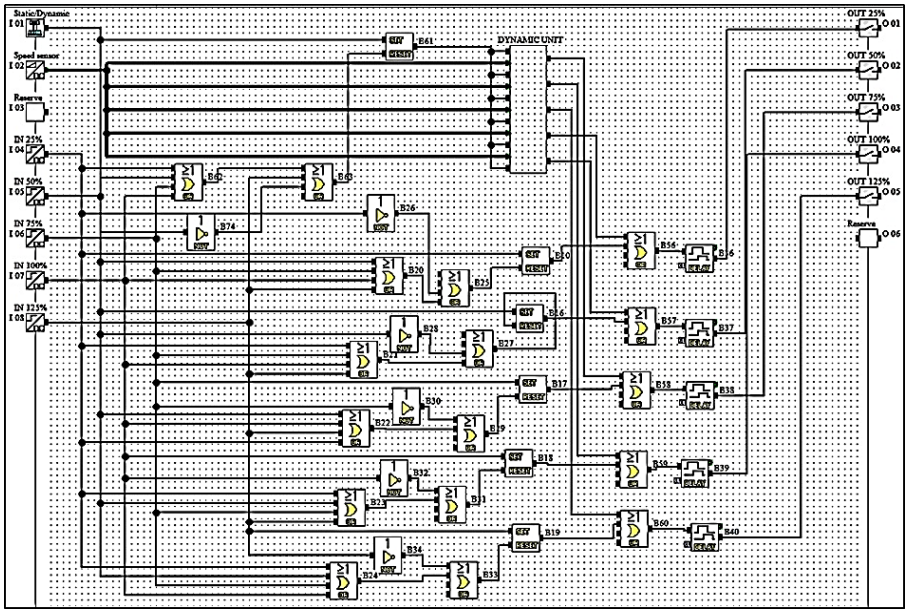


Рисунок 3 – Реалізація програми на ПЛК ALPHA2.

Висновки.

Проведені експериментальні дослідження продемонстрували, що модуль керування навантаженням асинхронного електропривода на базі ПЛК ALPHA2 фірми Mitsubishi Electric з достатньою для експериментальних досліджень точністю імітує типовий характер навантаження суднових механізмів та є досить зручним та надійним у експлуатації. Можливість перепрограмування ПЛК дозволяє швидко провести зміну типу навантаження без фізичного перекомутування самого навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

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

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

3. Н. Муха, А. Дранкова. Полномасштабный тренажерный комплекс судовой автоматизированной электроэнергетической системы для подготовки судовых электромехаников и механиков // Energy. Series: Modern problems of power engineering and ways of solving them, Part I, №3 (91). – Tbilisi, Georgia – 2019. – pp. 42 - 47.

4. 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.

5. С.С. Міхайков, М.Й. Муха, Дранкова А.О. Підвищення якості електроенергії в експлуатаційних режимах суднової системи охолодження // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – №16 (1341). – С.85-89, doi: 10.20998/2079-8024.2019.16.15.

6. Mitsubishi Electric. α2 Простой прикладной контроллер. Руководство по аппаратной части. – Mitsubishi Electric Corporation: Токио 100-8310 фабрика Химеджи 840, Чийода Чо,Химеджи, Япония, 2008. – 131 с.

7. Mitsubishi Electric. α2 Простой прикладной контроллер. Руководство по программному обеспечению (программирование функциональными блоками). – Mitsubishi Electric Corporation: Токио 100-8310 фабрика Химеджи 840, Чийода Чо,Химеджи, Япония, 2007. – 142 с.

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

УДК 539.3

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

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

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

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

THE STRESS STATE SIMULATION IN THE VICINITY OF THE N SEGMENTS BROKEN LINE AS DEFECT UNDER VIBRATION

V.G. Popov, Dr. of Science (Phys.-Math.), Professor
O. V. Lytvyn, PhD of Science (Phys.-Math.), Docent
National University «Odessa Maritime Academy»

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

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

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

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

$$W_l^1(x_l,0)=c, \tag{1}$$

$$\tau_{zy_l}(x_l,+0)-\tau_{zy_l}(x_l,-0)=\chi_l(x_l), \quad -d_l<x_l<d_l,\ k=1;\ldots;N, \tag{2}$$

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

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

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

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

m_l – маса відповідної ланки включення.

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

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

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

В системі (4)

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

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

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

$$Q(\tau,\xi)=\begin{pmatrix}0 & q_{12} & 0 & 0 & ... & 0 & 0 & 0\\ q_{21} & 0 & q_{23} & 0 & ... & 0 & 0 & 0\\ 0 & q_{32} & 0 & q_{34} & ... & 0 & 0 & 0\\ ... & ... & ... & ... & ... & ... & ... & ...\\ 0 & 0 & 0 & 0 & ... & q_{N-1N-2} & 0 & q_{N-1N}\\ 0 & 0 & 0 & 0 & ... & 0 & q_{NN-1} & 0\end{pmatrix},$$

$$q_{ll\mp1}(\tau,\zeta)=\frac{\gamma_{l\mp1}\left(\gamma_l(\zeta\pm1)-\gamma_{l\mp1}(\tau\mp1)\cos\beta_{ll\mp1}\right)}{s_{ll\mp1}(\tau,\zeta)},$$

$$s_{ll\mp1}=\gamma_{l\mp1}^2(\tau\mp1)^2-2\gamma_l\gamma_{l\mp1}(\tau\mp1)(\zeta\pm1)\cos\beta_{ll\mp1}+\gamma_l^2(\zeta\pm1)^2. \tag{5}$$

Формули (5) показують, що функції $q_{ll\mp1}(\tau,\zeta)$ мають особливості при $\tau=\pm1, \zeta=\mp1$.

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

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

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

де ρ_1, h – густина та товщина матеріалу включення.

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

$$\varphi_l(\tau)=(1-\tau)^{-\sigma_{l+1}}(1+\tau)^{-\sigma_l}\psi_l(\tau). \tag{4}$$

$$\sigma_1=\sigma_{N+1}=\frac{1}{2},\ \sigma_l=\begin{cases}\dfrac{\alpha_{l-1}}{\alpha_{l-1}-\pi}, & -\pi\le\alpha_{l-1}<0\\ \dfrac{\alpha_{l-1}}{\alpha_{l-1}+\pi}, & 0\le\alpha_{l-1}<\pi\end{cases},\ \alpha_{l-1}=\beta_l-\beta_{l-1},\ 0\le\beta_l<\pi.$$

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), який обчислюються за наступними формулами

$$K^-=G\sqrt{d_1}\frac{\psi_1(-1)}{2^{\sigma_2}},\ K^+=G\sqrt{d_N}\frac{\psi_N(1)}{2^{\sigma_N}}.$$

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

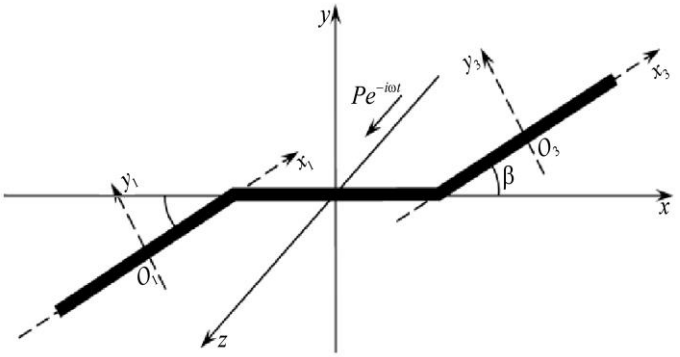


Рисунок 1

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

З'ясовано вплив на значення КІН і амплітуди коливання включення його форми, а саме значення кута між його ланками. На рис. 2 и 3 наведені графіки відповідно $1-\beta=5^{\circ}$, $2-45^{\circ}$, $3-90^{\circ}$, $4-135^{\circ}$, $5-175^{\circ}$, $6-178^{\circ}$.

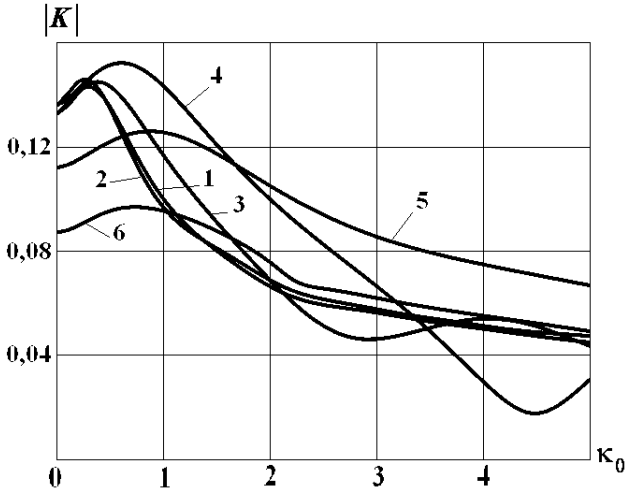


Рисунок 2 – Залежність КІН від безрозмірної частоти

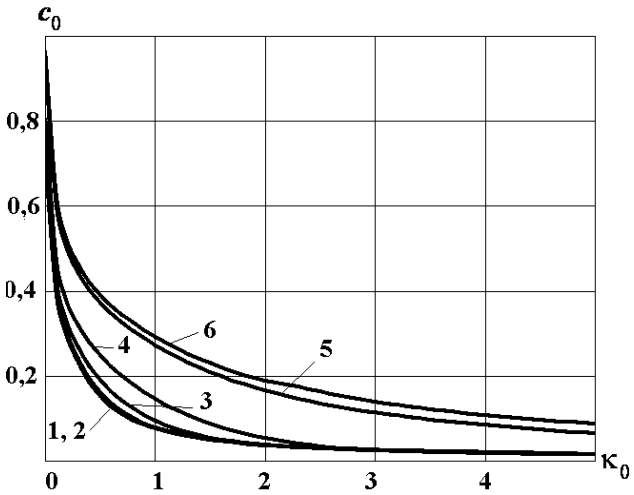


Рисунок 3 – Залежність амплітуди коливання включення від безрозмірної частоти

Як видно значення КІН спадають з ростом κ_0, досягнувши незначного максимуму при досить малих частотах (Рис. 2). Значення частоти, за яких спостерігається максимум КІН, залежить від кута між ланками включення. Що стосується амплітуди коливання включення (Рис. 3), то її значення спадають з ростом хвильового числа при всіх значеннях кута між ланками включення.

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

ЛІТЕРАТУРА

1. Литвин О.В., Попов В.Г. Взаємодія гармонічної хвилі поздовжнього зсуву з v-подібним включенням / Львів. Математичні методи та фізико-механічні поля. 2017. -60, №1. –С. 1-11.

2. Литвин О.В., Попов В.Г. Напружений стан у пружному тілі з триланковим жорстким включенням при гармонічному хвильовому навантаженні // Збірник наук. праць «Проблеми обчислювальної механіки та міцності конструкцій» Дніпро: Ліра, 2018. -Вип. 28. С. 183-202.

3. Попов В.Г. Исследование полей напряжений и перемещений при дифракции упругих волн сдвига на тонком жестком отслоившемся включении / Попов В.Г.– Москва: Изв. РАН, Механика твердого тела, 1992. – №3. – С. 139–146.

4. Сулим Г.Т. Основи математичної теорії термопружної рівноваги днформівних твердих тіл з тонким включенням / Сулим Г.Т – Львів – 2007. – 716 с.

УДК 539.3

МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ БІЛЯ ДОВІЛЬНО ОРІЄНТОВАНИХ ТРІЩИН НА ПРОДОВЖЕННІ ЖОРСТКОГО ВКЛЮЧЕННЯ В УМОВАХ ВІБРАЦІЇ

В. Г. Попов, д-р фіз.-мат. наук, проф.
А. С. Мішарін
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: *Розв'язана задача визначення динамічних КІН для тріщин, розташованих під кутом від кінців включення. Включення розташоване в необмеженому пружному тілі в умовах деформації поздовжнього зсуву, де виникають гармонічні коливання внаслідок дії сили зсуву, прикладеного до включення. Початкова задача зводиться до розв'язання системи сингулярних інтегрально-диференціальних рівнянь із* 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, тріщини.*

STRESS STATE NEAR ARBITRARILY ORIENTED CRACKS ON THE CONTINUATION OF A RIGID INCLUSION IN VIBRATION

V. G. Popov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), prof.,
A. S. Misharin
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The problem of determination the dynamic SIF is solved for the cracks that are located at an angle from the ends of the inclusion is solved. The inclusion is located in an unbounded elastic body, under the conditions of deformation of the longitudinal shear, where harmonic oscillations occur due to the shear force applied to the inclusion. The initial problem is reduced to solve the system of singular integral-differential equations with fixed singularities. For the numerical solution of the system the method is developed. It takes into account the real asymptotic of the unknown functions and uses the special quadrature formulas for singular integrals.

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

У сфері будівельних технологій і машинобудуванні конструкції і деталі машин досить часто містять елементи або технологічні дефекти, які можна розглядати як тонкі включення великої жорсткості. Але як показують дослідження [1], тонкі жорсткі включення викликають значну концентрацію напружень в навколишньому середовищі, яка може привести до утворення тріщин, що розповсюджуються під деякими кутами, щодо площині включення. Дослідження коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН) для тріщини на продовженні включення, які розташовані на одній лінії, в статичної постановці, вивчалися в роботах [2-4]. Аналогічне задача для півплощини з тріщиною на продовженні включення розв'язана в [5]. Задачі по визначенню динамічного напруженого стану біля дефектів, що представляють собою тонкі включення, від кінців якого під деякими кутами відходять тріщини, майже не розв'язувались. Це пов'язано

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

зі труднощами, які виникають при розв'язанні інтегрально-диференціальних рівнянь з нерухомими особливостями. У роботах [6-8] розв'язані задачі визначення динамічного напруженого стану в околі V-подібних тріщин і включень, а також тріщин у вигляді ламаних. Там же запропонований чисельний метод розв'язання інтегральних та інтегро-диференціальних рівнянь з нерухомими особливостями. Цей метод враховує реальну асимптотику розв'язання в околі особливих точок і заснований на використанні для сингулярних інтегралів спеціальних квадратурних формул. У даній роботі подібний метод застосований при розв'язанні наступної задачі.

Розглядається пружне ізотропне середовище, яке знаходиться у стані антиплоскої деформації. У середовищі міститься наскрізне тонке абсолютно жорстке включення, від якого під довільним кутом виходять тріщини. У площині Oxy включення і тріщини розташовані як показано на Рис.1.

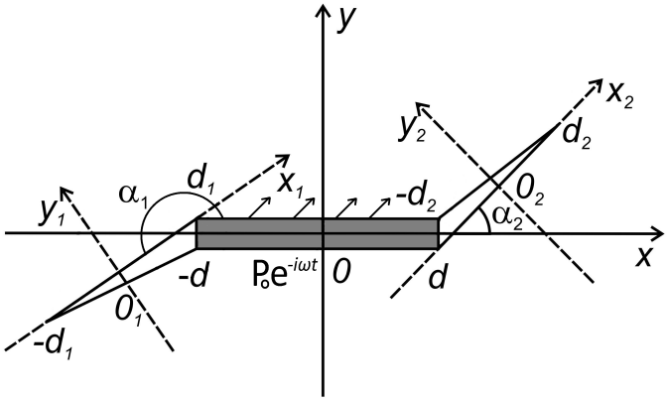


Рисунок 1 – Включення з тріщинами на продовженні .

В середовищі відбуваються коливання повздовжнього зсуву внаслідок дії на включення зсувної сили $P = P_0 e^{-i\omega t}$, спрямованої вздовж осі Oz, де ω - частота коливань. Множник $e^{-i\omega t}$, який визначає залежність від часу, далі скрізь опущений. За таких умов невідомої є z- компонента вектора переміщень $w(x, y)$, задовольняє рівняння Гельмгольца:

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

де Δ- оператор Лапласа в системі координат Oxy. Це рівняння слід розглядати з граничними умовами на дефектах, для формування яких з кожним з дефектів зв'язується локальна система координат $O_l x_l y_l, l = 1,2$, центр якої збігається з серединою відповідної тріщини (рис.1). Граничні умови на тріщинах сформульовані виходячи з того, що їх поверхні вважаються незавантажені, 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 тріщин і включення. Після цього, внаслідок реалізації граничних умов, отримаємо систему сингулярних інтегро-диференціальних рівнянь відносно стрибків напружень і переміщень на дефектах:

$$\begin{cases} \dfrac{1}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\left(\dfrac{S(\tau,\zeta)}{\tau-\zeta}+G(\tau,\zeta)+R(\tau,\zeta)\right)F(\tau)d\tau+ \\ +\dfrac{1}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\left(\kappa_0^2 D\ln|\tau-\zeta|+R_0(\tau,\zeta)\right)\Phi(\tau)d\tau=0, \\ \dfrac{1}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_0(\tau)\left[\gamma\ln|1+\tau|+R_1(\tau)\right]d\tau-\dfrac{1}{\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_2(\tau)R_2(\tau)d\tau=-\dfrac{P_1}{4\varepsilon\kappa_0^2\gamma^2\overline{\rho}}, \end{cases} \quad (2)$$

де $F(\tau)=(\varphi_0(\tau),\varphi_1'(\tau),\varphi_2'(\tau))^T=(f_0(\tau),f_1(\tau),f_2(\tau))^T$; $\Phi(\tau)=(0,\varphi_1(\tau),\varphi_2(\tau))^T$;
$S(\tau,\zeta)$ - діагональна матриця з елементами

$q_0(\tau,\zeta)\equiv -1, q_l(\tau,\zeta)=\dfrac{1+(-1)^l\tau}{1+(-1)^l\zeta}, l=1,2$ на діагоналі;

$G(\tau,\zeta)=\{g_{lj}(\tau,\zeta)\}, l, j=0,1,2$ - матриця, ненульові елементи якої дорівнюють:

$$g_{10}(\tau,\zeta)=\frac{\gamma\sin\beta_1\tau^+}{p_1(\tau^+,\zeta^-)}, g_{20}(\tau,\zeta)=\frac{\gamma\sin\beta_2\tau^-}{p_2(\tau^-,\zeta^+)}, g_{01}(\tau,\zeta)=\frac{-\tau^-}{p_1(\zeta^+,\tau^-,)},$$

$$g_{02}(\tau,\zeta)=\frac{\tau^+}{p_2(\zeta^-,\tau^+,)}; p_j(x,y)=\gamma^2x^2+2\gamma\gamma_j xy\cos\beta_j+\gamma_j^2y^2, j=1,2,$$

$\tau^{\pm}=1\pm\tau, \zeta^{\pm}=1\pm\zeta;$

D - діагональна матриця з елементами $0,\gamma_l^2, l=1,2$ по діагоналі;

$f_l(\tau)=d_l^{-1}\chi_l(\eta), x_l=d_l\zeta, \eta=d_l\tau, \gamma_l=d_lb^{-1}, f_0(\tau)=G^{-1}\chi(\eta), \eta=d\tau,$

$\gamma=db^{-1}, b=\max(d,d_l), P_1=P_0b^{-1}.$

Як видно функції $g_{l0}(\tau,\zeta)$ і $g_{0l}(\tau,\zeta)$ мають особливості при $\tau=1,\ \zeta=-1$ і $\tau=-1,\ \zeta=1$. Це визначає наступний вигляд для невідомих функцій:

$$(f_l(\tau))'=\left(1+(-1)^l\tau\right)^{\delta_l}\left(1-(-1)^l\tau\right)^{-\frac{1}{2}}\psi_l(\tau), l=1,2, \quad (3)$$
$$f_0(\tau)=(1+\tau)^{\delta_1}(1-\tau)^{\delta_2}\psi_0(\tau),$$

де степеневі показники знаходяться за формулами:

$$\delta_l=-\frac{\pi+2\beta_l}{2(\pi+\beta_l)}, 0<\beta_l<\pi, l=1,2, \beta_1=\alpha_1-\pi,\ \beta_2=\alpha_2.$$

При цьому щоб функції з такими особливостями були розв'язком системи (2) повинні виконуватися рівності:

$$\psi_1(1)=(\gamma_1/\gamma)^{\delta_1}\psi_0(-1), \psi_2(-1)=(\gamma_2/\gamma)^{\delta_2}\psi_0(1) \quad (4)$$

а функції $\psi_l(\tau), l=0,1,2$, вважаються такими, що задовольняють умові Гельдера на проміжку [–1,1].

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

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.

Висновки. Отримано формули для розрахунку КІН для тріщин, досліджено вплив на їх значення кутів між включенням і тріщинами від безрозмірного хвильового числа. 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 / Сулим Г. Т. - 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 // Пробл. Прочности.-1989. - № 2. С. 68-71.

5. Акопян В. Н. Напряженное состояние полуплоскости с выходящим на границу абсолютно жестким включением и трещиной / В. Н. Акопян, А. А. Амирджанян // Известия национальной академии наук Армении. Механика. - 2015. - Т. 68 - №1. - С. 25 - 36.

6. Попов.В.Г. Две трещины, выходящие из одной точки под воздействием волны продольного сдвига // Изв. РАН. МТТ. 2018. №2. С. 91-100.

7. Литвин О.В., Попов В.Г. Взаємодія гармонічної хвилі поздовжнього зсуву з v-подібним включенням. Математичні методи та фізико-механічні поля. Т. 60 - №1 - С. 96 - 106.

8. Popov V.G. A crack in the shape of a three-link broken line under the action of a longitudinal shear wave// Journal of Mathematical Sciences, vol. 222, No. 2, April, 2017, pp. 112-120.

УДК 536.24

КІЛЬЦЕВА МІЖФАЗНА ТРІЩИНА В КУСКОВО-ОДНОРІДНОМУ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ІЗОТРОПНОМУ ПРОСТОРІ

О. Ф. Кривий[1], д.ф.-м.н., професор
Ю. О. Морозов[2], канд.ф.-м.н., доцент
[1)]Одеська національна морська академія,
[2)]Одеський національний політехнічний університет

Анотація: *Розв'язано задачу про кільцеву міжфазну тріщину в кусково-однорідному трансверсально-ізотропному просторі під час довільного навантаження берегів тріщини. Отримано вирази для коефіцієнтів інтенсивності напружень на межі тріщини, а також значення вказаних коефіцієнтів для деяких поєднань трансверсально-ізотропних матеріалів*

Ключові слова*: тріщина, кругова, міжфазна, неоднорідний, трансверсально – ізотропний, сингулярні інтегральні рівняння, коефіцієнт інтенсивності.*

ANNULAR INTERFACE CRACKS IN THE PIECEWISE-HOMOGENEOUS TRANSVERSELY ISOTROPIC SPACE

O. Kryvyi, Dr. of Science, Professor
National University «Odessa Maritime Academy»
Yu. Morozov, Ph. D., Associate professor
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *The problem of annular interphase crack in a piecewise homogeneous transversal-isotropic space during an arbitrary loading of the crack sides is solved. Expressions were obtained, for the stress intensity coefficients at the fracture boundary, as well as the values of the indicated coefficients for some transversely isotropic material combinations.*

Key-words: *crack, annular, interphase, inhomogeneous, transversal - isotropic, singular integral equations, intensity factor.*

Розглянуто задачу про міжфазну кільцеву тріщину в кусково-однорідному трансверсально-ізотропному просторі за будь-якого навантаження берегів. Задача за допомогою розривного розв'язку [1-8], зведена до двовимірної системи СІР, розв'язки якої розшукувались у вигляді рядів по многочленам Якобі, в результаті досліджено розкриття тріщини і отримати розподіл напруження в околі тріщини та вирази для КІН.

Нехай в площині з'єднання двох різних трансверсально-ізотропних півпросторів $z = 0$ розташована кільцева тріщина, яка займає область $\Omega: \{a \le r \le b, 0 \le \varphi \le 2\pi\}$. До берегів тріщини прикладене довільне навантаження
$w_k(x,y,\pm 0) = f_k^{\pm}(x,y), k = \overline{1,3};\ (x,y) \in \Omega;\ w = \{w_k(x,y,z)\}_{k=\overline{1,6}} = \{\sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{xz}, u, v, w\}$.

Використавши двовимірні сингулярні інтегральні співвідношення для кусково-однорідного трансверсально-ізотропного простору [1-5], відносно невідомих стрибків переміщень $\chi_k^-(x,y)\ (k = \overline{4,6})$, $(\chi_k^{\pm} = (\chi_k\ (x,y))^{\pm} = w_k(x,y,+0) \pm w_k(x,y,-0), (x,y) \in \Omega;)$ запишемо таку систему двовимірних СІР:

$$q_{13}\sum_{j=4}^{5}\partial_{j-3}\chi_j^-(x,y) - \frac{q_{14}}{2\pi}\iint_{\Omega}\frac{\chi_6^-(t,\tau)}{r_0^3}\,dtd\tau = g_1(x,y)$$

$$q_{24}\partial_2\chi_6^- + \frac{1}{2\pi}\iint_{\Omega}\{q_{23}^-\chi_4^-\partial_{12}^2\frac{1}{r_0} + [q_{23}\frac{1}{r_0^3} + \tilde{q}_{12}\partial_1^2\frac{1}{r_0}]\chi_5^-\}\,dtd\tau = g_2(x,y)$$

$$q_{24}\partial_1\chi_6^- + \frac{1}{2\pi}\iint_{\Omega}\{q_{23}^-\chi_5^-\partial_{12}^2\frac{1}{r_0} + [q_{23}\frac{1}{r_0^3} + \tilde{q}_{23}\partial_2^2\frac{1}{r_0}]\chi_4^-\}\,dtd\tau = g_3(x,y) \qquad (1)$$

де $\chi_k^{\pm}(x,y) = f_k^+ \pm f_k^-, k = \overline{1,3};\ g_k(x,y), k = 1,2,3$ –відомі функції,
$r_0 = \sqrt{(x-t)^2 + (y-\tau)^2}$; $\partial_1 \equiv \frac{\partial}{\partial x},\ \partial_2 \equiv \frac{\partial}{\partial y},\ \partial_3 \equiv \frac{\partial}{\partial z}$; $q_{kn}, q_{kn}^{\pm}, \tilde{q}_{kn}$ –сталі, які виражають через коефіцієнти узагальненого закону Гука [9], наведені в праці [1].
Розв'язки системи (1) повинні задовольняти умови змикання берегів тріщини.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Введемо комплексні комбінації стрибків та сум а також комплексний оператор диференціювання $\tau^{\pm} = \chi_3^{\pm} + i\chi_2^{\pm}, u^{\pm} = \chi_4^{\pm} + i\chi_5^{\pm}, \mathrm{D} = \partial_1 + i\partial_2$,тоді інтегральні рівняння (2) приймуть вигляд

$$\frac{q_{13}}{2}(\mathrm{D}\bar{u}^{-} + \bar{D}u^{-}) - q_{14}\mathrm{D}\bar{D}K[\chi_6^{-}] = g_1(x,y),$$
$$q_{24}\mathrm{D}\chi_6^{-} - \frac{q_{23}^{+}}{2}\mathrm{D}\bar{D}K[u^{-}] - \frac{q_{23}^{-}}{2}\mathrm{D}^2K[\bar{u}^{-}] = g_2(x,y),$$
$$q_{24}\bar{D}\chi_6^{-} - \frac{q_{23}^{+}}{2}\mathrm{D}\bar{D}K[\bar{u}^{-}] - \frac{q_{23}^{-}}{2}\bar{D}^2K[u^{-}] = g_3(x,y) \qquad (2)$$

Нехай до берегів тріщини прикладене стале навантаження:

$$f_1^{\pm}(x,y) = -P_1\ , f_k^{\pm}(x,y) = P_k\ ,\ \ k = 2,3.$$

Тоді рівняння (2) значно спрощуються і набувають вигляду

$$\frac{q_{13}}{2}(\mathrm{D}\bar{u}^{-} + \bar{D}u^{-}) - q_{14}\mathrm{D}\bar{D}K[\chi_6^{-}] = -P_1\ ,$$
$$q_{24}\mathrm{D}\chi_6^{-} - \frac{q_{23}^{+}}{2}\mathrm{D}\bar{D}K[u^{-}] - \frac{q_{23}^{-}}{2}\mathrm{D}^2K[\bar{u}^{-}] = P_3\ + iP_2\ ,$$
$$q_{24}\bar{D}\chi_6^{-} - \frac{q_{23}^{+}}{2}\mathrm{D}\bar{D}K[\bar{u}^{-}] - \frac{q_{23}^{-}}{2}\bar{D}^2K[u^{-}] = P_3\ - iP_2 \qquad (3)$$

Перейдемо в рівняннях (3) до циліндричної системи координат (ρ,φ,z) і введемо нові функції:

$$v_1^{\pm}(r,\varphi) = \chi_1^{\pm}(\rho\cos\varphi, \rho\sin\varphi), v_2^{\pm} = e^{-i\varphi}\tau^{-}(\rho\cos\varphi, \rho\sin\varphi),$$
$$v_3^{\pm}(r,\varphi) = e^{-i\varphi}u^{\pm}\ (\rho\cos\varphi, \rho\sin\varphi), v_4^{\pm}(r,\varphi) = \chi_6^{\pm}(\rho\cos\varphi, \rho\sin\varphi), \qquad (4)$$

Невідомі стрибки переміщень на тріщині $v_k^{-}, k = 3,4$ розшукуємо у вигляді

$$v_k^{\pm}(\rho,\phi) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} V_{k,n}^{\pm}(\rho)e^{in\varphi}\ , V_{k,n}^{\pm}(\rho) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} v_k^{\pm}(\rho,\phi)\ e^{-in\varphi}d\phi, \qquad (5)$$

Застосувавши) скінченне перетворення Фур'є, після очевидних перетворень отримаємо ($\widetilde{\mathrm{V}}_n^{4,-}(\rho) = \rho^n[\rho^{-n}\mathrm{V}_n^{4,-}(\rho)]'$):

$$\frac{q_{13}}{2\rho}\left[(\partial_\rho + (n+1))\mathrm{V}_n^{3,-}(\rho) + (\partial_\rho - (n-1))\overline{\mathrm{V}}_{-n}^{3,-}(\rho)\right] -$$
$$\frac{q_{14}}{\rho^2}(\partial_\rho + n)\rho\mathrm{W}_{n+1,n+1}\left[\widetilde{\mathrm{V}}_n^{4,-}(\rho)\right] = P_1\ \delta_{0,n}, \qquad (6)$$
$$(\partial_\rho - n)\left\{q_{24}\mathrm{V}_n^{4,-}(\rho) + \frac{q_{23}^{+}}{2}\mathrm{W}_{n,n}\left[\widetilde{\mathrm{V}}_n^{3,-}(\rho)\right] + \frac{q_{23}^{-}}{2}\mathrm{W}_{n,n}\left[\widetilde{\overline{\mathrm{V}}}_n^{3,-}(\rho)\right]\right\} = -\rho P^{+}\delta_{0,n}$$
$$(\partial_\rho + n)\left\{q_{24}\mathrm{V}_n^{4,-}(\rho) + \frac{q_{23}^{+}}{2}\mathrm{W}_{n,n}\left[\widetilde{\mathrm{V}}_n^{3,-}(\rho)\right] + \frac{q_{23}^{-}}{2}\mathrm{W}_{n,n}\left[\widetilde{\overline{\mathrm{V}}}_n^{3,-}(\rho)\right]\right\} = -\rho P^{-}\delta_{0,n}$$

де

$$\mathrm{W}_{nk}[f_*] = \int_a^b f_*(\rho_*)\mathrm{W}_{nk}^0(\rho,\rho_*)\rho_* d\rho_*\ , \mathrm{W}_{nk}^0(\rho,\rho_*) = \int_0^{\infty} J_n(t\rho)J_k(t\rho)dt$$

Невласні інтеграли які входять до операторів Вебера-Соніна, обчислено за формулами [10]

$$W_{00}(\rho,\rho_*) = \int_0^\infty J_0(\rho t)J_0(\rho_* t)dt = \frac{2}{\pi\rho_*}\mathbf{K}(\rho/\rho_*)$$

$$W_{11}(\rho,\rho_*) = \int_0^\infty J_1(\rho t)J_1(\rho_* t)dt = \frac{2}{\pi\rho_*}\left(\mathbf{K}(\rho/\rho_*) - \mathbf{E}(\rho/\rho_*)\right)$$

Використавши подання[10]

$$\mathbf{E}(\rho/\rho_*) = \ln\left(\frac{\rho}{\rho_*-\rho}\right)\sum_{j=1}^{4} d_j\left(\frac{\rho_*-\rho}{\rho}\right)^j + \sum_{j=1}^{4} c_j\left(\frac{\rho_*-\rho}{\rho}\right)^j$$

$$\mathbf{K}(\rho/\rho_*) = -b_0\ln\left(\frac{\rho}{\rho_*-\rho}\right) + \ln\left(\frac{\rho}{\rho_*-\rho}\right)\sum_{j=1}^{4} b_j\left(\frac{\rho_*-\rho}{\rho}\right)^j + \sum_{j=1}^{4} a_j\left(\frac{\rho_*-\rho}{\rho}\right)^j$$

систему (6) зведено до системи сингулярних інтегральних рівнянь відносно $\widetilde{\mathrm{V}}_n^{3,-}(\rho), \widetilde{\mathrm{V}}_n^{3,-}(\rho), \widetilde{\mathrm{V}}_n^{4,-}(\rho)$, які розшукувались у вигляді

$$\widetilde{\mathrm{V}}_n^{j,-}(\rho) = \sum_{k=0}^{\infty} A_j(1-\xi)^{\alpha_1}(1+\xi)^{\alpha_2}P_k^{\alpha_1,\alpha_2}(\xi)\,,\ \alpha_i = \frac{1}{2} + (-1)^i\frac{1}{2\pi}\ln\left(\frac{1+\lambda_0}{1-\lambda_0}\right)$$

Відносно невідомих сталих A_j, методом ортогональних многочленів, отримано нескінчених алгебраїчних рівнянь, розв'язки якої будуються методом редукції.

Висновки. Розв'язано задачу про кільцеву міжфазну тріщину в кусково-однорідному трансверсально-ізотропному просторі за довільного навантаження берегів тріщини. Отримано вирази для коефіцієнтів інтенсивності напружень на межі тріщини, а також значення вказаних коефіцієнтів для деяких комбінацій трансверсально-ізотропних матеріалів

ЛІТЕРАТУРА

1. Kryvyy O. The Discontinuous Solution for the Piece-homogeneous Transversal Isotropic Medium / Operator Theory: Advances and Applications. 2009, **191**, 395-406 pp. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-9921-4_25

2. Kryvyy O.F. Singular integral relations and equations for a piecewise homogeneous transversally Isotropic space with interphase defects/ Journal of Mathematical Sciences. - 2011. **176** (4), pp 515-531.

3. Kryvyy O.F. Interface circular inclusion under mixed conditions of interaction with a piecewise homogeneous transversally isotropic space / J Math Sci. 2012. **184**: 101-119. https://doi.org/10.1007/s10958-012-0856-6

3. Kryvyi, O.F. Interface crack in the inhomogeneous transversely isotropic space / Mater Sci. 2012. **47**(6): 726-736. https://doi.org/10.1007/s11003-012-9450-9

4. Kryvyi O.F. Delaminated Interface Inclusion in a Piecewise Homogeneous Transversely Isotropic Space. / Mater Sci. 2014, **50 (2)**: pp. 245-253. https://doi.org/10.1007/s11003-014-9714-7

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

5. Kryvyi O.F. The solution method of nonaxisymmetric problems of stress concentration for an inhomogeneous transversal isotropic space with interfacial cracks and inclusions / ICF 2017 - 14th International Conference on Fracture. 2017

6. Kryvyi O., Morozov Y. (2019) Interphase Circular Inclusion in a Piecewise-Homogeneous Transversely Isotropic Space Under the Action of a Heat Flux. In: Gdoutos E. (eds) Proceedings of the First International Conference on Theoretical, Applied and Experimental Mechanics. ICTAEM 2018. Structural Integrity, vol 5. Springer, Cham, pp 394-396, DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-91989-8_94

7. Kryvyi O., Morozov Y. Heat-Active Circular Interphase Inclusion in the Conditions of Smooth Contact with Half-Spaces. / In: Gdoutos E. (eds) Proceedings of the Second International Conference on Theoretical, Applied and Experimental Mechanics. ICTAEM 2019. Structural Integrity, 2019. vol 8. Springer, Cham, pp 187-192. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-21894-2_36

8. Kryvyi O. F., Morozov Yu. O. Solution of the Problem of Heat Conduction for the Transversely Isotropic Piecewise-Homogeneous Space with Two Circular Inclusions/ J Math Sci. 2019. **243** (1). pp 1-21. https://doi.org/10.1007/s10958-019-04533-1

9. Лехницкий С. Г. Теория упругости анизотропного тела. - М.: Наука, 1977. - 415 с.

10. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами./ Абрамовиц М., Стиган И. – М.: Наука, 1979. – 830 с.: ил.

УДК 621.436

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МАСТИЛЬНОГО ШАРУ В ПАРАХ КОВЗАННЯ В СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ

М. О. Кривий, курсант
С. В. Сагін, к.т.н., доцент
Національний Університет «Одеська Морська Академія»

Анотація: *Задача для визначення тиску в масляному шарі циліндричної пари ковзання в суднових енергетичних установках сформулювала у вигляді граничної задачі для диференційного рівняння Рейнольдса. Отримано точний розв'язок вказаної задачі для ньютонівських і неньютонівських мастил, що дозволило визначити загальний питомий тиску, силу в'язкого зсуву а також коефіцієнт тертя в мастильному шарі пари ковзання.*

Ключові слова*: мастильний шар, диференціальне рівняння Рейнольдса, неньютонівські мастила, сили тиску і в'язкого зсуву.*

MATHEMATICAL MODEL OF LUBRICANTS LAYER IN SLIDING COUPLES IN SHIPPING POWER PLANTS

M. O. Kryvyi, cadet
C. V. Sagin, Dr. of Science, Professor
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: The problem for determining the pressure in the oil layer of a cylindrical pair of sliding in a ship's power plants was formulated as a boundary value problem for the Reynolds differential equation. The exact solution of the specified problem for the Newtonian and non-Newtonian oils was obtained, which allowed us to determine the total specific pressure, the force of viscous shear, and the coefficient of friction in the lubricating layer of the sliding steam.

Keywords: lubricating layer, Reynolds differential equation, non-Newtonian oils, pressure forces and viscous shear.

Важливими вузлами при дослідженні надійності і довговічності роботи судових енергетичних установок (СЕУ) є пари ковзання, в яких відбуваються процеси зношування і значні тепловиділення. Запорукою зменшення цих негативних впливів на загальну роботу СЕУ є наявність в зоні тертя мастильного шару і якість машинної оливи [1-8]. В роботі досліджено влив на наявність мастильного шару властивостей машинної оливи, зокрема її в'язкості.

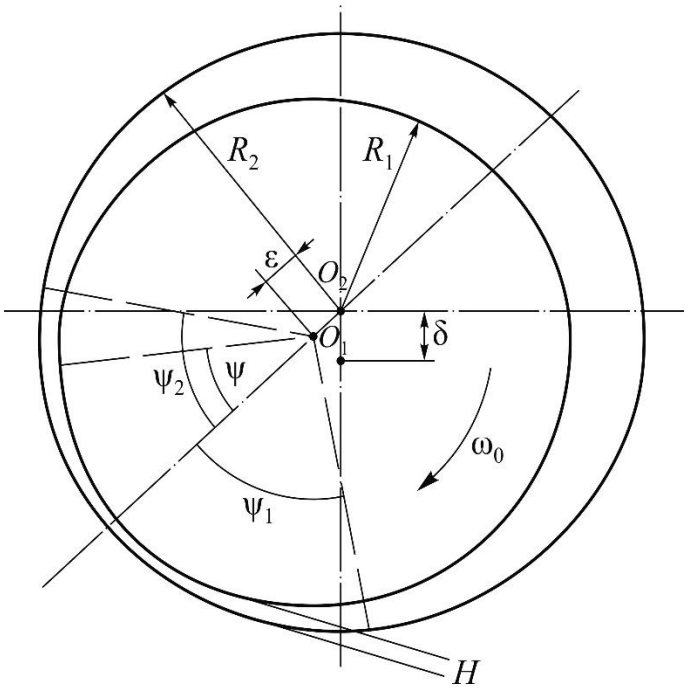


Рисунок 1 – Модель руху мастильного шару в парі ковзання

На рисунку 1 подана модель руху мастильного шару в парі ковзання. Будемо вважати, що гідродинамічні процеси в парі ковзання не залежать від повздовжньої координати, тобто швидкість руху мастила вздовж осі обертання суттєво менше швидкості кругового обертання і ним можна знехтувати. Крім того, будемо вважати усталеним режим обертання внутрішнього тіла пари ковзання, тобто $\omega(t)=\omega_0$, а густину мастила ρ сталою. При таких припущення тиск в мастильному шарі $p(\psi)$ і його товщина $H(\psi)$ зв'язані рівнянням Рейнольдса[1,2]:

$$\frac{d}{d\psi}\left(\frac{\rho H^3}{\mu}\frac{dp}{d\psi}\right)=6\omega_0 R_1 R_2\frac{d\left(pH\right)}{d\psi},\ \psi_1<\psi<\psi_2. \qquad (1)$$

R_1, R_2 – відповідно радіуси тіла обертання і зовнішнього нерухомого циліндричного тіла, ψ_1, ψ_2 – визначають початок і кінець робочої контактної зони, в яких виконуються умови

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

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Якщо допустити відсутність деформації в елементах пари ковзання, то для товщини прошарку мастил не важко отримати подання

$$H(\psi) = \delta + \varepsilon \cos\psi, \tag{3}$$

де δ, ε – відповідно радіальний зазор і ексцентриситет центрів тіл пар ковзання.

Будемо вважати що мастило є неньютонівською рідиною: динамічна в'язкість μ залежить від тиску $p(\psi)$, тобто має місце співвідношення Баруса

$$\mu = \mu_0 e^{\xi p(\psi)}, \tag{4}$$

де ξ – п'єзо коефіцієнт в'язкості мастил, Па$^{-1}$ (для нафтових моторних мастил ξ~(2…3)·10^{-3} Па).

Після інтегрування диференціальне рівняння (1) прийме вигляд

$$H^3 e^{-\xi p(\psi)} \frac{dp}{d\psi} = 6\mu_0\omega_0 R_1 R_2 H + C, \quad \psi_1 < \psi < \psi_2. \tag{5}$$

Для визначення довільної сталої C скористаємося умовою

$$\frac{dp(\psi_0)}{d\psi} = 0,$$

де ψ_0 значення кута при якому товщина прошарку досягає мінімуму а тиск максимуму: $H_{\min} = H(\psi_0)$, $p_{\max} = p(\psi_0)$. Якщо допустити, зокрема, що максимальне значення тиск досягає в середині робочої області пари ковзання, то можна вважати $\psi_0 = \frac{\psi_1 + \psi_2}{2}$. Отже, після підстановки ψ_0 в рівняння (5), отримаємо $C = -\mu_0 6\omega_0 R_1 R_2 H_{\min}$. Остання формула дозволяє рівняння (5) подати так

$$e^{-\xi p} \frac{dp}{d\psi} = 6\frac{\mu_0\omega_0 R_1 R_2 \varepsilon(\cos\psi - \cos\psi_0)}{(\delta + \varepsilon\cos\psi)^3}, \quad \psi_1 < \psi < \psi_2. \tag{6}$$

Диференціальне рівняння (6) допускає розділення змінних і отже для нього може бути отриманий розв'язок в квадратурах, який задовольняє граничним умовам (2):

$$p(\psi) = -\frac{1}{\xi}\ln\left(6\xi\mu_0\omega_0 R_1 R_2 \varepsilon \int_{\psi_1}^{\psi} \frac{(\cos\alpha - \cos\psi_0)}{(\delta + \varepsilon\cos\alpha)^3} d\alpha\right), \quad \psi_1 < \psi < \psi_2. \tag{7}$$

Для ньютонівських мастил розв'язок диференціального рівняння (6) буде мати вигляд

$$p(\psi)=6\mu_0\omega_0\frac{\varepsilon_0 r_0}{\delta_0^2}\int\limits_{\psi_1}^{\psi}\frac{(\cos\alpha-\cos\psi_0)}{(1+\varepsilon_0\cos\alpha)^3}d\alpha,\quad \psi_1<\psi<\psi_2.$$

Отриманий розв'язок дозволяє визначити загальний питомий тиск P, силу в'язкого зсуву T і коефіцієнт тертя K_{tk} в мастильному шарі пари ковзання для неньютонівських мастил:

$$P=\frac{R_1}{\xi}\Phi_{P,\Theta},\quad T=\frac{\mu_0\omega_0 r_0}{\delta_0}\Phi_T,\quad K_{tk}=\frac{T}{P},\qquad (8)$$

де

$$\delta_0=\frac{\delta}{R_1},\ r_0=\frac{R_2}{R_1},\quad \varepsilon_0=\frac{\varepsilon}{\delta},\ \Theta=3\xi\mu_0\omega_0\frac{\varepsilon_0 r_0}{\delta_0^2},$$

$$\Phi_{P,\Theta}=\int\limits_{\psi_1}^{\psi_2}\cos(\psi+\psi_0)\ln\left(2\Theta\int\limits_{\psi_1}^{\psi}\frac{(\cos\alpha-\cos\psi_0)}{(1+\varepsilon_0\cos\alpha)^3}d\alpha\right)d\psi,$$

$$\Phi_T=\frac{3}{2}\int\limits_{\psi_1}^{\psi_2}\frac{\varepsilon_0(\cos\psi-\cos\psi_0)e^{\xi p}}{(1+\varepsilon_0\cos\psi)^2}d\psi+\frac{1}{2}\int\limits_{\psi_1}^{\psi_2}\frac{e^{\xi p}d\psi}{1+\varepsilon_0\cos\psi}.$$

Висновки. Отже, отримано розв'язок краєвої задачі для диференціального рівняння Рейнольдса, в результаті знайдено вираз для розподілу тиску в мастильному шарі пари ковзання для неньютонівських мастил і силові характеристики (7), що дозволяє застосувати, зокрема, критерій Зомерфельда [1,2] для визначення умов відсутності зон сухого тертя в області контакту пар ковзання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чернавсский С.А. Подшипники скольжения/ С.А. Чернавсский С.А.//М. :МАШГИЗ, 1963.-243 с.: ил.

2. Справочник по триботехнике / Под общ. ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе. В 3 т. Т.1. Теоретические основы. М. : Машиностроение, 1989. – 400 с. : ил.

3. Sagin S. V., Semenov O. V. Motor Oil Viscosity Stratification in Friction Units of Marine Diesel Motors / American Journal of Applied Sciences, 2016. – Vol.13. – Iss. 2. – P. 200-208. DOI: 10.3844/ajassp.2016.200.208

4. Sagin S. V. Marine Slow-Speed Diesel Engine Diagnosis with View to Cylinder Oil Specificarion / S. V. Sagin, O. V. Semenov // American Journal of Applied Sciences, Published by Science Publication, 2016. – Vol.13. – Iss. 5. – P. 618-627. DOI: 10.3844/ajassp.2016.618.627

5. Sagin S. V. The Use of Exhaust Gas Recirculation for Ensuring the Environmental Performance of Marine Diesel Engines / S. V. Sagin**; O. A.** Kuropyatnyk // OUR SEA : International Journal of Maritime Science & Technology. – June 2018. – Vol. 65. – Iss. 2. – P. 78-86. doi.org/10.17818/ NM/2018/2.3.

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

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

7. Кривий М.О. Особливості реології моторних мастил при забезпеченні режимів змащення пар тертя суднових мало-обертових дизелів./М.О. Кривий //Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт: матеріали науково-технічної конференції. – Одеса : НУ «ОМА», 2017. – С. 31-34.

8. Кривой М.А. Исследование явления сртратификации взязкости моторного масла в узлах трения судовых дизелей / М. А. Кривой // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018): матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції – Херсон : ХДМА, 2018.- С. 321-324.

UDC 539.3

MODELING AND INVESTIGATION OF THE STRESS STATE IN CYLINDRICAL COMPONENTS PARTLY DELAMINATION FROM A RIGID BASE UNDER SUDDEN TORSIONAL LOADING

Oleksandr Demydov
Vsevolod Popov, Doctor of Science, Professor
National University «Odessa Maritime Academy»
alexandr.v.demidov@gmail.com, dr.vg.popov@gmail.com

Abstract. *The axisymmetric dynamic problems of determining the stress state in the vicinity of the delamination in a finite cylinder partly coupled with the rigid base were solved. In contrast to the traditional solution methods based on the use of the integral Laplace transform, the proposed method consists in the difference approximation only of the time derivative. As a result, the original problem is replaced by a sequence of homogeneous boundary value problems for the Helmholtz equation that reduce to the Fredholm integral equation of the second kind. The numerical solution found made it possible to obtain an approximate formula for calculating the stress intensity factor.*

Keyword*. Stress intensity factor, finite cylinder, circular delamination, ring-shaped delamination.*

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

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

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

The top end of the cylinder is joined with a rigid plate with thickness d and radius r_0. The plate suffers the action of a torsional moment $M(t)$. The bottom end of the cylinder $z=0$ is coupled with a rigid base. In the coupling area there is partial delamination in the form of a circle (Fig. 1a) or a ring (Fig. 1b). Both the cylinder side surface and delamination area are considered to be free of stresses.

Fig. 1. Cylinder with delamination: a) - circular; b) - ring-shaped.

The cylinder is in a state of axisymmetric torsional deformation and only the angular displacement $w(\eta,\zeta,\tau)$ will be different from 0 and satisfy the equation:

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

Equation (1) is considered as having zero initial conditions and boundary conditions at the lateral surface and top end of the cylinder:

$$\tau_{\varphi\eta}(1,\zeta,\tau)=0,\ w(\eta,1,\tau)=\eta\alpha(\tau), \tag{2}$$

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

The boundary conditions at the bottom end of the cylinder are formulated depending on the form of delamination. With circular delamination (Fig. 1a), the following conditions are fulfilled:

$$\tau_{\varphi\zeta}(\eta,0,\tau)=0,\ 0\le\eta\le\beta,\ w(\eta,0,\tau)=0,\ \beta\le\eta\le1,\ \tau\in[0,+\infty). \tag{3}$$

If there is external ring-shaped delamination (Fig. 1b), the boundary conditions have the form:

$$w(\eta,0,\tau)=0,\ 0\le\eta\le\beta,\ \tau_{\varphi\zeta}(\eta,0,\tau)=0,\ \beta\le\eta\le1,\ \tau\in[0,+\infty). \tag{4}$$

To avoid difficulties arising in problems with mixed boundary conditions, instead of conditions (3), (4) we consider the following boundary conditions:
for circular delamination:

$$w(\eta,0,\tau)=\begin{cases}\chi_1(\eta,\tau), 0\le\eta\le\beta,\\ 0, \qquad \beta<\eta\le1,\end{cases}\ \tau\in[0,+\infty) \tag{5}$$

and for ring-shaped delamination

$$\tau_{\varphi\zeta}(\eta,0,\tau)=\begin{cases}\chi_2(\eta,\tau), 0\le\eta\le\beta,\\ 0, \qquad \beta<\eta\le1,\end{cases},\ \tau\in[0,+\infty), \tag{6}$$

where $\chi_1(\eta,\tau)$ and $\chi_2(\eta,\tau)$ - unknown functions, ensuring the fulfillment of the first equalities from (3), (4).

To solve formulated initial-boundary problems (1), (2), (5) and (1), (2), (6), we apply a method based on the difference approximation of time derivatives, detailed in [1]. Using this method, the problems were reduced to a set of homogeneous boundary value problems for the Helmholtz equation:

$$D_{\eta\zeta}U_\nu-\varkappa_\nu^2U_\nu=0,\ \nu=1,2,3,\ldots,\ \varkappa_\nu=h_\nu^{-1}. \tag{7}$$

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

The boundary conditions on the lateral surfaces and top end of the cylinder with respect to these functions can be written as follows:

$$\tau_{\varphi\eta\nu}(1,\zeta)=0,\ 0<\zeta<1,\ U_\nu(\eta,1)=\eta A_\nu,\ 0<\eta<1. \qquad (8)$$

And the boundary conditions on the bottom end of the cylinder with circular delamination will take the form:

$$U_\nu(\eta,0)=\begin{cases}\chi_{1\nu}(\eta), 0\le\eta\le\beta,\\ 0, \quad \beta<\eta\le 1,\end{cases},\ \chi_1(\eta,\tau_k)=\sum_{\nu=1}^{k}C_{k\nu}\chi_{1\nu}(\eta). \qquad (9)$$

In the case of ring-shaped delamination:

$$\tau_{\varphi\zeta\nu}(\eta,0)=\begin{cases}\chi_{2\nu}(\eta), 0\le\eta\le\beta,\\ 0, \quad \beta<\eta\le 1,\end{cases},\ \chi_2(\eta,\tau_k)=\sum_{\nu=1}^{k}C_{k\nu}\chi_{2\nu}(\eta). \qquad (10)$$

3. Solution to the problem for the cylinder. We represent solutions to the boundary-value problems (7) - (9) and (7), (8), (10) as the sum:

$$U_\nu(\eta,\zeta)=U_\nu^0(\eta,\zeta)+U_\nu^*(\eta,\zeta). \qquad (11)$$

The first term is given by the formula:

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

The second term is the solution that satisfies the zero conditions on the top end and lateral surface of the cylinder. The condition on the bottom end depends on the form of delamination. For the case of circular delamination, it has the form (9), and on the delamination, equality should be satisfied:

$$\tau^*_{\varphi\zeta\nu}(\eta,0)=-\tau^0_{\varphi\zeta\nu}(\eta,0),\ 0<\eta<\beta.$$

For the case of ring-shaped delamination, it has the form (10), and on the delamination, equality should be satisfied:

$$\tau^*_{\varphi\zeta\nu}(\eta,0)=\chi_{2\nu}(\eta)-\tau^0_{\varphi\zeta\nu}(\eta,0),\ \beta<\eta<1.$$

The solutions to these boundary value problems are constructed by the integral transform method, analogous to papers [2–5].

The solutions contains the unknown functions $\chi_{1\nu}(\xi)$ and $\chi_{2\nu}(\xi)$. To determine them, we use the conditions on the delamination and obtain integral equations. To solve these equations, we reduce them to the Fredholm equations of the second kind:

$$g_\nu(s)-\frac{2\beta}{\pi\gamma}\int_{-1}^{1}g_\nu(y)\big[B(y,s)+Q(y)-Q(y-s)\big]dy-g_\nu(0)=-\frac{2\beta\varkappa_\nu A_\nu}{\mathrm{sh}(\gamma\varkappa_\nu)}s^2, \qquad (12)$$

$$g_\nu(s)+\frac{1}{2\pi}\int_{-1}^{1}g_\nu(y)\big\{A(y-s)+Q(y-s)\big\}dy=\frac{A_\nu s}{\mathrm{ch}(\gamma\varkappa_\nu)}, \qquad (13)$$

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

An approximate solution to equation (12), (13), is sought in the form of an interpolation polynomial. We approximate its integrals according to the quadrature Gauss-Legendre formula and obtain a system of linear algebraic equations with respect to the values of the unknown function in the interpolation nodes. After solving the system, the unknown function is approximated by the interpolation polynomial.

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

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

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

$$K(\tau_k) = \frac{\tilde{K}(t_k)}{G\sqrt{b}}, \quad K(\tau_k) = \sum_{\nu=1}^{k} C_{k\nu} K_\nu, \quad K_\nu = -\frac{1}{\sqrt{2\pi\gamma}} g_\nu(1), \quad K_\nu = \frac{\sqrt{2}}{\pi} g_\nu(1). \qquad (14)$$

By formulas (14), there was performed a numerical study of the dependence of SIF on the dimensionless time $\tau = c_2 t / r_0$. The time grid nodes were condensed near the point $\tau = 0$. During these calculations, it was considered that dimensionless thickness of the plate is $\delta = d/a = 0.1$, the dimensionless radius of the circular delamination and the dimensionless internal radius of the ring-shaped delamination are $\beta = b/r_0 = 0.5$.

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

From the graphs in Fig. 2, it can be seen that in all considered types of loading, during the transient process, the maximum SIF values are observed. When a sudden constant load is applied, this maximum is 2–2.5 times higher than the static value of SIF. Hence, it is most likely that the destruction of the cylinder will occur during the transient period. Also the analysis of the graphs in Fig. 2, it can be concluded that an increase in the mass of the plate leads to an increase in the time until the SIF reaches its maximum value. However, it practically does not affect the maximum value itself.

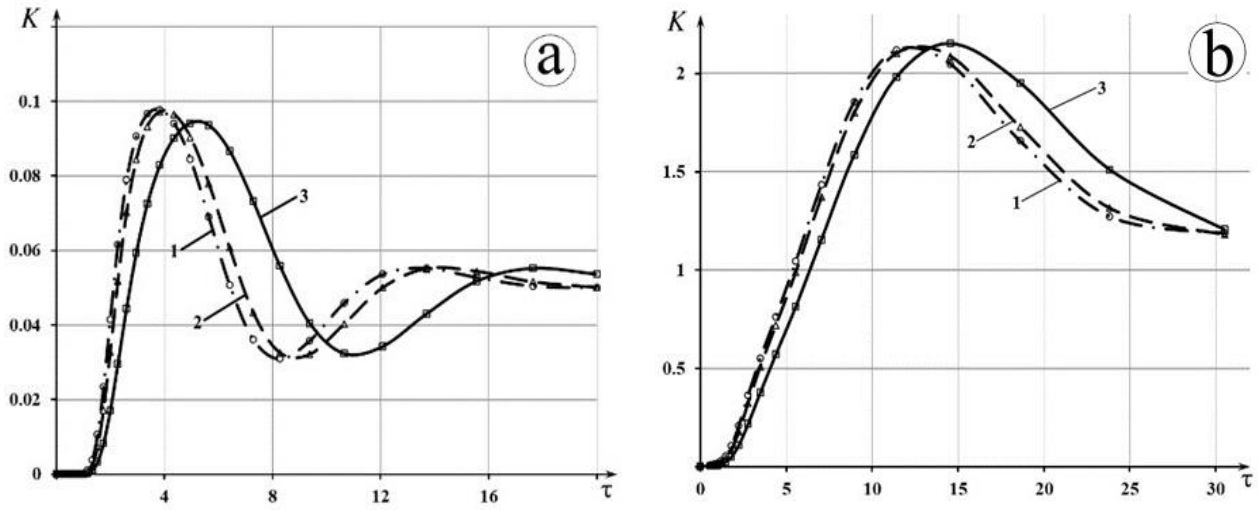


Fig. 2. Time dependence of dimensionless SIF for $M_0(\tau) = H(\tau)$

a) cylinder with circular delamination; b) cylinder with ring-shaped delamination.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

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

REFERENCES

1. Savruk M. P. New method for the solution of dynamic problems of the theory of elasticity and fracture mechanics // Materials Science. — 2003. — Vol. 39, No. 4. — P. 465–471.

2. Попов В. Г. Напряженное состояние конечного упругого цилиндра с круговой трещиной при крутильных колебаниях // Прикладная Механика. — 2012. — Vol. 48, No. 4. — С. 86–93.

3. Демидов О. В. Нестационарний закрут скінченного циліндру з круговою тріщиною / О. В. Демидов, В. Г. Попов // Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки. — 2017. — No. 1. — С. 131–142.

4. Popov V. H. Torsional oscillations of a finite elastic cylinder containing an outer circular crack // Materials Science. — 2012. — Vol. 47, No. 6. — P. 746–756.

5. Demydov O. Stress state in a finite cylinder with outer ring-shaped crack at non-stationary torsion / O. Demydov, V. Popov // Proceedings of the Second International Conference on Theoretical, Applied and Experimental Mechanics. ICTAEM 2019. Structural Integrity / E. Gdoutos. — Springer, Cham, 2019. — P. 215–221.

УДК 539.3

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ У ПОРОЖНИННИХ ЦИЛІНДРАХ ДОВІЛЬНОГО ПЕРЕРІЗУ ЗА ГАРМОНІЧНИХ КОЛИВАНЬ ПОВЗДОВЖНЬОГО ЗСУВУ

О. І. Кирилова, к.ф.-м.н
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Розв'язано задачу по визначенню напруженого стану поблизу тріщин в нескінченному порожнинному циліндрі довільного перерізу за гармонічних коливань. Отримано наближені формули для розрахунку коефіцієнтів інтенсивності напружень для дослідження впливу на їх значення частоти коливань, геометричних розмірів циліндра, а також розташування тріщини.*

Ключові слова: *порожнинний циліндр, антиплоска деформація, тріщини, КІН.*

MODELING OF THE STRESSED STATE OF A HOLLOW CYLINDERS WITH A SYSTEM OF CRACKS UNDER LONGITUDINAL SHEAR HARMONIC OSCILLATIONS

O. Kyrylova, PhD
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *In this paper we solve the problem of determining the stress state near the through-cracks in an infinite hollow cylinder of arbitrary cross-section under oscillations of longitudinal shear. We propose an approach to satisfy the conditions separately on the surface of cracks and on the borders of the cylinder.*

By using the proposed method the approximate formulas for calculating stress intensity factors are obtained to investigate the influence of frequency oscillations, geometry of the cylinder and location of the cracks on their values.

Key-words: *hollow cylinder of arbitrary cross section, harmonic oscillations, stress intensity factors, the system of cracks.*

Дослідження напруженого стану обмежених тіл з тріщинами є актуальним як для встановлення умов руйнування тіл через оцінку коефіцієнтів інтенсивності динамічних напружень в околі тріщин, так і діагностики таких дефектів, виходячи з інформації про їх вплив на резонансні частоти. Отримані результати у цьому напрямку переважно відносились до необмежених та півобмежених тіл з дефектами [1-3]. Ситуацій, де тіла займають обмежену область, розглянуто значно менше. Це пов'язано з тим, що із застосуванням методу граничних інтегральних рівнянь вихідні задачі зводяться до зв'язаних систем інтегральних рівнянь, заданих і на поверхні дефектів, і на межі тіла [4-6], що суттєво ускладнює числову реалізацію, особливо у випадку непоодиноких дефектів та багатозв'язних областей. В поданій роботі пропонується метод, що дозволяє незалежно послідовно задовольняти граничні умови на дефектах і на поверхні тіла.

Розглядається порожнинний пружний циліндр з твірними, паралельними осі *Oz*, переріз якого площиною *xOy* являє собою двозв'язну плоску область, що обмежена довільними замкненими гладкими кривими. Ці криві в полярній системі координат, центр якої співпадає з початком координат *xOy*, визначаються рівняннями: $r = r_0\psi_0(\varphi)$–зовнішня, $r = r_1\psi_1(\varphi)$–внутрішня границі, $0 \le \varphi < 2\pi$. У циліндрі міститься N наскрізних тріщин з центрами в точках (c_k, d_k), що у площині *xOy* не виходять за межі перерізу і займають відрізки довжиною $2a_k, k = \overline{1,N}$ (рис.1).

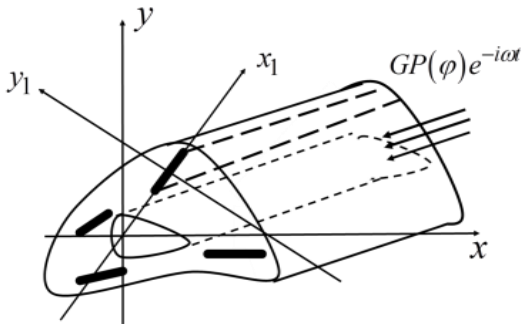


Рисунок 1 – Нескінченний порожнинний циліндр з тріщинами

У циліндрі відбуваються коливання повздовжнього зсуву внаслідок дії на бічну поверхню самоврівноважуючого гармонічного навантаження $GP(\varphi)e^{-i\omega t}$, де G – модуль зсуву, $P(\varphi)$ – обезрозмірена задана амплітуда навантажень, ω–частота коливань. Множник $e^{-i\omega t}$ всюди далі опущений. При таких умовах відмінною від нуля є тільки z-компонента вектора переміщення, яка задовольняє рівнянню Гельмгольца [8]. Це рівняння у полярній системі має вигляд:

$$\Delta w + \kappa_2^2 w = 0; \qquad \Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}, \tag{1}$$

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

де $\kappa_2 = \frac{\omega}{C_2}$; $C_2 = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$; ρ – густина матеріалу циліндра.

Вважається, що зовнішня поверхня циліндра є завантаженою:

$$\tau_{\bar{n}z}\left(r_0\psi_0(\varphi),\varphi\right) = GP(\varphi),\ 0 \le \varphi < 2\pi, \tag{2}$$

а внутрішня нерухомою:

$$w\left(r_1\psi_1(\varphi),\varphi\right) = 0,\ 0 \le \varphi < 2\pi. \tag{3}$$

Для формулювання граничних умов на тріщинах з центром кожної пов'язується локальна система координат $x_k O_k y_k$, $k = \overline{1,N}$ (рис.1). Нехай $w_k(x_k, y_k)$ – z-компонента вектора переміщень при переході від полярних координат до декартових. Тріщини вважаються вільними від навантажень:

$$\tau_{zy_k}(x_k, 0) = G\frac{\partial w_k}{\partial y_k}(x_k, 0) = 0,\quad |x_k| < a_k,\quad k = \overline{1,N}, \tag{4}$$

а на поверхнях тріщин розривні переміщення зі стрибками

$$\langle w_k \rangle = w_k(x_k, +0) - w_k(x_k, -0) = \chi_k(x_k),\quad |x_k| < a_k,\ k = \overline{1,N}. \tag{5}$$

З умов змикання тріщин випливає, що $\chi_k(\pm a_k) = 0$. За таких умов ставиться задача визначення напруженого стану в околі тріщин.

Для розв'язання задачі для кожної тріщини в локальній системі координат будується розривний розв'язок зі стрибками (5):

$$w_l^{(d)}(x_l, y_l) = \frac{\partial}{\partial y_l}\int_{-a_l}^{a_l} \chi_l(\eta) r_2(\eta - x_l, y_l)\, d\eta, \tag{6}$$

де $r_2(\eta - x_l, y_l) = -\frac{i}{4}H_0^{(1)}\left(\kappa_2\sqrt{(\eta - x_l)^2 + y_l^2}\right)$, $H_0^{(1)}$ – функція Ганкеля.

Після цього переміщення подається у вигляді суперпозиції

$$w^{(g)}(r,\varphi) = w_0^{(g)}(r,\varphi) + \sum_{l=1}^{N} w_l^{(g)}(r,\varphi). \tag{7}$$

В (7) $w_l^{(g)}(r,\varphi)$–розривні розв'язки (6) після переходу до полярних координат, а $w_0^{(g)}(r,\varphi)$–деяка невідома функція, яка є розв'язком рівняння Гельмгольца (1) і за рахунок якої будуть задовольнятися умови (2) та (3) на поверхні циліндра. Далі ця функція подається у вигляді лінійної комбінації частинних розв'язків рівняння Гельмгольца (1), що утворюють повні замкнені системи функцій:

$$w_0^{(g)}(r,\varphi) = r_0\sum_{s=1}^{M}\left(A_s g_s(r,\varphi) + B_s h_s(r,\varphi)\right). \tag{8}$$

В результаті задача зводиться до розв'язання сукупності систем інтегро-диференціальних рівнянь на тріщинах, що відрізняються лише правими частинами. Наближені розв'язки цих систем отримано методом механічних квадратур. Після цього невідомі коефіцієнти A_s, B_s лінійної комбінації (8) визначаються з граничних умов (2), (3) на поверхні циліндра методом колокації.

Величинами, що встановлюють можливість розвитку тріщини, є коефіцієнти інтенсивності напружень (КІН) у вершинах $x_l = \pm a_l$, для яких після

розв'язання систем знайдено безрозмірні значення та досліджено вплив на їх значення.

Як приклад розглядався циліндр з перерізом, обмеженим двома еліпсами (рис. 2).

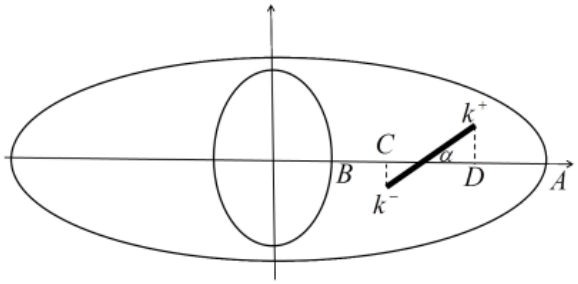


Рисунок 2 – Переріз циліндричного тіла з тріщиною

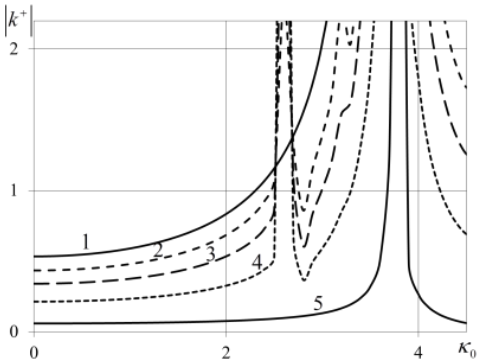


Рисунок 3 – Залежність поведінки КІН від частоти при зміні кута нахилу тріщини

Зовнішня межа знаходиться під навантаженням $P(\varphi)=\sin 2\varphi$, ексцентриситети внутрішнього і зовнішнього еліпсів однакові $\varepsilon=0{,}5$, відношення півосей еліпсів $r_1/r_0=0{,}5$.

Спершу досліджувалась залежність абсолютних значень КІН від безрозмірного хвильового числа $\kappa_0=\kappa_2 r_0$ для різних кутів нахилу тріщини стосовно поверхонь тіла. Рис. 3 відповідає випадку нахиленої тріщини з фіксованою довжиною, яка дорівнює одній третій відстані між вершинами еліпсів AB, та з центром тріщини на рівній відстані від меж перерізу. Криві 1-5 ілюструють поведінку КІН для кутів 0^0, 30^0, 45^0, 60^0, 90^0, відповідно. Як показав аналіз розрахунків, поведінка КІН ідентична для обох вершин тріщини, але $|k^-|<|k^+|$. З огляду на це результати числових досліджень поведінки абсолютних значень КІН у частотній області, зокрема їх виходу на резонансний режим, наведено для $|k^+|$ (рис. 3):

Висновки. Запропоновано ефективний аналітично-числовий метод визначення динамічних напружень у порожнистому циліндричному тілі довільного перерізу з наскрізними тріщинами за антиплоскої деформації, що дозволяє розв'язувати окремо інтегральні рівняння на дефекті та задовольняти умови на межі тіла, забезпечуючи цим полегшення числової реалізації. Метод може бути узагальнений на випадок стану плоскої деформації. Певні труднощі при застосуванні цього методу виникають при наближенні дефекту до межі і негладкої межі циліндра. Але взагалі запропонований метод дозволяє наближено обчислювати коефіцієнти інтенсивності напружень та досліджувати вплив на їх значення геометричних параметрів тріщини і циліндра в досить широкому частотному діапазоні.

Показано, що присутність тріщин у пружному порожнистому циліндрі за гармонічного навантаження супроводжується як інтенсивністю динамічних

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

напружень в околі дефектів, так і резонансним характером їх зміни внаслідок генерації хвильового процесу в обмеженій області.

У розглянутому частотному діапазоні виявлено можливості досягнення одного або двох резонансів залежно від кута нахилу тріщини стосовно межі тіла. Зміна кута нахилу суттєво впливають на значення КІН та стрімкість їх виходу на резонансний режим з низькочастотної області.

ЛІТЕРАТУРА

1. Popov V.G., Comparative analysis of diffraction fields during the passage of elastic waves through defects of different nature [in Russian], Izv. RAN, Mekh. Tverdogo Tela, 4, 99-109, (1995).

2. Ang D.D., Knopoff L., Diffraction of scalar elastic waves by a finite strip. Proc. Math. Sci. USA, 51 (4), 593-598, (1964).

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, 26 (12), 1934-1946, (2010).

4. Chirino F., Domingues J. Dynamic analysis of cracks using boundary element method. Engineering Fracture Mechanics, 34 (5-6), 1051-1061, (1989).

5. Bobylev A.A., Dobrova YU.A., Application of the boundary element method to the calculation of forced vibrations of finite-sized elastic bodies with cracks [in Russian], Visnyk of Kharkov National University, 590 (1), 49-54, (2003).

6. Zhang Ch. A 2D hypersingular time-domain traction BEM for transient elastodynamic crack analysis, Wave Motion, 35 (1), 17-40. (2002).

УДК 621.565

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ КОМПРЕСОРА СУДНОВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

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

Анотація. *Метою статті є розробка математичної моделі системи управління герметичним компресором суднової холодильної установки малої продуктивності на основі спостерігача координат автоматизованого електроприводу, яка дозволяє у реальному часі оцінювати частоту обертання двигуна і момент опору на валу.*

Ключові слова: *суднова холодильна установка, електропривод, компресор, моделювання, система управління, спостерігачі координат.*

MATHEMATICAL MODEL OF THE ELECTRIC DRIVE CONTROL SYSTEM OF THE SHIP'S COMPRESSOR REFRIGERATION UNIT

G. V. Naleva, Ph.D., Docent
D. V. Ungarov, Post-Graduate
O. A. Onishchenko, Dr.Tech.Sc., Professor
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. *The purpose of the article is to develop a mathematical model of the control system of a hermetic compressor of the small productivity ship's refrigeration unit on the basis of an observer of the co-*

ordinates of an automated electric drive, which allows in real time to estimate frequency of rotation of engine and moment of resistance on the shaft.

Keywords: *ship's refrigeration unit, electric drive, compressor, modeling, control system, coordinate observers.*

Основна проблема при регулюванні холодопродуктивності поршневих компресорів суднових холодильних установок (СХУ) укладена в неможливості забезпечення відносно низьких частот їх обертання.

Задача забезпечення стабільної роботи герметичного однопоршневого компресора СХУ при зниженій його продуктивності вирішується шляхом автоматизованого управління і стабілізації частоти обертання електродвигуна (ЕД) компресора [1]. При вирішенні цієї задачі виникають дві проблеми:

– неможливість установки в існуючі герметичні компресори датчика частоти обертання двигуна;

– істотний вплив на систему управління збурення (моменту опору на вал двигуна компресора, який має різко виражений пульсуючий і змінний характер).

Часто при синтезі систем автоматизованого управління (САУ) ЕД компресорів використовуються спеціальні алгоритми ідентифікації координат стану. Тоді, якщо будуть відомі (обчислені, ідентифіковані) невідомі змінні, можлива побудова ефективних САУ ЕД компресора, наприклад, таких, що використовують властивості часткової інваріантності до збурень того чи іншого типу (наприклад, змін моменту опору).

Аналіз робіт [3, 4] дозволяє зробити висновок, що найбільш ефективними і простими в реалізації є алгоритми управління ЕД, побудовані на основі адаптивних спостерігачів Люенбергера. У дослідженні розглядається побудова САУ електроприводом типу «перетворювач частоти – трифазний асинхронний двигун» (ПЧ-ТАД) за допомогою спостерігачів Люенбергера [3] для герметичного компресора СХУ малої продуктивності.

Метою роботи є розробка математичної моделі (ММ) системи управління герметичним однопоршневим компресором СХУ малої продуктивності. Розглядається побудова такої моделі на основі спостерігача координат автоматизованого електроприводу системи ПЧ-ТАД герметичного компресора, яка дозволяє (при технічній реалізації) у реальному часі оцінювати частоту обертання двигуна і момент опору на його валу. У свою чергу, отримання оцінок названих змінних дозволяє побудувати ефективну САУ холодопродуктивністю СХУ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд частинних задач:

– розробити структуру спостерігача координат на основі відомих схем спостерігачів Люенбергера;

– синтезувати модель спостерігача координат, що дозволяє у реальному часі оцінювати частоту обертання двигуна і момент опору на валу;

– засобами імітаційного моделювання провести дослідження точності отриманого спостерігача координат.

Розглянемо лінеаризовану ММ ТАД:

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

$$\begin{cases} \dfrac{dM}{dt} = -\dfrac{1}{T_2} M - \dfrac{z_p \cdot h_i}{T_2} \Omega + \dfrac{h_i}{T_2} \omega_1, \\ \dfrac{d\Omega}{dt} = \dfrac{1}{J} M - \dfrac{1}{J} M_c, \end{cases} \quad (1)$$

де $\begin{bmatrix} M \\ \Omega \end{bmatrix} = X$ – вектор координат стану ТАД; $\omega_1 = u$ – керуючий вплив; $M_c = f$ – збурюючий вплив;

Передбачається, що в системі управління виробляється пряме вимірювання електромагнітного моменту ТАД M. Тоді матриця виходу $C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}$, а сам вектор вихідних (вимірюваних) змінних:

$$Y = CX = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M \\ \Omega \end{bmatrix} = M. \quad (2)$$

Для оцінювання вектора координат стану спостерігач будується на основі ММ ТАД шляхом її доповнення "стабілізуючою добавкою" $L(Y - \hat{Y})$ [3]. Вважаючи збурення неконтрольованим, з виразів (1) і (2) отримаємо лінеаризовану ММ спостерігача Люенбергера повного порядку для ТАД:

$$\begin{cases} \dfrac{d}{dt}\hat{M} = -\dfrac{1}{T_2}\hat{M} - \dfrac{z_p \cdot h_i}{T_2}\hat{\Omega} + \dfrac{h_i}{T_2}\omega_1 + L_1\left(M - \hat{M}\right), \\ \dfrac{d}{dt}\hat{\Omega} = \dfrac{1}{J}\hat{M} + L_2\left(M - \hat{M}\right). \end{cases} \quad (3)$$

Для забезпечення найбільшої точності спостерігача його бажано реалізувати на основі повної ММ ТАД, виконаної в нерухомій системі координат [2]. Для цього рівняння (3) доцільно перетворити до вигляду:

$$\begin{cases} T_2 \dfrac{d}{dt}\hat{M} + \hat{M} = h_i \cdot \left[\omega_1 - z_p \cdot \hat{\Omega} + \dfrac{T_2 \cdot L_1}{h_i} \cdot \left(M - \hat{M}\right) \right], \\ J \dfrac{d}{dt}\hat{\Omega} = \hat{M} + J \cdot L_2\left(M - \hat{M}\right). \end{cases} \quad (4)$$

Перетвореним рівнянням відповідає структурна схема, подана на рис. 1. Аналіз рівнянь (4) і зазначеної схеми дозволяє зробити висновок, що "стабілізуюча добавка" $J \cdot L_2\left(M - \hat{M}\right)$ уявляє собою фактично оцінене значення моменту опору ТАД $\hat{M}_c$ та в схемі подається на суматор, що обчислює динамічний момент всієї електромеханічної системи «ТАД-компресор». У свою чергу, оцінена "стабілізуюча добавка" $\dfrac{T_2 \cdot L_1}{h_i} \cdot \left(M - \hat{M}\right)$ подається на суматор, що обчислює шукану частоту ротора.

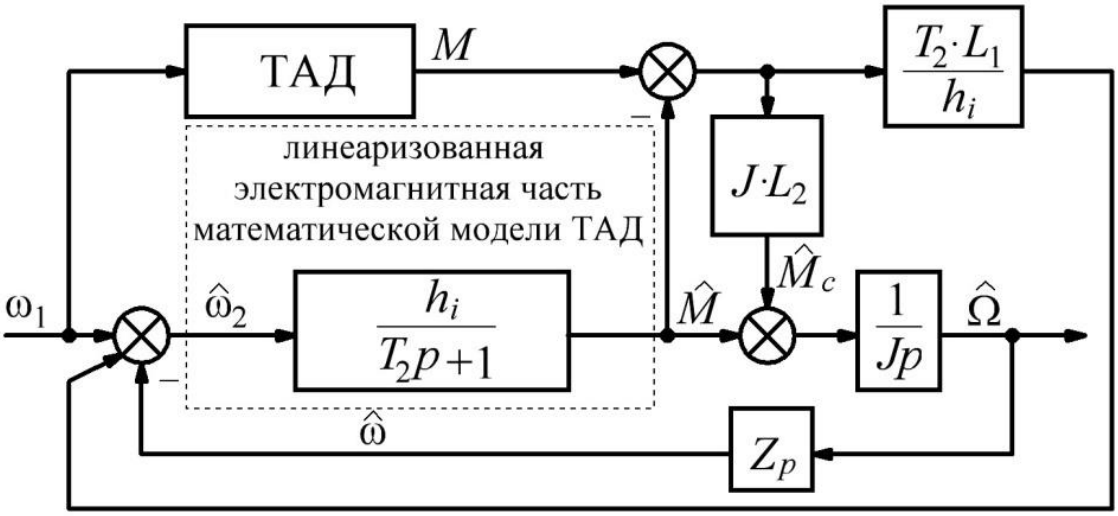


Рисунок 1 – Структурна схема лінеаризованого спостерігача Люенбергера

На основі отриманої структури спостерігача стану нескладно побудувати у середовищі *Matlab / Simulink* імітаційну модель спостерігача Люенбергера, що включає в себе і повну ММ ТАД в нерухомій системі координат.

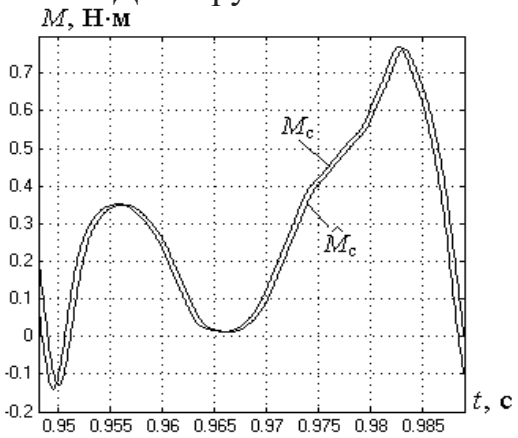


Рисунок 2 – Зміна координат стану і його оцінка (для M_c)

У результаті імітаційного моделювання роботи спостерігача Люенбергера спільно з ТАД герметичного компресора СХУ при номінальному сигналі завдання частоти і номінальному навантаженні, середнє значення якого становить 0,3 Н·м, отримані графіки зміни кутової частоти Ω та моменту опору M_c досліджуваного ТАД, а також їх оцінки $\hat{\Omega}$ и $\hat{M}_c$ на виході спостерігача. Наприклад, на рис. 2 наведені результати оцінки статичного моменту за один оборот валу компресора. Тут можна побачити, що оцінювана координата стану електроприводу компресора досить близька до його реальних значень (отриманих у результаті порівняння). Оцінювана похибка спостерігача не перевищує 0,5% за частотою обертання і 10% за моментом опору.

Висновки. Дослідження, проведені засобами імітаційного моделювання, підтверджують ефективність запропонованого способу ідентифікації частоти обертання і моменту опору ТАД компресора СХУ.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Запропонована структурна схема побудови спостерігача Люенбергера дозволяє створювати замкнуті через спостерігач САУ електроприводом поршневого компресора СХУ і розширити діапазон регулювання продуктивності СХУ. З метою поліпшення точності оцінки моменту опору можливе подальше удосконалення запропонованої структури спостерігача Люенбергера і дослідження спостерігачів зниженого порядку у ЕП СХУ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Онищенко О.А. Научное обоснование и разработка автоматизированных систем управления холодильно-компрессионными установками малой производительности: дисс. … докт. техн. наук / О.А. Онищенко. – Одесса, 2010. – 345 с.
2. P. C. Krause, O. Wasynczuk, and S. D. Sudhoff, Analysis of electric machinery and drive systems, 3rd ed., New York: Wiley-IEEE, 2013. 680 p.
3. Messaoudi, Mustapha & Lassaad, Sbita & BEN HAMED, Mouna & Kraiem, Habib. (2008). MRAS and Luenberger Observer Based Sensorless Indirect Vector Control of Induction Motors. Asian Journal of Information Technology. 7. 232-239.
4. Chuang, Ning. (2016). Kalman filtering speed estimation of vector control for induction motor drive. Conference: IEEE POWERCON 2016At: Wollongong, Australia. 10.1109/POWERCON.2016.7753864.

UDC 539.3

AN ITERATIVE METHOD FOR MODELING WAVE FIELDS IN BODIES WITH THIN RIGID INCLUSIONS AT OSCILLATIONS OF LONGITUDINAL SHEAR

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

Abstract. *The problem of the diffraction field determination is arising as a result of the longitudinal shear wave interaction with the thin rigid inclusions system arbitrarily situated in an infinity body was solved. Inclusions are considered to be fully coupled to the elastic medium and are moving. Unknown amplitudes of inclusions are determined from the equations of motion. The original problem is reduced to the system of the singular integral equations for unknown jumps of stresses on the inclusions' surface, The iterative method of this system solving, where the zero approximation are the solutions of the integral equations for the single inclusions, is proposed.*
Keywords: *Thin rigid inclusion, Wave interaction, Integral equations, Iterative method.*

Nowadays methods of mechanics of deformable bodies (potentials method, discontinuous solutions method, etc.) make it easy to reduce the problem of determination of wave fields in a body with system of thin inclusions or cracks to the solution systems of integral equations. But, the main attention is paid to bodies with systems of cracks. Research of dynamic stress state bodies with systems of thin rigid inclusions is much less. Thus the determination of dynamic stress state and wave fields in bodies with systems of thin rigid inclusions is not completely solved. In the submitted

article, iterative method for determination of SIF and wave fields in the interaction of the longitudinal shear waves of N inclusions.

Let an elastic body that is in a longitudinal shear strain condition, N through thin rigid inclusions are situated. These inclusions are occupied on the plane Oxy by the segments length $2d_k$ and with centers at points with coordinates (a_k, b_k), $k = 1,2,...,N$.(Fig.1)

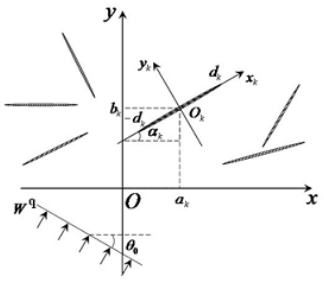


Fig. 1

The wave of longitudinal shear interacts with them which and causing the following displacement along axis Oz:

$$W^q(x,y) = A\,e^{i\kappa_2(x\cdot\cos\theta_0 + y\cdot\sin\theta_0)},\ \kappa_2^2 = \rho\omega^2/G \tag{1}$$

where ω- the frequency of the oscillations, ρ, G- density and modulus of shear of the body, θ_0- the angle between the direction of propagation of the wave and the positive direction of the axis Ox. Multiplier $e^{-i\omega t}$ which determines dependency from time here and then rejected. Let $W(x,y)$ is the only different from 0 in the conditions of longitudinal shear strain component of the vector of displacements caused by waves reflected from the defects. Then it must to satisfy the Helmholtz equation

$$\Delta W + \kappa_2^2 W = 0, \tag{2}$$

where Δ- the Laplace operator in a system of coordinates Oxy. This equation must be seen with conditions on the inclusions for the formulation that the local coordinate systems $O_k x_k y_k$ connected with each of them. It is assumed that inclusion is completely coupled with an elastic medium leads to equation

$$W_k(x_k,0) = c_k - W_k^q(x_k,0), W_k^q(x_k,0) = -Ae^{i\kappa_2 z_{0k}}, \tag{3}$$

$$z_{0k} = a_k\cos\theta_0 + b_k\sin\theta_0 + x_k\cos(\alpha_k - \theta_0) - y_k\sin(\alpha_k - \theta_0),\quad k = 1,2,3,...,N.$$

Also the surfaces of inclusions cause a discontinuity stress unknown jumping which denomination

$$\tau_{zy_k}(x_k,+0) - \tau_{zy_k}(x_k,-0) = \chi_{1k}(x_k), -d_k < x_k < d_k, k = 1,2,...,N. \tag{4}$$

In equality (3) consists of c_k -unknown displacement of inclusions. They are determined from the equations of motion of inclusions

$$m_k\omega^2 c_k = \int_{-d_k}^{d_k} \chi_{1k}(x_k)dx_k, k = 1,2,...N \tag{5}$$

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

where m_k-mass of k-th inclusion.

For the solution of the problem for each inclusion discontinuous solutions of equation (2) [1], [2] from jumping (4) are built

$$W_l^d(x_l, y_l) = \int_{-d_l}^{d_l} \frac{\chi_{1l}(\eta)}{G} r_2(\eta - x_l, y_l) d\eta, l = 1, 2, ..., N. \tag{6}$$

Displacement of the scattered wave field in the coordinate system Oxy is represented in the form of

$$W(x, y) = \sum_{l=1}^{N} W_l^g(x, y), \tag{7}$$

Where $W_l^g(x, y)$ are obtained from (6) as a result of the coordinate transformation. For determination of the unknown jumps $\chi_{1l}(x_l)$ from the conditions (3) the system of integral equations must be obtained. That the received system has received singularity Cauchy type, (3) is replaced by the equivalent equalities

$$\frac{\partial W_k}{\partial x_k}(x_k, 0) = -\frac{\partial W_k^q}{\partial x_k}(x_k, 0), W_k(-d_k, 0) = c_k - W_k^q(-d_k, 0), k = 1, 2, ..., N. \tag{8}$$

After transformations of coordinates in the (7) and substitution to (8) the next system of singular integral equations with additional conditions is obtained:

$$\begin{gathered}
\frac{1}{2\pi}\int_{-1}^{1}\varphi_k(\tau)\left(-\frac{1}{\tau-\varsigma}+F_k(\tau-\varsigma)\right)d\tau+\sum_{\substack{l=1\\ l\neq k}}^{N}\frac{1}{2\pi}\int_{-1}^{1}\varphi_l(\tau)R_{kl}(\tau,\varsigma)d\tau=-i\kappa_0 A_0\cos(\alpha_k-\theta_0)e^{i\kappa_0 r_{0k}(\varsigma)},\\
\frac{\gamma_k}{2\pi}\int_{-1}^{1}\varphi_k(\tau)\left[\ln(1+\tau)+D_k(\tau+1)\right]d\tau+\sum_{\substack{l=1,\\ l\neq k}}^{N}\frac{\gamma_l}{2\pi}\int_{-1}^{1}\varphi_l(\tau)D_{lk}(\tau)d\tau=c_{0k}-A_0e^{i\kappa_0 r_k(-1)},\\
c_{0k}=-\frac{1}{2\gamma_k h_{0k}\kappa_0^2\overline{\rho}_k}\int_{-1}^{1}\varphi_k(\tau)d\tau, k=1,2,..,N.
\end{gathered} \tag{9}$$

In this system, introduced the notation

$$\varphi_l(\tau) = \chi_l(d_l\tau)/G, k = 1, 2, ..., N; \eta = d_l\tau, x_k = d_k\varsigma, \gamma_k = d_k/d$$

$$\kappa_0 = \kappa_2 d, d = \max(d_1, d_2, \ldots, d_N), c_{0k} = \frac{c_k}{d}, \overline{\rho}_k = \frac{\rho_k}{\rho}, h_{0k} = \frac{h_k}{d_k}.$$

where h_k, ρ_k are the thickness and density of the material of k-th inclusion.

The system of integral equations (9) can be solved approximately using the by the mechanical quadrature method [3], as in [4], [5]. But the immediate use of this method requires solving a system of linear algebraic equations, which is proportional to the number of inclusions N. Therefore, the iterative method for solving the system (9) is proposed for elimination of this problem. For this, the zero approximation is solutions of N separate equations for single inclusion. Then an iterative process continues by solving the next equations at every step

$$\frac{1}{2\pi}\int_{-1}^{1}\varphi_k^{(i)}(\tau)\left(-\frac{1}{\tau-\zeta}+F_k(\tau-\zeta)\right)d\tau=-i\kappa_0 A_0\cos(\alpha_k-\theta_0)e^{i\kappa_0 r_{0k}(\zeta)}-$$

$$-\sum_{\substack{l=1\\l\neq k}}^{N}\frac{\gamma_l}{2\pi}\int_{-1}^{1}\varphi_l^{(i-1)}(\tau)R_{kl}(\tau,\zeta)d\tau; \qquad (10)$$

$$\frac{\gamma_k}{2\pi}\int_{-1}^{1}\varphi_k^{(i)}(\tau)\left(\ln(1+\tau)+D_k(\tau+1)\right)d\tau=c_{0k}^{(i)}-A_0e^{-i\kappa_0 r_{0k}(-1)}-\sum_{\substack{l=1\\l\neq k}}^{N}\frac{\gamma_l}{2\pi}\int_{-1}^{1}\varphi_l^{(i-1)}(\tau)D_{kl}(\tau,\zeta)d\tau;$$

Solution of integral equations (10) is based on the representation of unknown functions in the form

$$\varphi_k^{(i)}(\tau)=\frac{\psi_k^{(i)}(\tau)}{\sqrt{1-\tau^2}},\ k=1,2,\ldots,N,\ i=1,2,\ldots; \qquad (11)$$

The formula (11) provides an opportunity to numerically solve equations (10) method of mechanical quadratures [3]. As a result, equations (10) are reduced to the solution of systems of linear algebraic equations sequence that differ only in the right sides of. As it is known [6] stresses in the body around the thin rigid inclusions are described stress intensity factors $K_l^{\pm}$ near its ends $x_l=\pm d_l$. After solving the system (10) their approximate value by results of the i-th iteration are calculated on formulas

$$k_l^{\pm}=\frac{K_l^{\pm}}{G_l\sqrt{2d_l}}=\psi_l^{(i)}(\pm1),\ l=1,2,\ldots,N \qquad (12)$$

One of the main purposes of the numerical analysis was to study practical convergence of iterative method is proposed. This was a system with three inclusions of the same length $2d$ is considered, Inclusion are placed at the sides of the proper triangle with sides long $4d$, as shown in Fig.2 The thickness and density of the inclusions here are considered to be the same: $h_{0k}=0.05,\ \bar{\rho}_{0k}=1$. It was assumed that plane wave of longitudinal shear, propagating along the positive direction of the axis interacts with inclusions $0y\left(\theta_0=90^\circ\right)$. The Fig.3 shows the dependency graphs of absolute value of the dimensionless SIF $|k_1|=|k_1^-|=|k_1^+|$ for first inclusion of the dimensionless wave number $\kappa_0=\kappa_2 d$.

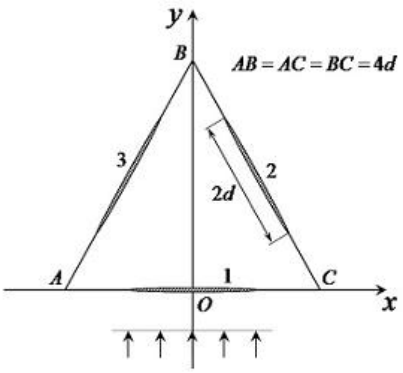


Fig. 2

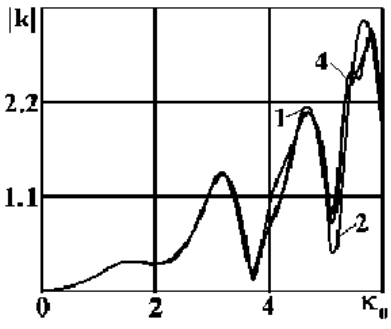


Fig.3

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Curve 1 corresponds to the values SIF obtained as a result of the immediate solution of the system of integral equations (14) mechanical quadrature methods. Curves 2 and 4 show the value of the SIF is obtained by the formula (18) as a result of the implementation of the specified number of iterations. We can see that after 4 iterations the results are obtained by different methods almost do not differ. The continuation of the iterative process lids to the complete coincidence of the results.

Conclusions. Effective iterative method of solving the problem by definition stress condition and diffraction fields in body with arbitrary system of thin rigid inclusions at the interaction with the longitudinal shear waves is proposed. This method can be used for systems of inclusions with implicate geometry and sufficiently tightly placed inclusions. Numerical investigation has determined that the configuration of a system of inclusions, their size and relative locating substantially influence the value of the SIF.

REFERENCES

1.Popov V.G.: Comparison of displacement fields and stresses in the diffraction of elastic shear waves at various defects: crack and thin rigid inclusion [in Russian]. Dynamic systems. 12, 35–41 (1993).

2.Popov, V.G.: Investigation of the fields of displacements and stresses in the case of diffraction of shear elastic waves on thin rigid exfoliated inclusions [in Russian]. Izv. Ross. Akad. Nauk. Mekh. Tverdogo Tela. 3, 139-146 (1992)

3.Belotserkovskii, S.M., Lifanov, I.K.: Numerical methods in singular integral equations and their use in ferrodynamics, the theory of elasticity and electrodynamics [in Russian]. Nauka, Moscow (1985)

4.Popov, V.G.: Interaction of plane elastic waves with systems of radial defects [in Russian]. Izv. Ross. Akad. Nauk. Mekh. Tverdogo Tela. 4, 118-129 (1999)

5.Liu, E., Zhang, Z.: Numerical study of elastic wave scattering by cracks or inclusions using the boundary integral equation method. Journal of Computational Acoustics. 9(3), 1039–1054 (2001). doi:10.1142/S0218396X01001315

6.Sulym H.T.: Foundations of the Mathematical Theory of Thermoelastic Equilibrium of Deformed Bodies with Thin Inclusions [in Ukrainian]. Doslidno-Vydavnychyi Tsentr NTSh, Lviv (2007)

УДК 539.3

ДВА МІЖФАЗНІ ДЕФЕКТИ В АНІЗОТРОПНІЙ ПЛОЩИНІ

К. М. Архипенко, к. ф.-м. н.
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: *В неоднорідній анізотропній площині розглянута проблема взаємодії між міжфазними тріщиною та включенням, що знаходиться в умовах повної зчеплення. За допомогою методу сингулярних інтегральних співвідношень для міжфазних дефектів задача була зведена до системи сингулярних інтегральних рівнянь та запропоновано метод її розв'язання. Як результат, було досліджено вплив відстані між дефектами, навантаження, що застосовується до них, та властивостей анізотропних матеріалів на особливості полів напружень в околі дефектів.*

Ключові слова*: неоднорідна анізотропна площина, міжфазні тріщина та включення, системи сингулярних інтегральних рівнянь, коефіцієнт інтенсивності напружень.*

TWO INTERFACE DEFECTS IN ANISOTROPIC PLANE

K. Arkhypenko, PhD
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *In the inhomogeneous anisotropic plane the problem about interaction between interphase crack and inclusion, which is in the conditions of full cohesion, was considered. Using the method of singular integral relations for interphase defects, the problem was reduced to the system of singular integral equations, and the method for its solution is proposed. As a result, the effect of the distance between defects, the loading applied to them and the properties of anisotropic materials on the features of the stress fields in the neighborhood of defects was investigated.*

Key-words: *inhomogeneous anisotropic plane, interphase crack and inclusion, systems of singular integral equations, stresses, stress intensity factor.*

1. Постановка задачі. Розглянуто неоднорідну анізотропну площину, що складається з двох різних анізотропних півплощин. Лінією з'єднання цих півплощин є вісь Oy, на якій розміщені тріщина $L_1:\{x=0, y\in[a;b]\}$ та абсолютно жорстке тонке включення $L_2:\{x=0, y\in[c;d]\}$, $(a<b<c<d)$, що знаходиться в умовах повного зчеплення з анізотропними матеріалами. На нескінченності прикладено сили, які викликають напруження $\sigma_x(\pm 0, y)=\sigma(y)$, $\tau_{xy}(\pm 0, y)=\tau(y)$, $y\in[a;b]$ на берегах тріщини. Відомі форми берегів включення $u_*^{\pm}(y)=u(\pm 0, y)$, $y\in L_2$, і до включення прикладено довільне навантаження, яке зводиться до результуючої сили $\mathrm{P}=(P_1,P_2)$ і створює момент P_0 відносно центру включення.

Для зведення задачі до системи сингулярних інтегральних рівнянь (СІР) застосовано метод сингулярних інтегральних співвідношень [1,2]. В результаті отримано наступне матричне СІР відносно невідомих стрибків напружень $H_j^-(y), j=1,2$ та похідних переміщень $H_j^-(y), j=3,4$

$$\mathrm{B}^{(j)}\cdot \mathrm{t}^{(j)}(y)+\mathrm{C}^{(j)}\cdot\Gamma_1[\mathrm{t}^{(j)}]+\mathrm{C}_*^{(j)}\cdot\Gamma_2[\mathrm{t}^{(j)}]=\mathrm{p}^{(j)}(y), y\in L_j\ \ j=1,2. \qquad (1)$$

$$\Gamma_j[f]=\frac{1}{\pi}\int_{L_j}\frac{f(t)dt}{t-y}, \mathrm{t}^{(1)}(y)=\begin{pmatrix}H_3^-(y)\\ H_4^-(y)\end{pmatrix}, \mathrm{t}^{(2)}(y)=\begin{pmatrix}H_1^-(y)\\ H_2^-(y)\end{pmatrix},$$

$$\mathrm{p}^{(1)}(y)=2l\begin{pmatrix}\sigma(y)\\ \tau(y)\end{pmatrix}, \mathrm{p}^{(2)}(y)=2l\begin{pmatrix}0\\ \delta+g^+(y)\end{pmatrix}, \mathrm{B}^{(1)}=\begin{pmatrix}r_4^- & 0\\ 0 & -r_4^-\end{pmatrix}, \mathrm{B}^{(2)}=\begin{pmatrix}r_{54}^- & 0\\ 0 & -r_{54}^-\end{pmatrix},$$

$$\mathrm{C}^{(1)}=\begin{pmatrix}-r_1^+ & r_2^+\\ r_3^+ & -r_1^+\end{pmatrix}, \mathrm{C}_*^{(1)}=\begin{pmatrix}r_{14}^+ & r_{24}^+\\ -r_{34}^+ & -r_{14}^+\end{pmatrix}, \mathrm{C}^{(2)}=\begin{pmatrix}-r_{15}^+ & -r_{25}^+\\ -r_{35}^+ & -r_{15}^+\end{pmatrix}, \mathrm{C}_*^{(2)}=\begin{pmatrix}-r_{14}^+ & r_{24}^+\\ -r_{34}^+ & r_{14}^+\end{pmatrix},$$

де $2l=r_2^+r_3^+-(r_1^+)^2-(r_4^-)^2$ і $r_j^{\pm}, r_{ij}^{\pm}$ залежать від пружних властивостей анізотропних півплощин [1], $2g^+(y)=(u_*^+(y)+u_*^-(y))_y'$, δ – невідомий кут повороту включення. Постановку задачі завершують додаткові умови

$$\int_a^b \mathrm{t}^{(1)}(y)dy=0, \int_c^d \mathrm{t}^{(2)}(y)dy=\mathrm{P}, \int_c^d H_1^-(y)ydy=P_0. \qquad (2)$$

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

2. Розв'язок системи CIP. Використовуючи підхід робіт [1,2], матричне CIP (1) розв'язано наступним чином

$$\mathrm{J}^{(j)}\cdot\tau^{(j)}(y)+\Gamma_j[\tau^{(j)}]+\mathrm{V}^{(j)}\cdot\Gamma_{3-j}[\tau^{(3-j)}]=\mathrm{U}^{(j)}\cdot\mathrm{p}^{(j)}(y),\ y\in L_j,\ j=1,2, \tag{3}$$

$$\tau^{(j)}(y)=(\mathrm{S}^{(j)})^{-1}\cdot\mathrm{t}^{(j)}(y),\ \mathrm{U}^{(j)}=(\mathrm{C}^{(j)}\cdot\mathrm{S}^{(j)})^{-1},\mathrm{V}^{(j)}=\mathrm{U}^{(j)}\cdot\mathrm{C}_*^{(j)}\cdot\mathrm{S}^{(3-j)},$$

$$\mathrm{S}^{(1)}=\begin{pmatrix} r_2^+ & r_2^+ \\ r_1^+-i\lambda_{01} & r_1^++i\lambda_{01}\end{pmatrix},\mathrm{S}^{(2)}=\begin{pmatrix} -r_{25}^+ & -r_{25}^+ \\ r_{15}^+-i\lambda_{02} & r_{15}^++i\lambda_{02}\end{pmatrix},\mathrm{J}^{(j)}=\begin{pmatrix}\lambda_{2j-1} & 0\\ 0 & \lambda_{2j}\end{pmatrix},$$

$$\lambda_j=(-1)^{j+1}ir_4^-d_1^{-1}\lambda_{01},\ j=1,2,\lambda_{01}=\mathrm{sgn}(r_4^-)\cdot\sqrt{d_1},d_1=r_2^+\cdot r_3^+-(r_1^+)^2,$$

$$\lambda_j=(-1)^{j+1}ir_{54}^-d_2^{-1}\lambda_{02},\ j=3,4,\lambda_{02}=\mathrm{sgn}(r_{54}^-)\sqrt{d_2},\ d_2=r_{25}^+\cdot r_{35}^+-\left(r_{15}^+\right)^2.$$

Аналіз розв'язків матричного CIP (3) дозволив встановити, що напруження на кінцях тріщини та включення мають кореневу особливість підсилену осциляцією. Останнє дозволяє шукати розв'язки (3) у вигляді рядів з поліномів Якобі $P_n^{\bar\gamma_j,\gamma_j}(\xi)$:

$$\mathrm{T}_j(\xi)=\tau_j\left(\frac{b-a}{2}\xi+\frac{b+a}{2}\right)=\sum_{n=1}^{\infty}q_{jn}\cdot Q_n^{\gamma_j}(\xi)+q_{j0}\cdot\omega_j^{-1}(\xi),|\xi|\le 1,\ j=\overline{1,4}, \tag{4}$$

$$Q_n^{\gamma_j}(\xi)=(1-\xi)^{\bar\gamma_j}(1+\xi)^{\gamma_j}P_n^{\bar\gamma_j,\gamma_j}(\xi),\omega_j^{-1}(\xi)=(1-\xi)^{\bar\gamma_j}(1+\xi)^{\gamma_j},\ j=1,2.$$

Для визначення невідомих коефіцієнтів q_{km} за допомогою методу ортогональних многочленів було отримано нескінченну систему лінійних алгебраїчних рівнянь. Для останньої було застосовано метод редукції [4], і доведена експоненціальна швидкість збіжності наближеного розв'язку до точного розв'язку.

В результаті визначено коефіцієнти q_{km} розвинення (4) і отримано формулу для кута повороту включення δ:

$$\delta=\frac{\sqrt{1-\alpha_{02}^2}}{8l\cdot u_{12}^{(2)}}q_{31}-\frac{\left(1+4\alpha_2^2\right)^{-1}}{2l\pi\cdot u_{12}^{(2)}}\left(A\sum_{j=1}^{2}v_{1j}^{(2)}\sum_{n=1}^{\infty}q_{jn}J_{0n}^{3j}+F_{30}^{0}\right). \tag{5}$$

Представлення (4) також дозволяє отримати формули для узагальнених коефіцієнтів інтенсивності напруження (УКІН) у вершинах тріщини та включення:

$$K_T^{1\pm}=\frac{\sqrt{b-a}\sqrt{1-\alpha_{01}^2}}{2l}\left|\left(-r_1^+S_{11}^{(1)}+r_2^+S_{21}^{(1)}\right)\Sigma_1^{\pm}\right|, \tag{6}$$

$$K_T^{2\pm}=\frac{\sqrt{b-a}\sqrt{1-\alpha_{01}^2}}{2l}\left|\left(r_3^+S_{11}^{(1)}-r_1^+S_{21}^{(1)}\right)\Sigma_1^{\pm}\right|,K_I^{1\pm}=\frac{\sqrt{d-c}}{2l}\left|\left(r_{14}^+\cdot S_{11}^{(2)}+r_{24}^+\cdot S_{21}^{(2)}\right)\Sigma_3^{\pm}\right|,$$

$$K_I^{2\pm}=\frac{\sqrt{d-c}}{2l}\left|\left(r_{34}^+\cdot S_{11}^{(2)}+r_{14}^+\cdot S_{21}^{(2)}\right)\Sigma_3^{\pm}\right|,\Sigma_3^{\pm}=\sqrt{1-\alpha_{02}^2}\Sigma_2^{\pm}\pm\frac{2P_1^{(1)}}{\pi(d-c)}.$$

де $K_T^{j\pm}$ – УКІН для нормальних ($j=1$) і дотичних напружень ($j=2$) у вершинах тріщини a і b відповідно, і $K_I^{j\pm}$ – УКІН для нормальних ($j=1$) і дотичних напружень ($j=2$) у вершинах включення c і d відповідно.

3. Чисельні результати та висновки. При числовій реалізації була розглянута кусково-однорідна анізотропна площина, що складалась з комбінації таких анізотропних матеріалів [3]: склопластик намотувальний односпрямований (матеріал $m1$), склопластик ортогонально-армований (матеріал $m2$), склопластик СТЕТ (матеріал $m3$), скловолокно АСТТ (матеріал $m4$). На кожному рисунку крива 1 відповідає площині, складеної з матеріалів $m1$ $(x<0)$ і $m2$ $(x>0)$, крива 2 – площині, складеної з матеріалів $m4$ $(x<0)$ і $m3$ $(x>0)$, крива 3 – площині, складеної з матеріалів $m2$ $(x<0)$ і $m4$ $(x>0)$. Поля напружень біля тріщини та включення істотно залежать від відстані між цими дефектами. На рисунку 1 показана залежність УКІН нормального напруження від відстані між дефектами у нижній $(1a)$ та верхній $(1b)$ вершинах тріщини, коли $\sigma(y)=-1, \mathrm{P}=0, \tau(y)=0$ і $P_0=0$.

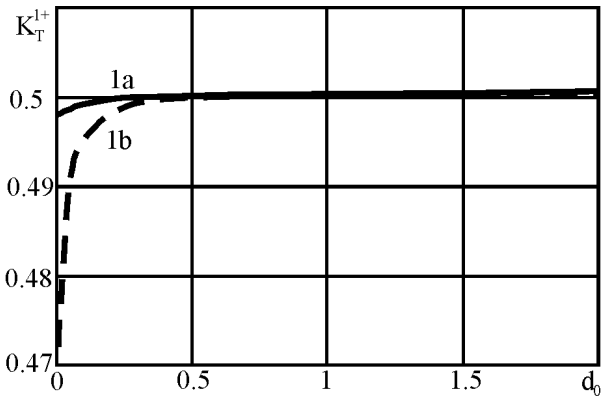


Рисунок 1

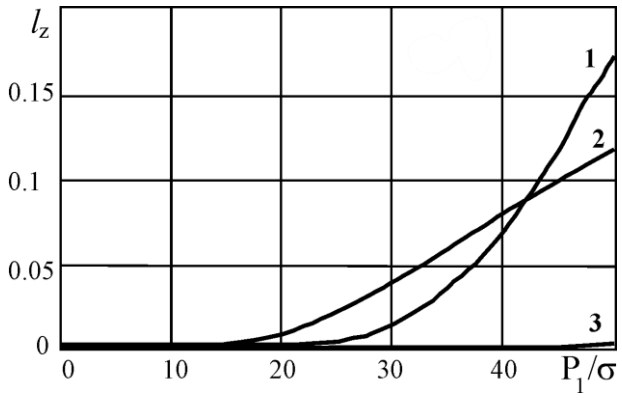


Рисунок 2

З наведеного вище рисунка можна зробити висновок, що коли дефекти наближаються один до одного, УКІН зменшується для тріщини, та зменшення більше у вершини, ближчої до включення. Що стосується включення, УКІН, навпаки, збільшується при зближенні дефектів і збільшується більше для вершини, ближчої до тріщини. Якщо під навантаженням знаходиться лише включення, то поведінка УКІН зовсім протилежна, тобто УКІН для тріщини збільшується, а для включення зменшується. Таким чином, вплив дефектів на поля напружень стає значним, коли $d_0 \le 0.25$.

Контактні зони берегів тріщини також досліджувались для різних навантажень обох дефектів. Виявилося, що будь-яке дотичне навантаження як на тріщину, так і на включення викликає контакт берегів в обох вершинах тріщини, але одна з цих зон набагато менша за іншу. Відповідно до цього можна вважати, що на тріщині виникає лише одна контактна зона. Коли тріщина знаходиться під постійним нормальним навантаженням, а дотичне навантаження менше, ніж нормальне, та результуюча сила на включенні менша, ніж нормальне навантаження, або ці сили повністю відсутні, тоді обидві зони контакту настільки малі, їх розмірами можна знехтувати порівняно з розміром тріщини. Розміри контактних зон можна порівняти з розміром тріщини лише, коли тріщина знаходиться під дотичним навантаженням або коли воно більше нормального

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

навантаження. Так, наприклад, вважаючи, що на тріщину діє лише дотичне навантаження, а включення вільне від навантаження, зона контакту на тріщині дорівнює половині її довжини.

На рис. 2 показані залежності довжини зони контакту l_z від співвідношення навантажень P_1/σ, коли тріщина знаходиться під навантаженням $\sigma(y)=-1, \tau(y)=0$, а включення знаходиться під навантаженням, що зводиться до результуючої сили $\mathrm{P}=(P_1,0)$ $(0\le P_1\le 50)$ і створює нульовий момент відносно центр включення ($P_0=0$). Як видно з рис. 2 для появи зони контакту, довжина якої дорівнює 1% довжини тріщини, необхідно, щоб нормальна компонента P_1 результуючої сили, прикладеної до включення, була в 20 разів більша за нормальне навантаження на тріщину для менш жорстких матеріалів, з яких складається анізотропна площина, або навіть більше для більш жорстких матеріалів.

Аналогічно можна розглянути задачі про міжфазні тріщину та включення за інших умов контактної взаємодії з півплощинами.

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. Кривий О.Ф., Архипенко К.М. Тріщина, що виходить на лінію з'єднання двох різних анізотропних півплощин / Мат.методи та фіз.-мех. поля. – 2005. – **48**, №3, с. 110-116
3. Лехницкий С. Г. Теория упругости анизотропного тела. М.: Наука, 1977. 415с.
4. Попов Г.Я. Концентрация упругих напряжений возле штампов, разрезов, тонких включений и подкреплений. М.: Наука, 1982. 344с.

УДК 621762.22+621.926.55

ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ КОЕФІЦІЄНТА АГЛОМЕРАЦІЇ ВІД ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЇ

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

Анотація. *На основі ймовірнісної моделі процесу подрібнення і агломерації отримана залежність коефіцієнта агрегування (агломерації) від значень питомої поверхні і часу подрібнення. За даними досліджень вказані матеріали, для яких характерна швидка або повільна агломерація дрібних частинок.*

Ключові слова: *вібраційний подрібнення, агломерація, оптимальні параметри.*

DETERMINATION OF THE DEPENDENCE OF THE AGGLOMERATION COEFFICIENT ON VIBRATION PARAMETERS

N. Orlova, Ph.D., Associate Professor
National University "Odessa Marine Academy"

Abstract. *Based on the probabilistic model of the grinding and agglomeration process, the dependence of the aggregation coefficient on the values of the specific surface and grinding time is found. According to the experimental results, statistical data processing was carried out, the dependence of the aggregation coefficient for specific materials is indicated.*

Key words: *vibration grinding, agglomeration, optimal parameters.*

При вібраційному подрібненні металевих порошкових матеріалів у деякі моменти часу має місце агломерація (агрегація, коагуляція). Кінетику агломерації ґрунтовно розглянуто в монографії [2]. У вібраційних млинах злипання двох частинок відбувається при їх зіткненні, але не кожне зіткнення призводить до утворення стійкого агрегату (об'ємна взаємодія). Стійкий агрегат, як правило, характеризується молекулярно-щільним агрегуванням частинок матеріалу.

Зі зростанням значень питомої поверхні $S = S(t)$ (ступеня дисперсності частинок) матеріалу, що подрібнюється, зростає і частка енергії, витрачається на пластичну деформацію, внаслідок чого точкові контакти переходять у контакти з поверхні і міцність агрегатів зростає. Злипання двох частинок відбувається тільки у зоні їх зіткнення. Таким чином, число зіткнень між частинками оброблюваного матеріалу має основне значення для агломерації. Однак ефективність зіткнень частинок при зіткненні визначається властивостями поверхонь, які оброблює, параметрами вібраційного впливу (ударний або стирається) і типом подрібнення - «сухий» чи «мокрий» помел.

Процеси, що відбуваються при вібраційному подрібненні і агломерації матеріалів, відповідають двом типам [2]: 1). Швидкої агломерації дрібних частинок на основі броунівського руху і 2). Повільної агломерації дрібних включень, коли ефективною є лише частина зіткнень за рахунок впливу енергетичного бар'єру. Розглядаючи процеси подрібнення і агломерації різних матеріалів у вібраційних млинах з позицій випадкових Марковських процесів [1,3,4], продемонструємо можливість визначення коефіцієнта агломерації на основі експериментальних даних. Аналогічно [3] вважаємо, що процес подрібнення і агрегування подрібнення частинок відповідає неоднорідному Марковському процесу народження і описується рівнянням

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\frac{1}{3}\{\lambda(1-\beta t) - \mu\}S(t); \quad S(t_0) = S_0; \quad S(t_1) = S_1 \qquad (1)$$

де: λ – коефіцієнт пропорційності для інтенсивності неоднорідного Марківського процесу; β – параметр, який визначає частку частинок, що знаходяться в зоні впливу робочих органів; μ – коефіцієнт інтенсивності агрегування; t_0, t_1 – час початку і закінчення етапу агрегування; S_0, S_1 – питома поверхня в моменти часу, що визначаються з експерименту.

Для ідентифікації коефіцієнта μ (коефіцієнт агрегування) з експерименту треба визначити час початку етапу агрегування. Початком етапу агрегування вважатимуть першу точку перегину кривої $S = S(t)$ (рис.1,2,3).

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Таблиця 1 – Статистична обробка даних

2,5	28,5	2,1911
3	26,8	2,823
3,5	25,1	3,4083
4	24,14	3,7397
4,5	23,63	4,084
5	24,31	4,4631
5,5	25,67	4,8486
6	27,03	5,2262
6,5	29,41	5,6312
-0,03831	0,826336	1,32627
0,016288	0,023935	0,425545
0,995009	0,09194	#Н/Д
598,1043	6	#Н/Д
10,11146	0,050718	#Н/Д

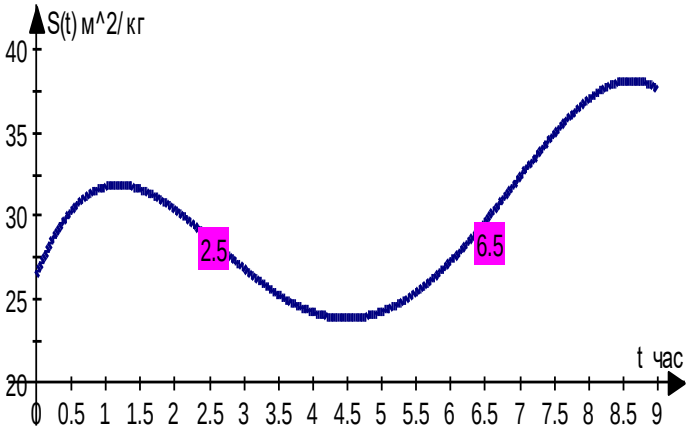


Рисунок 1 – Зміна питомої поверхні Х13М2С2

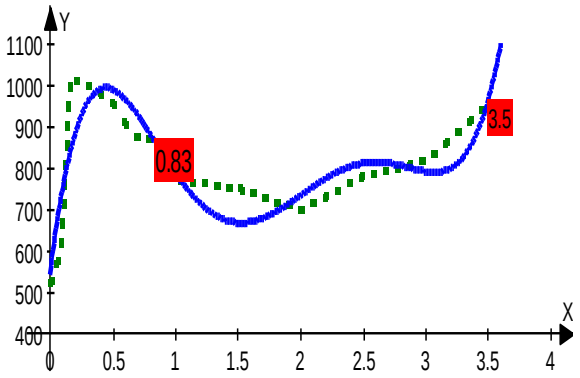


Рисунок 2 – Зміна питомої поверхні Х18Н15

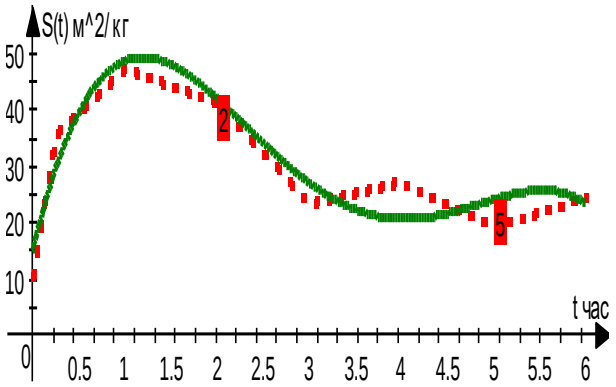


Рисунок 3 – Зміна питомої поверхні ПГСР-2 + 3%.

Згідно з результатами [3] коефіцієнт агрегування слід вважати не постійною величиною, а функцією від часу і питомої поверхні $\mu = \mu(t, S)$ Припускаємо, що існує лінійна залежність між незалежними змінними (t, S) і залежною змінною μ. В заданому проміжку розглянемо регресійну модель для коефіцієнта агрегування $\mu(t, S) = a_o + a_1 t + a_2 S$.

Результати визначення коефіцієнта агрегації за експериментальними даними

Матеріал Х13М2С2 піддавався вібраційній обробці протягом 9 годин. Результати обробки оцінювалися за питомою поверхнею, що вимірюється на приладі ПСХ-4, який відповідає стандартам - європейським (ГОСТ, DIN, ISO) і американському (ASTM). Аналізуючи результати досвіду (рис.1), зазначимо, що питома поверхня зменшується (має місце агрегація частинок) між 2,5 і 3,5 часами подрібнення. Далі питома поверхня зростає. Початок агрегації відпові-

дає точці перегину $t_0 = 2,5 \rightarrow S_0 = 28,5$; закінчення процесу агрегації друга точка перегину $t_1 = 6,5 \rightarrow S_1 = 29,41$ кривої $S=S(t)$.

Проведена статистична обробка даних (коефіцієнт детермінованості r = 0,9950 (таблиця 1)) вказує на сильну залежність між коефіцієнтом агрегування і незалежними змінними. Для визначення, чи є цей результат (з високим значенням r) випадковим чи ні, використовуємо F-статистику. Гіпотезу відсутності зв'язку між значеннями відкидаємо, якщо значення F перевищує критичний рівень 4,53. Значення ймовірності = FРАСП (598,1043; 2; 6) = 1,2431E-07 дає надзвичайно мало F.

Аналогічно було проведено статистичну обробку експериментальних даних для матеріалів Х18Н15 (рідкий помел) і порошку ПГСР-2 + 3%. Внаслідок цього доходимо до висновку, що рівняння регресії можна рекомендувати до використання.

Для матеріалу Х13М2С2 рівняння регресії

$$\mu(t, S) = 1,3262 + 0,8263t - 0,0383S;$$

r = 0,9950 ; = FРАСП (598,1043; 2; 6) = 1,2431E-0

Х18Н15 (рідкий помел) рівняння регресії

$$\mu(t, S) = 0,0014 + 0,4333t + 0,3587S;$$

r=0,9571; =FРАСП(44,6254;2;4)=0,00183

ПГСР-2 + 3% рівняння регресії

$$\mu(t, S) = 0,0376 + 0,1450t + 0,3106S$$

r = 0, 8753=FРАСП(14,0471;2;4)=0,01553.

Висновки. У запропонованій математичній моделі процесу агрегування коефіцієнт агрегування є функцією від часу і питомої поверхні. Відзначимо, що для одних матеріалів така залежність є більш значущою, а для інших менш значущою. Останнє пов'язано з зонами повільної і швидкої агломерації (агрегації).

ЛІТЕРАТУРА

1. Непомнящий Е.А. Закономерности тонкодисперсного измельчения, сопровождаемого агрегированием частиц. – Теоретические основы химической технологии. – 1978. т.12. №4 – С. 576-580.

2. В.В. Кафаров Системный анализ процессов химической технологии: методы неравноместной термодинамики: монография /И.Н. Дорохов, Э.М. Кольцова; отв. редактор Н.М. Жаворонков – 2-е изд.перераб. и доп. – М.: Издательсьво Юрайт,2018.– 377с.–(Серия: Университеты России) ISBN 978-5-534-06997-6.

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. Паходин В.А. 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.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

УДК 681.5.013

СИНТЕЗ ПАРЫ СИГНАЛ – ФИЛЬТР ДЛЯ АМПЛИТУДНО-НЕМОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

В. М. Кошевой, д.т.н., профессор
Л. М. Джаиани, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

***Аннотация**: рассматривается процесс синтеза пары сигнал – фильтр для амплитудно – немодулированных сигналов в предельных нулевых зонах (обеспечение подавления боковых лепестков до предельного нулевого значения) [1]. Анализируется влияние увеличения памяти сигнала на подавление боковых лепестков.*

***Ключевые слова**: пара сигнал – фильтр, память сигнала, критерий максимума отношения сигнал / помеха + шум.*

SYNTHESIS OF WAVEFORM – FILTER PAIR FOR AMPLITUDE-UNMODULATED SIGNALS

V. M. Koshevyy, Dr. of Technical Science, Professor
L. M. Dzhaiani, Student
National University “Odessa Maritime Academy”

***Abstract:** synthesis of waveform-filter pair for amplitude unmodulated signals in limiting zero zones is considered (side lobes are suppressed to the limit of zero). The effect of increasing the signal memory on side lobe suppression is analyzed.*

***Keywords:** waveform-filter pair, signal memory, maximum signal-to-clutter-plus-noise ratio.*

При практическом многофункциональном применении радиолокационных систем пристальное внимание уделяется обеспечению их защищенности от преднамеренных помех.

Принятые сигналы в радиолокационных станциях подвергаются различного рода обработке, которая может быть охарактеризована совокупностью различных математических операций, формирующих общий алгоритм целевой обработки, функционально направлены на получение необходимых исходных параметров сигнала. Особенно для помех типа мешающие отражения.

Основная задача – оптимизация обработки сигналов для полного подавления не желаемых боковых лепестков, то есть выделение сигналов, которые несут полезную информацию на фоне мешающих отражений и шумов.

Рассмотрим практическое решение данной задачи.

1. Синтез сигнала, модули которого равны единице и известного фильтра

Snew_0=[exp(j*0.0401) exp(j*0.3136) exp(j*-0.5207) exp(j*-0.0889) exp(j*2.3459) exp(j*-2.8081) exp(j*0.3243) exp(j*-1.5609) exp(j*1.7298)];

Wn20_0=[1.0824 + 0.1634i 0.9300 + 0.2863i 0.7665 - 0.4912i 0.8633 - 0.1836i -0.6741 + 0.6611i -0.8867 - 0.1916i 0.9255 + 0.2609i - 0.0051 - 1.0564i -0.3242 + 1.1778i];

ρ = 0.9828.

Количественный показатель значения потерь по шумам:

$$\rho = \frac{\sum |W_{ni}{}^{*} s_{ni}{}^{t}|^2}{W_n{}^{*} W_n s_n{}^{*} s_n{}^{t}}, \quad (1)$$

где $s_n{}^t$ – нормированный транспонированный вектор сигнала s;

$w_n{}^t$ – нормированный транспонированный вектор фильтра w;

$s_n{}^*$ – нормированный сигнал, комплексно - сопряженный с сигналом s;

$w_n{}^*$ – нормированный фильтр сигнала s комплексно - сопряженный с фільтром w;

$s_{ni}{}^t$ – весовые коэффициенты нормированный транспонированного вектора сигнала s;

w_{ni} - весовые коэффициенты нормированный вектора фильтра w.

Функция корреляции имеет вид (рис. 1):

$$X_k^{sw} = \sum_{m=0}^{N-1-|k|} w_m^* s_{m+k}, k = 0 \div N-1,$$
$$X_k^{sw} = \sum_{m=0}^{N-1-|k|} w_{m-|k|}^* s_m, k = 1-N \div 0 \quad (2)$$

где s_m – комплексные весовые коэффициенты сигнала;

$w_m{}^*$ – комплексные весовые коэффициенты фильтра комплексно – сопряженного с фильтром w;

N - количество импульсов в сигнале s.

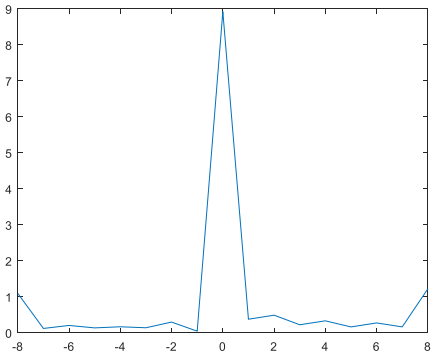


Рисунок 1 – Корреляционная функция

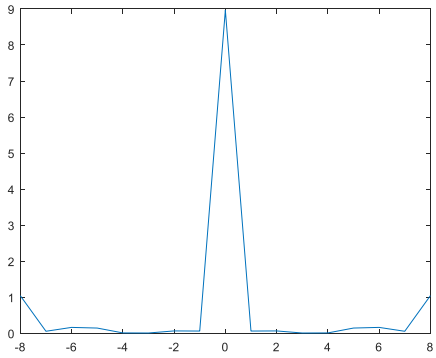


Рисунок 2 – Корреляционная функция

2. Нахождение фильтра для сигнала, модули которого равны единице (рис. 2)

S_0=[exp(j*0.0401) exp(j*0.3136) exp(j*-0.5207) exp(j*-0.0889) exp(j*2.3459) exp(j*-2.8081) exp(j*0.3243) exp(j*-1.5609) exp(j*1.7298)];

Wn_0=[1.0321 + 0.1556i 0.9671 + 0.2600i 0.8879 - 0.4798i 0.9781 - 0.1852i -0.6373 + 0.6245i -0.9681 - 0.2320i 0.9482 + 0.3454i -0.0409 - 1.0005i -0.2769 + 1.0064i];

ρ = 0.9926.

3. Влияние увеличения памяти сигнала на уменьшение боковых лепестков [2]

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Первый шаг (рис. 3): N = 9, M = 11 ρ = 0.9919.
Последний шаг (рис. 4): N = 9, M = 19 ρ = 0.9918.

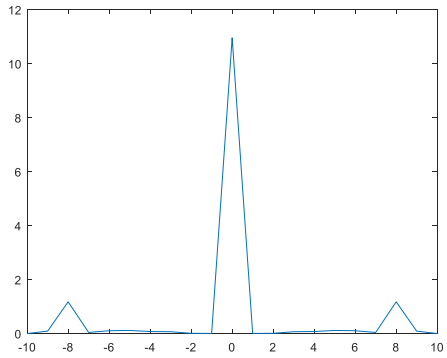


Рисунок 3 – Корреляционная функция (N = 9, M = 11)

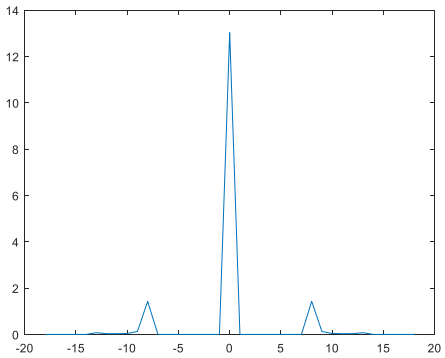


Рисунок 4 – Корреляционная функция (N = 9, M = 19)

Выводы. Расчеты показали, что независимо от вида начальных приближений, достигаем полного подавления боковых лепестков, увеличивая память сигнала. Количественный показатель потерь по шумам увеличивается с увеличением памяти сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошевой В. М., Свердлик М. В. Предельные нулевые зоны для сигналов. Радиотехника и электроника, том 9, 1974.
2. V.M. Koshevyy. “Efficiency of Filter Synthesis under Additional Constaints with Group-Complementary Properties” IEEE, 2016 International Conference “Radioelectronics & InfoCommunications” (UkrMiCo), September 11-16, 2016, Kiev, Ukraine, pp. 978-982.

УДК 681.5.013

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ПОМЕХИ

В. М. Кошевой, д.т.н., профессор
М. Ю. Бочарова, студентка
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация: *Рассматривается задача синтеза оптимального фильтра для произвольной стационарной помехи по критерию максимизации отношения Сигнал/(Помеха+Шум), в виде последовательного соединения режекторного и согласованного с режекторным фильтра. Указанный фильтр получается путем решения интегрального уравнения Виннера-Хопфа методом преобразования Фурье. К интегральному уравнению приходим, решая вариационную задачу максимизации сигнала.*

Ключевые слова: *фильтр, оптимальный фильтр, режекторный фильтр, произвольная помеха, уравнение Виннера-Хопфа.*

SYNTHESIS OF AN OPTIMAL FILTER FOR ARBITRARY INTERFERENCE

V. Koshevoy, Dr. of Science, Professor
M. Bocharova, student
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *The problem of synthesizing an optimal filter for an arbitrary stationary interference is considered according to the criterion for maximizing the Signal / (Noise + interference) ratio, in the form of a series connection of a notch filter and one matched with a notch filter. The specified filter is obtained by solving the Winner-Hopf integral equation by the Fourier transform method. We arrive at the integral equation by solving the variational problem of maximizing the signal.*

Key-words: *filter, optimal filter, notch filter, arbitrary noise, Winner-Hopf equation.*

Оптимальный фильтр – фильтр, обеспечивающий на выходе максимальное соотношение Сигнал/(Помеха+Шум).

$S(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} R(t, t_1) * w(t_1)\, dt_1$ – интегральное уравнение оптимального фильтра Виннера-Хопфа.

$$W(f) = \frac{S(f)}{G(f)}$$

Путем решения интегрального уравнения Виннера-Хопфа получаем фильтр, образованный последовательным соединением режекторного и согласованного с режекторным фильтра. [1]

Режекторный фильтр (проф. жаргон — полосно-заграждающий фильтр, фильтр-пробка) — электронный или любой другой фильтр, не пропускающий колебания некоторой определённой полосы частот, и пропускающий колебания с частотами, выходящими за пределы этой полосы. Эта полоса подавления характеризуется шириной полосы задерживания и расположена приблизительно вокруг центральной частоты ω0 (рад/с) подавления, или fo=ω0/2•3,14 (Гц). Для реальной амплитудно-частотной характеристики частоты ωL и ωU представляют собой нижнюю и верхнюю частоты полосы задерживания. Режекторный фильтр, предназначенный для подавления составляющей одной определённой частоты, называется фильтром-пробкой . [2]

А к интегральному уравнению приходим, решая вариационную задачу максимизации соотношения Сигнал/(Помеха+Шум)

$$W(f) = \frac{S(f)}{N_0 + G_{\text{п}}(f)} = \frac{1}{\sqrt{G(f)}} * \frac{S(f)}{\sqrt{G(f)}}$$

где N_0 – белый шум
$G_{\text{п}}(f)$ – помеха

Выводы: оптимальным фильтром для произвольной стационарной помехи по критерию максимизации отношения Сигнал/(Помеха+Шум) является после-

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

довательное соединение режекторного и согласованного с режекторным фильтра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошевой В.М. Совместная оптимизация сигналов и фильтров при дополнительных ограничениях: Учеб. Пособие / Кошевой В.М. – К.: УМК ВО, 1990. – 84 с.
2. Теоретические основы радиолокации / Я. Д. Ширман, В. Н. Голиков, И. Н. Бусыгин и др./ Под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: Сов. Радио, 1970. – 560 с.

УДК 621.396.969

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ И ШЕСТЕРТИЧНЫХ СИГНАЛОВ

В. М. Кошевой, д.т.н., профессор
А. А. Орловская, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация: *важнейшей задачей разработчиков информационных сетей является повышение уровня помехозащищенности передаваемой информации. При подготовке потока данных к передаче по каналу связи информация подвергается различным видам обработки, основными из которых являются кодирование и модуляция. В современных цифровых сетях для увеличения помехозащищенности сетей с радиоканалами все чаще используются недвоичные коды. Однако использование таких кодов в ряде случаев затруднено вследствие ограниченных возможностей элементной базы, находящейся в распоряжении разработчиков. Эти коды способны исправлять наиболее правдоподобные комбинации ошибок, возникающих в кодовых словах в результате воздействия на них определенного вида помех. В работе рассматриваются анализ корреляционных свойств таких сигналов и выбор сигналов с заданными корреляционными свойствами (задача синтеза) сигналов в кассах четвертичных и шестертичных сигналов.*

Ключевые слова: *цифровая обработка сигналов, помехозащищенность информации, анализ, шестертичные сигналы, четвертичные сигналы.*

ANALYSIS AND SYNTHESIS OF QUATERNARY AND HEXTARNARY SIGNALS

V. M. Koshevyy, Doctor, Professor
O. O. Orlovska, student
National University “Odessa Maritime Academy"

Abstract: *the most important task of information network developers is to increase the level of noise immunity of transmitted information. In preparing the data stream for transmission over the communication channel, information is subjected to various types of processing, the main of which are coding and modulation. In modern digital networks, non-binary codes are increasingly used to increase the noise immunity of networks with radio channels. However, the use of such codes in some cases is difficult due to the limited capabilities of the element base at the disposal of developers. These codes are capable of correcting the most plausible combinations of errors that occur in code words as a result of exposure to a certain type of interference. The paper considers the analysis of the correlation properties of such signals and the selection of signals with specified correlation properties (synthesis task) of signals at the box offices of quaternary and hexternary signals.*

Key words: *digital signal processing, noise immunity of information, analysis, hextarnary signals, quaternary signals.*

Псевдошумовые сигналы (ПШС) эффективно применяются в системах мобильной связи [1], а также в глобальных спутниковых радионавигационных системах [2]. Сдерживающим фактором использования псевдошумовых сигналов в радиолокации является достаточно высокий уровень боковых выбросов функции взаимной корреляции ПШС, что в значительной мере затрудняет обнаружение так называемых «слабых» целей, с низким значением эффективной поверхности рассеяния (ЭПР), в случае присутствия близко расположенных «сильных» целей, с высоким значением ЭПР. В разное время предпринималось большое количество попыток разработать способы уменьшения боковых выбросов функции корреляции [3]. Это всевозможные способы взвешивания, способ рассогласования приемного тракта, способ формирования прямоугольного спектра сигнала и формирования заданного распределения токов в раскрыве линейной антенны конечных размеров, с целью пространственного ослабления боковых выбросов. Однако ни один из перечисленных способов не обеспечивает приемлемого результата.

В настоящее время наибольшее практическое применение для формирования широкополосных сигналов находят двоичные М-последовательности, ГМВ-последовательности, последовательности Голда, Касами. Их корреляционные функции имеют ненулевой уровень боковых лепестков, что ухудшает качественные показатели систем, использующих широкополосные сигналы. Например, уменьшается точность измерения параметров канала связи, в локации затрудняется обнаружение отраженного сигнала на фоне подстилающей поверхности. Многофазные последовательности [1-3] лишены этого недостатка.

Пусть $\{a_i\} = \{w^{l_i}\}$ – комплексная последовательность длиной n символов, $w = \exp\left(j\frac{2\pi}{n}\right), i = 0, \dots n-1,\ n$ – любое целое число. Ее корреляционная функция определяется следующим образом:

$$R(j) = \sum_0^{n-1} a_i a_{i+j}^*, \tag{1}$$

где j – величина задержки, $j = 0, \dots n-1,\ a_{i+j}^*$ – символ, комплексно-сопряженный с a_{i+j}.

Последовательность $\{a_i\}$ будет иметь идеальную периодическую автокорреляционную функцию (ПАКФ), если:

$$R(j) = \begin{cases} n, & j = 0, \\ 0, & j \neq 0. \end{cases} \tag{2}$$

В данной работе рассматриваются четвертичные последовательности первого (1, -1, $e^{j\frac{\pi}{2}}, e^{-j\frac{\pi}{2}}$) и второго типов (1, -1, $e^{j\frac{\pi}{4}}, e^{-j\frac{\pi}{4}}$), а также шестертичные последовательности (1, -1, $e^{j\frac{\pi}{2}}, e^{-j\frac{\pi}{2}}, e^{j\frac{\pi}{4}}, e^{-j\frac{\pi}{4}}$.

Составив таблицу, состоящую из семиразрядных всех возможных комбинаций этих последовательностей, получили корреляционные функции этих матриц, используя формулу:

$$R(n,k) = \sum_{n=0}^{n-1} W_n^* S_{n+k}, \tag{3}$$

где S – исходный сигнал, W^* – согласованный фильтр.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Используемый алгоритм для задачи синтеза четвертичных и шестертичных сигналов состоит в следующем:

1) составляется таблица со всеми возможными значениями четвертичных последовательностей первого и второго типов, а также, шестертичных последовательностей;

2) с помощью программы Matlab 2015b, получаем значения корреляционных функций для необходимых сигналов;

3) строим соответствующие графики;

4) из полученного множества выбираем те сигналы, уровень боковых лепестков которых, согласно их корреляционным функциям, по модулю не превышают уровень 2, которой обеспечивает хороший приём сигналов.

Рассмотрим четвертичные сигналы первого типа. Для синтезирования данных сигналов были рассмотрены 128 последовательностей, далее, используя вышеупомянутый алгоритм, было выбрано те последовательности сигналов, которые обеспечивают хороший прием сигналов. Значения таких сигналов приведены в табл. 1, при этом выполним замены: $e^{j\frac{\pi}{2}} = J2, e^{-j\frac{\pi}{2}} = J1$.

Таблица 1 – Последовательности четвертичных сигналов первого типа и их корреляционные функции

№	Исходные данные							Корреляционные функции						
1	1	-1	1	1	1	1	-1	7	0	1	0	-1	2	-1
2	1	1	-1	1	1	1	1	7	2	1	2	1	2	1
3	1	-1	-1	1	1	1	1	7	2	-1	0	-1	0	1
4	1	-1	J2	1	1	1	-1	7	2i	-1	-1-1i	1i	2	-1
5	1	-1	J2	1	1	1	J2	7	1 - 1i	1i	0	1	1 - 1i	1i
6	1	J2	J2	1	1	1	-1	7	2	1i	2i	1	1+1i	-1
7	1	-1	J1	1	1	1	-1	7	2i	-1	-1+1i	1i	2	-1
8	1	J1	J1	1	1	1	-1	7	2	1i	2i	1	1 - 1i	-1
9	1	1	1	-1	1	1	-1	7	0	-1	2	1	0	-1
10	1	J2	1	-1	1	1	-1	7	-2	1i	1-1i	-1i	1+1i	-1
11	1	J1	1	-1	1	1	-1	7	-2	-1i	1+1i	1i	1-1i	-1
12	1	-1	J2	-1	1	1	-1	7	-2	-1	-1-1i	1i	2	-1
13	1	-1	J2	-1	1	1	J1	7	-1 -1i	-1i	-2	-1	1+1i	-1i
14	1	J2	J2	-1	1	1	J1	7	1+1i	-1	-1-1i	-1i	0	-1i
15	1	J1	J2	-1	1	1	1	7	0	-1i	-2	1	1 +1i	1
16	1	-1	J1	-1	1	1	-1	7	-2	-1	-1+1i	-1i	2	-1
17	1	J2	J1	-1	1	1	1	7	0	1i	-2	1	1-1i	1

А также, ниже представлены графики корреляционных функций соответствующих сигналов (рис. 1).

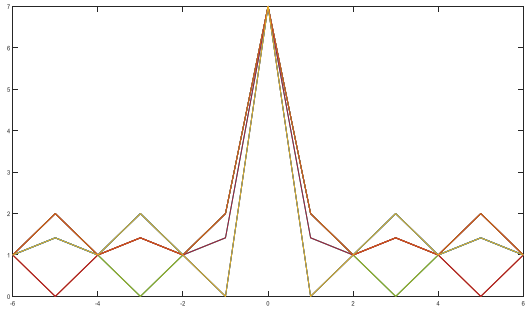


Рисунок 1 – Графики корреляционных функций четвертичных сигналов первого типа, обеспечивающих достаточное подавление боковых лепестков

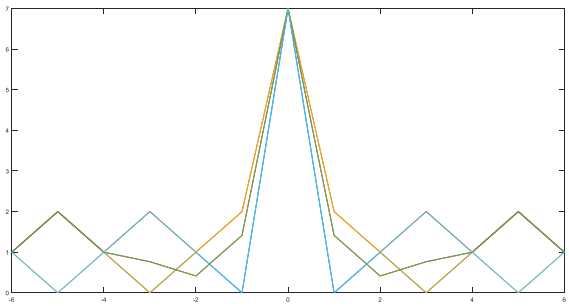


Рисунок 2 – Графики корреляционных функций четвертичных сигналов второго типа, обеспечивающих достаточное подавление боковых лепестков

Рассмотрим четвертичные сигналы 2 типа. Произведя те же шаги для 128 последовательностей, занесем полученные значения в табл. 2, при этом выполнив замены: $e^{j\frac{\pi}{4}} = J4, e^{-j\frac{\pi}{4}} = J3$.

Таблица 2 – Последовательности четвертичных сигналов 2 типа и их корреляционные функции

№	Исходные данные							Корреляционные функции						
1	1	-1	1	1	1	1	-1	7	0	1	0	1	2	-1
2	1	1	-1	1	1	1	1	7	2	1	2	1	2	1
3	1	-1	-1	1	1	1	1	7	2	-1	0	1	0	1
4	1	-1	J4	1	1	1	-1	7	-1.4142i	0.4142	-0.2929 - 0.7071i	-0.7071 + 0.7071i	2	-1
5	1	-1	J3	1	1	1	-1	7	1.4142i	0.4142	-0.2929 + 0.7071i	-0.7071 - 0.7071i	2	-1
6	1	1	1	-1	1	1	-1	7	0	-1	2	1	0	-1

На рис.2 представлены графики корреляционных функций соответствующих сигналов.

Рассмотрим шестертичные сигналы. Для выполнения синтеза была рассмотрено 96 последовательностей дискретных сигналов. Повторяя шаги алгоритма, занесём полученные значения в табл. 3, используя значения 1; -1; J2, J1, J4, J3.

Таблица 3 – Последовательности шестертичных сигналов и их корреляционные функции

№	Исходные данные							Корреляционные функции						
1	1	-1	1	1	1	1	-1	7	0	1	0	-1	2	-1
2	1	1	-1	1	1	1	1	7	2	1	2	1	2	1
3	1	-1	-1	1	1	1	1	7	2	-1	0	-1	0	1
4	1	-1	J2	1	1	1	-1	7	-2i	-1	-1-1i	1i	2	-1
5	1	-1	J2	1	1	1	J2	7	1-1i	1i	0	1	1-1i	1i
6	1	J2	J2	1	1	1	-1	7	2	-1i	-2	1	1+1i	-1
7	1	-1	J1	1	1	1	-1	7	2i	-1	-1+1i	-1i	2	-1
8	1	-1	J1	1	1	1	J1	7	1+1i	-1i	0	1	1+1i	1i
9	1	J1	J1	1	1	1	J1	7	2	1i	2	1	1-1i	-1

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Графики корреляционных функций соответствующих сигналов представлены ниже (рис. 3).

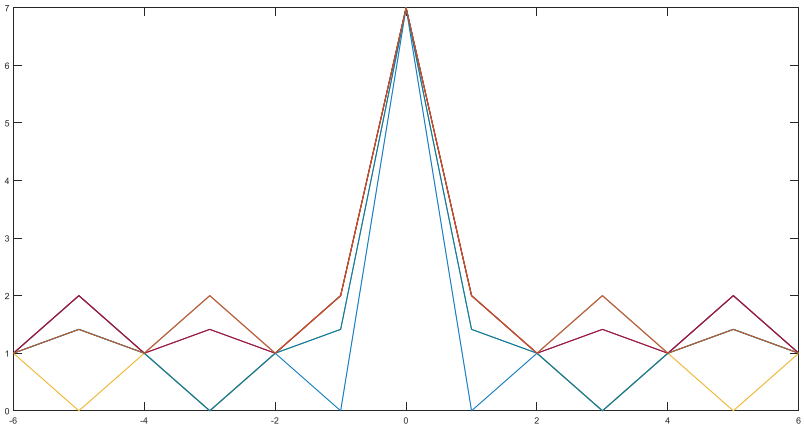


Рисунок 3 – Графики корреляционных функций шестертичных сигналов, обеспечивающих достаточное подавление боковых лепестков

Сформировав таблицу всех возможных последовательностей четвертичных сигналов первого и второго типов, а также шестертичных сигналов, был произведен анализ их корреляционных функций, в результате которого мы определили сигналы с наилучшими показателями помехоподавления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Е. Варакин. – Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985, 384с.
2. Л. Е. Варакин. – Теория сложных сигналов. – М.: Сов. Радио, 1970, 376 с.
3. Г. Велти. – Четвертичные коды для импульсного радиолокатора. – Зарубежная радиоэлектроника. 1961, №4.
4. Фрэнк. – Многофазные коды с хорошими непериодическими корреляционными свойствами. – Зарубежная радиоэлектроника. 1963, №12.

Секція 7. **МОРСЬКА ЕЛЕКТРОНІКА ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА**

УДК 681.518.5

СТРАТЕГИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ В МОРСКОМ СУДОХОДСТВЕ

Ю. С. Шевцов, к.т.н.
А. С. Кононенко, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация: *Кибербезопасность относится к безопасности информационных сетей и систем управления, а также оборудования и систем, которые обмениваются данными, хранят их и действуют на них. Чтобы снизить риски, связанные с кибербезопасностью, качеством программного обеспечения и целостностью данных, ABS предлагает набор услуг, разработанных специально для морской промышленности, которые оценивают уровни риска, связанного с киберпространством, и дают практические рекомендации по улучшению информационной безопасности.*

Ключевые слова*:информационная безопасность, кибератаки, защита, аудит, угрозы, технологии.*

STRATEGY FOR THE SECURITY OF COMPUTER SYSTEMS IN MARITIME NAVIGATION

Y. Shevtsov, D. of ph.(tech)
A. Kononenko, cadet
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *Cybersecurity refers to the security of information networks and control systems, as well as the equipment and systems that exchange, store and operate on data. To reduce the risks associated with cybersecurity, software quality and data integrity, ABS offers a suite of services designed specifically for the marine industry that assess cyberspace-related risk levels and provide practical recommendations to improve information security.*

Key-words: *information security, cyber attacks, security, audit, threats, technology*

В морском мире безопасность и защита тесно связаны. На протяжении более 150 лет Американское бюро судоходства (ABS) направляет свои усилия на содействие безопасной и эффективной торговле на море путем разработки и применения отраслевых консенсусных стандартов. Первоначально акцент делался на безопасность, но бюро применило свои технологии и знания для обеспечения безопасности путем предотвращения аварий, вызванных силами природы и человеческими ошибками. Хотя наука об этих причинах очень сложна и постоянно совершенствуется, они поддаются анализу, пониманию и прогнозированию. Благодаря преданности и усердию всех в морских отраслях, безопасность судоходства постоянно улучшалась на протяжении многих лет. Кибербезопасность вносит дополнительный элемент в уравнение безопасности: защита от преднамеренных действий, направленных на причинение вреда.

Морское сообщество пришло к пониманию того, что корабли и морские активы должны быть менее уязвимы для угроз безопасности как в море, так и в порту. Лица, совершившие такие акты, стали использовать кибератаки для ана-

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

логичных целей. Подверженность этим угрозам стала повсеместной из-за экспоненциального роста методов автоматизации - и все более автономной - которая проникла почти во все аспекты судовых и оффшорных систем активов. Поскольку эти системы управляют несколькими аспектами операций с активами, судами или платформами, они становятся неотъемлемыми частями системы и эксплуатационной безопасности.

Кибербезопасность относится к безопасности информационных сетей и систем управления, а также оборудования и систем, которые обмениваются данными, хранят их и действуют на них. Кибербезопасность охватывает системы, корабли и оффшорные активы, но включает в себя третьи стороны - субподрядчиков, техников, поставщиков - и внешние компоненты, такие как датчики и аналитические системы, которые взаимодействуют с сетями и системами данных. Это включает в себя человеческое взаимодействие экипажей и другого персонала компании, клиентов и потенциальных игроков угрозы. В такой динамичной системе кибербезопасность представляет собой развивающийся набор возможностей внутри компании, который развивается и адаптируется по мере развития технологий и угроз.

Американское бюро судоходства (ABS) предлагает набор услуг, разработанных специально для морской промышленности, которые позволяют оценивать уровни риска, связанного с киберпространством, и дают практические указания относительно путей улучшения. Чтобы определить риски, связанные с кибербезопасностью, ABS предлагает такие подходы оценки, как: многоуровневый подход оценки безопасности и метод сравнения информационных технологий и операционных технологий.

К многоуровневому подходу относится:

• понятие киберугрозы, как реальной;

• формирование культуры перемен посредством повышения осведомленности и обучения персонала;

• интеграция мер кибербезопасности в обычные операции по обеспечению безопасности;

• проведение корпоративной политики и привлечение членов экипажа к ответственности;

• обеспечение безопасности канала VSAT;

• внедрение полностью управляемого решения безопасности;

• создание VLANS для разделения использования корпоративных ресурсов, групп и клиентов;

• введение ограничений с помощью фильтрации содержимого;

• планирование аудитов сети судов;

• обеспечение непрерывного обучения и обучения по постоянно меняющимся угрозам;

• тесное сотрудничество с поставщиком услуг.

Сравнение информационных и операционных технологий показано на рис.1.

Рисунок 1 – Сравнение информационных и операционных технологий

Заключение: Управление рисками для судовых и морских активов и систем должно сосредоточиться на функциональном обеспечении в значительной степени автоматизированных и интегрированных систем; продуманном проектировании систем данных и управления, включая оценку рисков по всем функциональным и операционным зонам безопасности; тщательном тестирование аппаратного, программного и интеграционного интерфейсов; мониторинге производительности с использованием показателей целостности и безопасности; измеримом восприятии безопасности и соответствия с использованием комбинированной ситуационной осведомленности и поддержки принятия решений.

Риски могут быть незначительными, но могут быть каскадными, а тщательная разработка системы - лучшая защита от непредвиденных последствий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Maritime Cybersecurity and the Last 44,000 Miles. Cris DeWitt| December, 2016 International Workboat Show, New Orleans

2. ABS CyberSafety™, 27 July 2016 SOCP Webinar, John Jorgensen Director, Cyber and Software American Bureau of Shipping

УДК 621.382

СЕНСОРЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ОХРАНЫ СУДНА

И. М. Викулин, доктор физ.-мат. наук, профессор,
В. Э. Горбачев, кандидат техн. наук, доцент,
Н. С. Михайлов
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Предложена схема релаксационного генератора на стандартном однопереходном транзисторе в качестве сенсора магнитного поля с частотным выходом для цифровых навигационных систем. Экспериментально подтверждено, что включение в схему генератора дополнительного магнитодиода увеличивает чувствительность в 2,3 раза по сравнению с однотранзисторным сенсором и повышает устойчивость к внешним воздействиям.*

Ключевые слова: *магниточувствительность, сенсор с частотным выходом, термостабильность, радиационная стойкость*

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

MAGNETIC FIELD SENSORS FOR ELECTRONIC SHIP SECURITY SYSTEMS

I. M. Vikulin, Dr. of Science, Professor,
V. E. Gorbachev, Candidate of Science, Docent,
N. S. Mykhailov,
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *A relaxation generator circuit based on a standard unijunction transistor is proposed as a magnetic field sensor with a frequency output for digital navigation systems. Is being experimentally confirmed that the inclusion of an additional magnetodiode in the generator circuit increases the sensitivity by 2.3 times compared with a single-transistor sensor and increases resistance to external influences.*
Key-words: *magnetosensitivity, sensor with frequency output, thermal stability, radiation resistance.*

Современное бурное развитие концепции «Беспилотного судоходства» предполагает наличие повсеместной сенсорной сети и сети исполнительных устройств. Одним из ограничивающих факторов этого развития являются потребление энергии системой датчиков. Поэтому исследования по созданию высокоэкономичных датчиков физических величин актуальны в настоящее время [1].

Магниточувствительные приборы нашли широкое применение как в сетях исполнительных устройств в качестве бесконтактных переключателей, бесколлекторных электродвигателей постоянного тока, так и в сенсорных сетях датчиков различных величин (давления, перемещения, частоты оборотов вала и т.д.), в системах электронного зажигания. Особое внимание занимают современные исследования по созданию высокоточных электронных компасов [2, 3] систем навигации.

До сих пор самыми распространенными магнитоприборами являются датчики Холла [4, 5]. Однако они потребляют значительную энергию, а чувствительность этих элементов невелика, что требует применения дополнительных усилителей, а для сопряжения датчика с цифровыми сетями навигационной системы требуется аналогово-цифровой преобразователь. Кроме того, показания таких приборов зависят от внешних факторов, таких как температура и ионизирующее излучение и требуют дополнительных электронных схем для компенсации таких воздействий. Вместе с тем, датчик судовой сенсорной сети должен потреблять мало энергии, иметь малые размеры, высокую чувствительность и быть стойким к внешним воздействиям.

Целью настоящей работы является экспериментальная проверка возможности использования схемы релаксационного генератора, собранного на стандартном однопереходном транзисторе в качестве высокочувствительного сенсора магнитного поля с частотным выходом для цифровых навигационных систем.

Магнитодиоды (МД) являются одними из первых типов магниточувствительных полупроводниковых приборов получивших широкое практическое применение. МД представляет собой p^+-n-переход с длинной базой n-типа проводимости (рис. 1), на боковой поверхности которой расположена s-область с высокой скоростью рекомбинаций инжектированных носителей заряда.

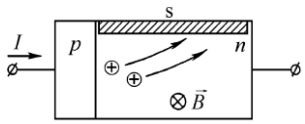


Рисунок 1 – Структура МД

При включении МД в прямом направлении инжектированные из p^+-n-перехода дырки разделяются на два потока: один к s-области, где дырки рекомбинируют с электронами, а второй к омическому контакту n-базы. Сопротивление МД полностью определяется концентрацией дырок заполняющих базу, длина которой выбирается равной длине диффузии дырок.

При работе в качестве датчика магнитного поля через МД пропускается ток I и измеряется падение напряжения на нем

$$U = I\,(R_0 \pm \Delta R), \qquad (1)$$

где R_0 – сопротивление МД при индукции магнитного поля $B = 0$, а ΔR – изменение сопротивления во внешнем магнитном поле перпендикулярного к току направления. При прямом направлении магнитного поля от наблюдателя $\otimes B$ (рис. 1) на инжектированные дырки действует сила Лоренца, отклоняющая их в сторону s-области, где они рекомбинируют на поверхностных состояниях. Соответственно, концентрация дырок в базе уменьшается, а ее сопротивление увеличивается, что соответствует знаку «плюс» в (1). При обратной полярности магнитного поля к наблюдателю $\odot B$ поток дырок будет отклонятся от s-области к омическому контакту n-базы, скорость рекомбинации снизится и сопротивление базы уменьшается, а в формуле (1) знак «плюс» меняется на «минус». Магниточувствительность характеризуется величиной $\gamma = \Delta U / \Delta B$.

Особый интерес для цифровых навигационных сетей представляют датчики с частотным выходом [6]. Эти устройства имеют ряд преимуществ по сравнению с преобразователями с токовым выходом, таких как возможность прямого соединения с цифровыми системами без АЦП, относительно низкая стоимость, высокая чувствительность, возможность работы в условиях повышенного уровня электромагнитных помех, в результате помехозащищенности частотно модулированного сигнала.

У сенсоров на основе генератора на однопереходном транзисторе (ОПТ) выходным параметром является частота генерируемого сигнала как функция измеряемого воздействия [7]. ОПТ представляет собой пластину полупроводника с омическими контактами на концах ($Б_1$ и $Б_2$) и эмиттерным p-n-переходом (Э) между ними. Входная вольтамперная характеристика цепи Э-$Б_1$ имеет участок отрицательного дифференциального сопротивления S-типа и характеризуется напряжением включения $U_В$ и остаточным напряжением $U_О$.

Схема генератора релаксационных колебаний в качестве сенсора магнитного поля представлена на рис. 2. Сенсор магнитного поля с частотным выходом может быть собран на одном ОПТ транзисторе, если в качестве нагрузочного элемента в цепи эмиттера используется простой резистор, через который заряжается конденсатор C.

При этом конденсатор C заряжается до напряжения $U_В$, эмиттер включается и конденсатор разряжается до напряжения $U_О$, затем период повторяется. Частота колебаний генератора f определяется как

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

$$f \approx \frac{I}{C(U_B - U_O)} \quad (2)$$

где I – ток зарядки конденсатора (в режиме генератора тока), U_B – напряжение включения, а U_O – остаточное напряжение генератора.

Цепь Э-Б$_1$ не отличается от любого p–n-перехода с длинной базой и точно так, как для МД, при включении магнитного поля инжектированные в базу ОПТ носители заряда будут отклоняться силой Лоренца к поверхности и рекомбинировать там на поверхностных состояниях, из-за чего сопротивление базы ОПТ будет возрастать, а значит, будет увеличиваться остаточное напряжение U_O на ОПТ, что в соответствии с (2) приводит к росту частоты колебаний генератора f.

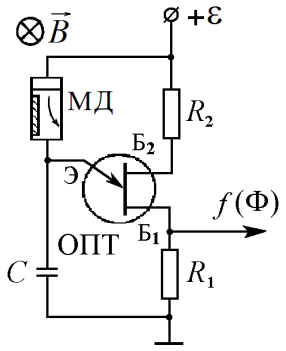


Рисунок 2 – Схема сенсора на основе ОПТ с МД

Экспериментальная проверка работы однотранзисторного сенсора осуществлялась с использованием ОПТ типа КТ117. На рис. 3 (кривая 1) показана зависимость частоты от магнитной индукции при C = 0,01 мкФ и ε = 20 В для сенсора с эквивалентным сопротивлением R вместо МД (рис. 2). Магнитная чувствительность такого сенсора составляет 34 Гц / Тл.

Однако если в цепь эмиттера включить МД, как это показано на рис. 2, то при указанном направлении магнитного поля, инжектированные в базу МД носители заряда, будут отклоняться силой Лоренца от поверхности к омическому контакту базы МД. Из-за этого сопротивление базы МД будет уменьшаться, а протекающий через МД ток зарядки конденсатора I будет увеличиваться, что в соответствии с формулой (2) приведет к дополнительному увеличению частоты колебаний генератора f. Таким образом, магниточувствительность сенсора увеличится.

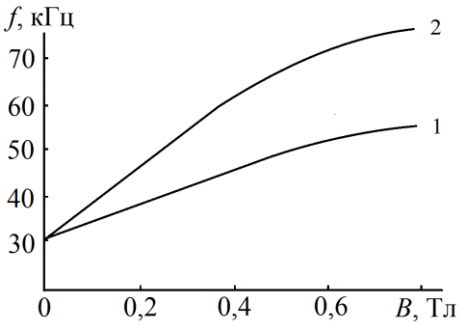


Рисунок 3 – Зависимость выходной частоты сенсора на основе ОПТ и МД от магнитной индукции

При экспериментальных измерениях использовались рассмотренные выше МД. На рис. 3 (кривая 2) показана зависимость частоты от магнитной индукции (C = 0,01 мкФ, ε = 20 В) для сенсора с МД. Добавление в схему генератора дополнительного МД увеличивает его чувствительность до 78 Гц / Тл.

Более того, увеличение температуры или радиационное воздействие практически в одинаковой степени будет увеличивать сопротивление базы и ОПТ и МД, что приведет к росту остаточного напряжения U_O на ОПТ и уменьшению тока зарядки конденсатора I, который протекает через МД. А в соответствии с соотношением (2) видно, что увеличение остаточного напряжения U_O будет компенсироваться уменьшением тока I.

Таким образом, замена сопротивления в цепи эмиттера ОПТ на магнито-

диод обеспечивает не только рост магниточувствительности, но и приводит к росту помехоустойчивости сенсора, что часто для практических применений сенсора важнее.

Выводы. Получена экспериментальная зависимость выходной частоты от магнитной индукции внешнего поля для сенсора на основе ОПТ в схеме релаксационного генератора в комбинации с МД. Применение МД увеличивает магнитную чувствительность сенсора с частотным выходом в 2,3 раза по сравнению с однотранзисторным датчиком. При этом, сенсор обладает повышенной термостабильностью и радиационной стойкостью. Описанный сенсор может быть использован в качестве цифрового чувствительного элемента компаса системы навигации судна, поскольку в его конструкции используется только стандартная элементная база, он легко интегрируются в цифровые сети и весьма энергоэффективен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vikulin I. Economical transducers of environmental parameters to a frequency for the end devices of IoT // V. Gorbachev, A. Gorbacheva, V. Krasova, S. Polakov // Proceedings of 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT'2017). 4–7 July 2017, Lviv, Ukraine, – 2017, – P. 35-40.

2. Luong V. S. A novel CMOS transducer for giant magnetoresistance sensors / C.C. Lu, J.W. Yang, J.T. Jeng // Review of Scientific Instruments. – 2017. – Vol. 88. – No. 2:025004. – P. 1-7.

3. Luong V. S. Exchange Biased Spin Valve-Based Gating Flux Sensor / N.A. Tuan, N.A. Tue // Measurement. – 2018. – Vol. 115. – P. 173-177.

4. Zhang Y. Low-Frequency Noise of Magnetic Sensors Based on the Anomalous Hall Effect in Fe-Pt Alloys / Q. Hao, G. Xiao // Sensors. – 2019. – Vol. 19. – No. 16:3537. – P. 1-6.

5. Singh R. Thermal stability of NDR-assisted anomalous Hall effect based magnetic device / R. S ingh, Z. Luo, Z. Lu, et al. // Journal of Applied Physics. – 2019. – Vol. 125. – No. 20:203901. – P. 1-8.

6. He G. Pico Tesla magnetic tunnelling junction sensors integrated with double staged magnetic flux concentrators / G. He, Y. Zhang, L. Qian, et.al. // Applied Physics Letters. – 2018. – Vol. 113. – No 24:022402. – P. 1-5.

7. Викулин И.М. Частотные микроэлектронные сенсоры на основе одноперехoдного транзистора / И.М. Викулин. Ш.Д..Курмашев. Л.Ф..Викулина, В.И. Стафеев // Радиотехника и электроника. – 2014. – Т. 59. – № 3. – С. 296-304.

УДК 629.5.02-024.87

ПРИНЦИП ОРГАНІЗАЦІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ АВТОНОМНИМИ НАДВОДНИМИ СУДНАМИ

Р. М. Лук'яненко, курсант
С. А. Михайлов, д.т.н., професор
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: *На сьогоднішній день розглядається світовий досвід створення суден, обґрунтованих на безпілотних технологіях, описуються конструктивні технології по формуванню навігаційних систем автономних надводних суден, що дозволяють здійснювати управління судном як оператором на відстані, так і автономно, без участі людини. Особлива увага в роботі приділена особливостям реалізації автономного режиму управління безпілотним судном і режимі управління на відстані.*

Ключові слова: *Автономна навігаційна система, фільтр Кальмана.*

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

THE PRINCIPLE OF ORGANIZING REMOTE CONTROL OF UNMANNED SHIPS

R. M. Lukyanenko, cadet
S. A. Mikhailov, Doctor of technical Sciences, Professor
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *today, the world experience in creating ships based on unmanned technology is considered, constructive technologies for the formation of navigational systems of unmanned vessels are described that allow the ship to be operated both remotely by the operator and autonomously, without human participation. Particular attention is paid to the features of the implementation of the autonomous control mode of an unmanned ship and the remote control mode.*
Keywords: *Autonomous navigation system, Kalman filter.*

Сьогодні автоматизація судноводіння досягла такого рівня, коли при тривалих переходах у відкритому морі в гарну погоду на вахті на містку і в машинному відділенні може перебувати один член екіпажу.

У світі розробляються проекти безекіпажних судів, проект MUNIN (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks).

В рамках проекту визначені ключові процедури для управління автономним надводним судном, розроблені основні функціональні блоки суднової автоматики, проведені перші випробування окремих функціональних блоків і підсистем автономного судна [1].

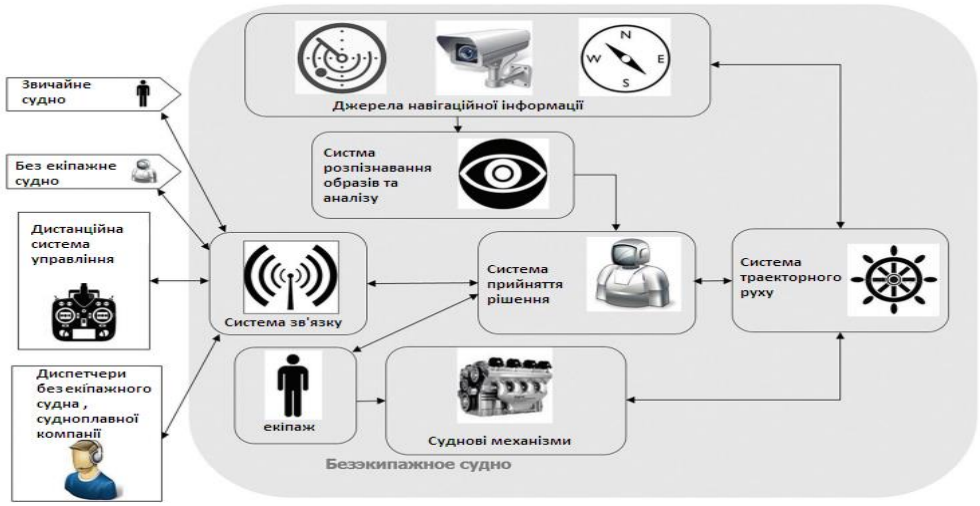


Рисунок 1 - Принципова схема управління безекіпажного судна

В якості першого кроку для створення технологій безекіпажного судноводіння запланований проект «Комп'ютерне моделювання безекіпажного судноводіння » (рис. 1). Передбачається створення віртуального середовища, в якій судноводії і експерти зможуть безпечно і економічно ефективно відпрацьовувати технології безекіпажного судноводіння, включаючи взаємодію зі звичайними судами і навігаційної інфраструктурою.

Згідно концепції архітектури автономного судна, виконання навігаційних завдань повинно здійснюватися за допомогою автономної навігаційної системи

(АНС). З точки зору автономності мореплавства автономна навігаційна система складається з наступних елементів :

1. Вбудована система прийняття рішення . Система , яка збирає інформацію з різних систем и оброблює дані та аналізує їх з подальшим прийняттям рішень.

2. Єдина система планування маршруту.

3. Система контролю дослідження по заданому маршруту.

Організацію взаємозв'язку між наведеними елементами АНС представимо у вигляді наступного алгоритму обміну даними [2].

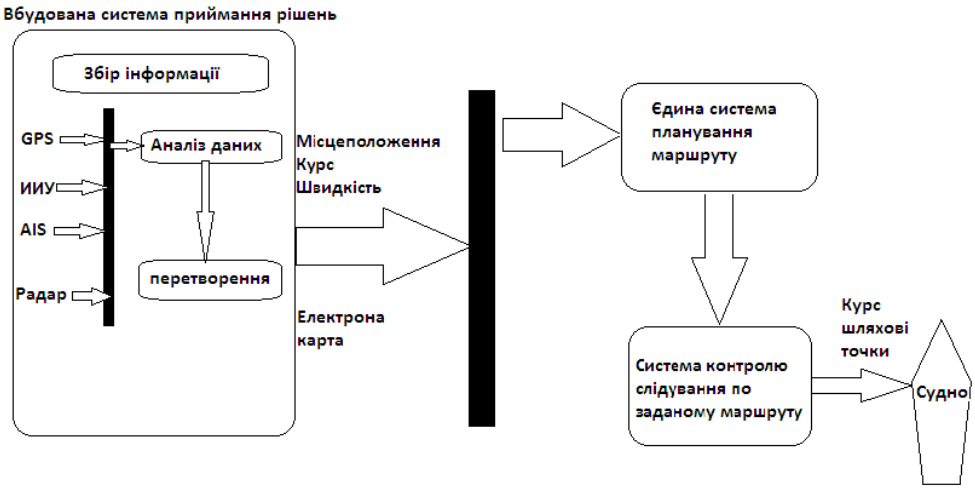


Рисунок 2 – Алгоритм обміну даних АНС

У представленому алгоритмі відбувається захоплення ,збір і перетворення даних з різних сенсорів включаючи GPS , AIS і радари. Потім в фільтрі Кальмана відбувається оцінка та аналіз зібраних даних з подальшою генерацією в інтелектуальну інформаційну навігаційну карту, яка є не просто навігаційною картою , а системою прийняття рішення по плануванню майбутнього маршруту.

Фільтр Кальмана є найбільш відомим пристроєм який застосовується в навігаційних алгоритмах в якості аналізатора лінійних систем. Однак більшість навігаційних алгоритмів є нелінійним і тому вони повинні бути приведені до лінійних, якщо використовувати розширений фільтр Калмана. Теоретично розширений фільтр Калмана (РФК) можна обґрунтувати наступним математичним апаратом. Припустимо, що модель стану системи описується нелінійними рівняннями:

$$x(k) = f\left(x-(k-1), u(k)\right) w(k-1)) \quad (1)$$

$$z(k) = h(x(k), v)(k)) \quad (2)$$

де f(x,w)-модель динамічної системи;

h(x,v)-модель виміру ;

w(k) і v(k) -випадкові похибки виконання процесу і вимірювань відповідно, імовірно незалежні похибки описуються нормальним законом розподілу і дисперсії.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Система буде аналізувати оптимальний стан застосовуючи вимірювання-це є оновленням вимірювань фільтра Кальмана. Після аналізу система оновить коваріаціонну матрицю і створить такі стан для нового прогнозування, так званого оновленням часу. Даний аналізованого-прогнозований процес використовує метод ітерації і зменшує системні похибки коваріації для отримання оптимального стану системи, в нашому випадку це судно [3].

Висновки. У світі розробляються проекти безекіпажних суден, проект MUNIN (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks). Мета - створити і перевірити концепцію автономного надводного судна, яке визначається як судно, кероване головним чином автоматичної бортової системою, але контрольоване оператором з берегової станції. Автономне судно підпорядковане автономній навігаційній системі, яка в свою чергу застсовує розширений фільтр Кальмана.

Розширений фільтр Кальмана (РФК) включає в себе наступні оновлення: оновлення вимірювань і часу. За допомогою початкового аналізу вектору стану і коваріаціонної похибки перший спрогнозований стан системи може бути розрахований за допомогою моделі стану системи включаючи коваріціонуу матрицю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks Funding Scheme. Grant Agreement number: 314286 Project acronym: MUNIN Project title: SST.2012.5.2-5: E-guided vessels: the ‘autonomous’ ship. D8.8: Final Report: Shore Control Centre Project co-funded by the European Commission within the Seventh Framework Program (2007–2013).

2. Aziz, A., & Mohamad, J. (2013), Urban public transport in Penang: Some policy considerations. In Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 9, pp. 1-19;

3. Зайцев А. И. Безпілотні технології на водному транспорті - реальність і перспективи / А. И. Зайцев, В. В. Каретников, А. А. Сикарев // Морська радіоелектроніка. —2017. — № 3(61).— С. 6–9. Выпуск 4 1157 2017 р. Том 9. № 6

УДК 681.518.5

ВИМОГИ СТАНДАРТУ МІЖНАРОДНОЇ ГІДРОГРАФІЧНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ДО КІБЕРБЕЗПЕКИ ЕЛЕКТРОННИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

С. А. Михайлов, д.т.н., професор
А. І. Чулак, курсант
Національний університет «Одеськая морська академія»

Анотація: *Розглянуто стандарти Міжнародної гідрографічної організації до кібербезпеки електронних навігаційних систем. Наведено основну теоретичну інформацію про стандарти МГО. Обгрунтовано стандарт S-63, який представляє комплекс процедур для захисту інформації, щоб карти не могли зламати, змінити або скопіювати інформацію.*

Ключові слова: *Міжнародна гідрографічна організація, S-63, електронна навігаційна карта, інформаційна безпека.*

STANDARD REQUIREMENTS OF THE INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION FOR CYBER SECURITY OF ELECTRONIC NAVIGATION SYSTEMS

S. Mikhailov, Doctor of technical Sciences, Professor
A. Chulak, cadet
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract: *The standards of the International Hydrographic Organization for cybersecurity of electronic navigation systems are considered. Basic theoretical information on IHO standards is provided. The S-63 standard is justified, which is a set of procedures for protecting information so that cards cannot break, modify or copy information.*

Keywords: *International Hydrographic Organization, S-63, Electronic Navigation Map, Information Security.*

Перші навігаційні картографічні системи відразу зацікавили моряків і міжнародні організації, відповідальні за безпеку судноводіння. У зв'язку з очікуваним від них перспективами за короткий термін була розроблена міжнародна концепція побудови навігаційних картографічний систем для морської навігації.

Існують різні ситуації, які пояснюють необхідність слідування новим стандартам:

1. Оновлення звітів про стан.

Під час інспекції капітан просить показати звіт про оновлення ЕКНІС, а також час, коли вони були зроблені. Під старим стандартом, не представляється можливість отримання повного звіту або огляду оновлень. Капітан повинен шукати цю інформацію у таблиці. Це втомлює і забирає багато часу, і може привести до помилок налаштувань ЕКНІС.

2. Захист від вірусів.

Другий помічник вставляє USB-ключ в ЕКНІС для того, щоб оновити програмне забезпечення і автоматично ініціює процес оновлення за допомогою автоматичного запуску сценарію. На жаль, USB носій був заражений вірусом від комп'ютера, на якому спочатку зберігалося оновлення.

3. Стандартизація.

Судноплавна компанія має цілий ряд різних продуктів ЕКНІС від різних виробників по всьому флоту. Дисплеї і робочі процеси сильно відрізняються. Всякий раз, коли офіцери переходять з судна на інше судно вони повинні пройти тематичні курси підвищення кваліфікації. Це дорого і забирає багато часу.

4. Сигналізація про втому.

Системи контролю дієздатності вахтового помічника капітана схильні до постійних спрацьовуванням сигналізації з ЕКНІС. Це дуже відволікає, і в кінцевому підсумку команда може просто ігнорувати сигнали тривоги в цілому.

Взаємодія Міжнародних організацій, які беруть участь у розвитку ECDIS і впровадженні цієї технології на флоті, спостерігається з моменту появи перших електронних карт і простежується до теперішнього часу. На рис. 1 наводиться схема такої взаємодії на 2004 р.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

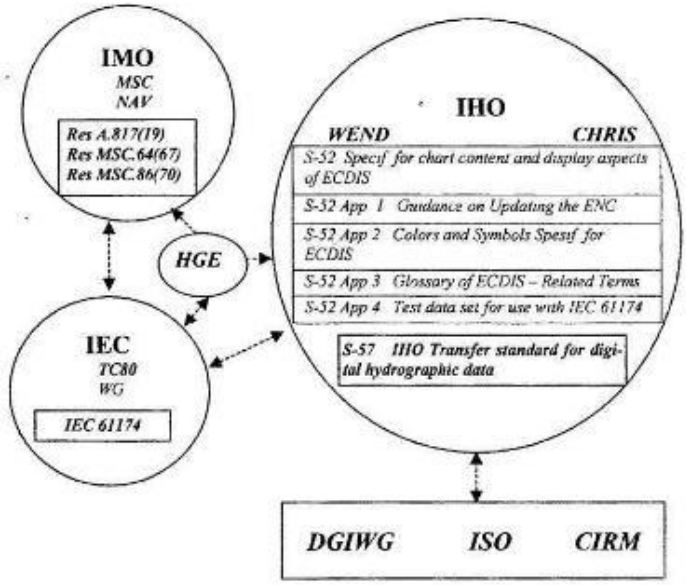


Рисунок 1 – Міжнародні організації, що беруть участь в розвитку ECDIS

Згідно представленій схемі, питаннями судноводіння і безпеки при розробці вимог до ECDIS займається підкомітет з безпеки судноводіння NAV, що входить до складу Морського комітету з безпеки MSC, який знаходиться в структурі IMO. Документ, розроблений підкомітетом NAV і прийнятий IMO в листопаді 1995 р. - «Резолюція А.817 (19). Стандарти виконання ECDIS »- з'явився основною точкою відліку у формуванні подальших вимог до ECDIS.

Питання змісту, відображення та оновлення карт знаходяться у віданні Комітету з гідрографічним вимогам до інформаційних систем CHRIS, який входить до складу Міжнародної гідрографічної організації IHO. Виданими документами є:

– S-52 «Специфікації змісту карт і відображення в ECDIS»;
– S-52 Appl «Керівництво по коректурі електронних навігаційних карт»;
– S-52 App2 «Специфікації кольорів і символів»;
– S-52 App3 «Тлумачний словник ECDIS - встановлені терміни»;
– S-52 App4 «Інформація за тестовими даними для перевірки на відповідність стандарту IEC 61174».

S-63 «Схема захисту даних Міжнародної гідрографічної організації» описує рекомендований стандарт захисту інформації електронної навігаційної карти. Він визначає конструкції безпеки і робочі процедури, яких слід дотримуватися для забезпечення належного функціонування Міжнародної гідрографічної організації захисту даних і надання специфікацій, що дозволяють учасникам створювати системи, сумісні з S-63, і поширювати дані безпечним і комерційно життєздатним шляхом. Стандарт S-63 – комплекс процедур для захисту інформації, щоб карти не могли зламати, змінити або скопіювати інформацію.

S-63 передбачає шифрування даних і дозволяє:

– упорядкувати процес поширення і передачі даних і тим самим захистити від «піратства»;

– забезпечити «виборчий доступ» до інформації бази даних ENC і дозволити застосовувати тільки ті карти, які клієнт придбав;

– забезпечити «встановлення автентичності» і гарантувати, що дані ENC отримані зі схваленого джерела.

У цьому документі описується метод захисту інформації електронних навігаційних карт (ЕНК) і підтримку цілісності служби ЕНК з декількома службами даних, що обслуговують велику клієнтську базу. Захист даних має три розділи:

1. Захист від піратства.
2. Селективний доступ.
3. Аутентифікація.

Захист від піратства і вибірковий доступ досягається за рахунок шифрування інформації ЕНК і надання дозволу осередків для їх розшифровки. Сервери даних будуть шифрувати дані ЕНК, надані країнами-виробниками, перш ніж відправляти їх клієнту даних. У схемі конкретно не розглядається спосіб захисту інформації ЕНК або системної електронної навігаційної карти, коли вона знаходиться в додатку кінцевого користувача. Це відповідальність виробника оригінального устаткування. Схема дозволяє для масової розсилки зашифрованих ЕНК на жорсткому носії і може бути використана для всіх клієнтів з діючою ліцензією, що містить набір дозволів.

Захист інформації - збереження конфіденційності, цілісності та доступності інформації.

Існує три базові принципи, які повинна забезпечувати інформаційний захист:

– цілісність даних - захист від збоїв, що ведуть до втрати інформації, а також захист від несанкціонованого створення або знищення даних;

– конфіденційність інформації;

– доступність інформації для всіх авторизованих користувачів.

Описувана структура взаємодії учасників МГО істотно підвищити рівень інформаційної безпеки конфіденційних даних учасників. Система інформаційного захисту має бути задіяна на всіх рівнях компанії від керівництва на березі і до членів екіпажу, і інтегрована з системами безпеки та охорони з метою забезпечення ефективності суднових операцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Издание S57 3.1: Стандарт передачи IHO для цифровых гидрографических данных, Международное гидрографическое бюро.

2. Вагущенко Л.Л. Судовые навигационно-информационные системы. – Одесса, Латстар, 2004. - 302 с.

3. Petersen J.R., Eriksson O.F. Putting the mariner in the picture. // The Navigator: Aids to navigation. - 2015, No. 10, p. 4 -5.

4. Sea Review: The International Maritime Journal of the Nautical Institute of Ukraine/ March, 2015. – Odessa – Ukraine.:p.40.

5. 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.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

УДК 681.58

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СУДНОВИХ ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

Р. Ю. Харченко, к.т.н.
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація: *Було виявлено, що одним з основних напрямів підвищення ефективності функціонування суднових ергатичних систем управління є впровадження сучасних інтелектуальних систем та методів моніторингу і діагностики роботи обладнання. Обгрунтований напрям дослідження - вдосконалення програмного забезпечення та впровадження сучасних інтелектуальних гібридних методів управління. Об'єктом дослідження стала система аварійної сигналізації та контролю відхилень параметрів внутрішньо-суднового атмосферного середовища.*
Ключові слова: Гібридні інтелектуальні мережі, нечіткі контролери, нейронні мережі, системи підтримки прийняття рішень, фазифікація, база знань.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF SHIP ERGATIC CONTROL SYSTEMS

R. Kharchenko, Ph.D
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *It was revealed that one of the main directions of increasing the functioning efficiency of ship's ergatic control systems is the introduction of modern intelligent systems and methods for monitoring and diagnosing equipment operation. The direction of the study is substantiated - improving software and introducing modern intelligent hybrid management methods. The object of study was the alarm system and control deviations of the parameters of the internal atmospheric environment on the vessel.*
Key-words: *Hybrid intelligent networks, fuzzy controllers, neural networks, decision support systems, fuzzification, knowledge base.*

Аналіз сучасного стану розвитку електроніки і інтелектуальних технологій дозволяє зробити висновок, який ще зовсім недавно звучав досить фантастично – 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. Враховуючи загальносвітову тенденцію провідних суднобудівників по створенню повністю автоматизованих «розумних» суден із застосуванням штучного інтелекту для постійного моніторингу всіх систем судна і своєчасне попередження і ліквідацію поломок і несправностей, актуальність роботи по підвищенню ефективності діючих систем управління з участю оператора беззаперечна. Всі необхідні технології, що дозволяють забезпечити автономне судноплавство вже існують.

Автором пропонується розглянути до застосування при експлуатації ергатичних систем на судні - 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 знання забезпечують повноту бази знань [1].

В архітектуру таких гібридних систем інтегровані, в залежності від поставленого завдання, різні інтелектуальні модулі - нейронні мережі, генетичні алгоритми, нечіткі контролери, системи підтримки прийняття рішень (СППР), 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 і розробити варіанти її запобігання [2]. Ці системи успішно реалізують досвід і знання експертів, а також мають здатність до самонавчання.

Автором розглянуто альтернативний метод експлуатації ергатичних систем управління із застосуванням інтелектуальних систем в єдиному комплексі. У запропонованому варіанті побудови такої системи функцію адаптації виконують нейронні мережі, здатні до самонавчання. Така інтелектуальна система має властивості самонавчання і адаптації.

На мою думку, область використання подібних технологій має величезні перспективи на суднах будь-яких типів, тому що сучасне судно є складним нелінійним об'єктом на якому активно впроваджуються інтегровані системи, які в комплексі вирішують завдання управління судновими технічними засобами - системи навігації, попередження зіткнень, управління рухом, забезпечення радіозв'язку, безпеки та ін. Незважаючи на великий інтерес до цих технологій і наукові напрацювання в даній області стосовно суден, даний напрямок все ще залишається слабо розвиненим, і в багатьох складних підсистемах судна управління здійснюється традиційними методами, в більшості випадків не забезпечуючи належної якості та надійності.

Традиційні підходи в розробці СППР засновані на низці теорій таких як - системний аналіз, теорія ігор, теорія ризику, теорія ймовірності і т.д. Експертні системи (ЕС) - лежать в основі таких СППР мають ряд недоліків пов'язаних з неможливістю враховувати досвід, знання і інтуїцію людини - штурмана, механіка, лоцмана, тобто експерта в даній області.

Останнім часом широке застосування і актуальність в «інтелектуальних» СППР отримують нечіткі експертні системи які імітують міркування експерта у вигляді словесних або лінгвістичних припущень, що використовують апарат теорії нечітких множин. Наприклад, логіка міркувань оператора систем мікроклімату на судні така: якщо температура повітря «висока», то температуру в системах кондиціювання необхідно зробити «нижче» і тому подібне. Це приклади нечіткої логіки - логіки, властивої людському мисленню.

З цих причин можна зробити висновок про те, що в СППР багатьох суднових автоматизованих підсистем подібні технології, засновані на нечіткій логіці, будуть дуже актуальні і можуть отримати велике поширення. Вони здатні працювати з якісною інформацією, перетворюючи і обробляючи її в чисельній формі. Основна суть таких систем полягає в формуванні кількісного рішення на базі продукційних правил. Крім того, на відміну від класичної математики і ло-

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

гіки, в апараті нечіткої логіки є проміжні оцінки, що багато в чому відповідає природним процесам. Проаналізувавши різні варіанти побудови систем управління [3] пропонується наступний вигляд структури СППР системи суднового контролю мікроклімату (ССКМ) (рис. 1).

Рисунок 1 – Структурна схема СППР судна

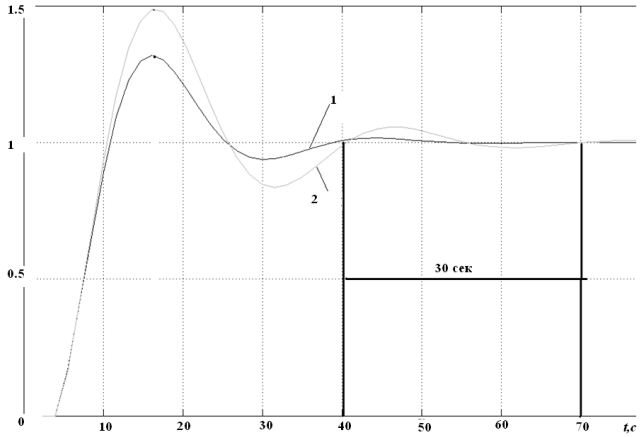


Рисунок 2 – Перехідні процеси: 1 – метод нечітких адаптивних настройок, 2 – формульних по каналу завдання (одиничний стрибок)

На цьому рисунку Z - це задана інформація від підсистем судна які входять в комплекс інтелектуального управління з адаптивними нечіткими ЕС (АНЕС). АНЕС в свою чергу виробляє сигнал для ОПР у вигляді ради S_i є функцією бази знань F від контрольованих параметрів X_j які приходить в ходовий місток по зворотному зв'язку. А функцію адаптації в АНЕС виконують нейронні мережі, здатні до самонавчання. Можна відзначити, що проведений аналіз методів інтелектуального управління стосовно до СППР судна дозволяє зробити висновок про перспективність використання нейро-нечіткої логіки для підвищення якості управління судновими автоматизованими системами. Такі інтелектуальні системи володіють властивостями самонавчання і здатністю змінюватися в залежності від обставин.

Для перевірки ефективності нечітких адаптивних і типових формульних методів налаштувань, за допомогою програми MatLab (Simulink) проводиться комп'ютерний експеримент. Перехідні процеси регулювання представлені на рис. 2.

Як видно з аналізу рис. 2, адаптивні настройки дозволяють зменшити час регулювання на 30 секунд в порівнянні з формульними, що в експлуатаційних умовах сприяє економії енергоресурсів при роботі виконавчих механізмів. Також перерегулювання при використанні нечіткого і формульного підходів становить відповідно $g^н = 23\%$, $g^ф = 33{,}3\%$. Таким чином, використання гібридної інтелектуальної системи регулювання (нечітка з адаптацією) є виправданим для підвищення ефективності суднової системи ергатичного управління енергетичними установками в цілому.

В результаті дослідження встановлено, що застосування гібридних інтелектуальних мереж дозволило вирішити завдання оптимізації процесів повітрообміну [4]. Імітаційні експерименти запропонованих моделей продемонстрували їх ефективність у порівнянні з традиційними в плані досягнення найкращих показників якості в процесі експлуатації. Розроблена система придатна для експлуатації в автоматичному або супервізорному режимі та дозволяє формувати завдання локальним вузлам, виводячи експлуатацію систем на новий рівень комфорту і дозволяє досягнути значної економії електроенергії в порівнянні з діючими. Також запропоновано систему діагностики технічного стану обладнання, яка відрізняється функцією врахування експертного досвіду і можливістю одночасного розрахунку показників надійності, що підвищує ступінь достовірності результату [5]. Експериментальним шляхом встановлено, що робота системи за допомогою апарата нейро-нечіткої логіки, в якій враховується експертний досвід та реалізуються апарат штучного інтелекту, може бути з прийнятною для практичного застосування точністю.

Висновки. На основі теорії нейро-нечіткої логіки запропоновані інтелектуальні гібридні системи управління температурою, повітрообміном і вологістю повітря в приміщеннях судна. Імітаційні експерименти запропонованих моделей продемонстрували їх ефективність у порівнянні з традиційними в плані досягнення найкращих показників якості процесів експлуатації, і наявністю можливостей урахування особистих якостей та знань експертів.

Також запропонована аварійна нечітка експертна інтелектуальна модель визначення рівня комфортності для членів екіпажу та пасажирів судна і враховує індивідуальні особливості (вид роботи, одяг і тощо) дозволяє досягти високого рівня самопочуття людей і зниження захворюваності членів екіпажу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Харченко Р. Ю. Гібридні інтелектуальні мережі для суднових систем мікроклімату : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту / Харченко Роман Юрійович ; Одеса. нац. ун-т «Одеська морська академія» – Одеса, 2018. – 255 с.

2. Харченко Р. Ю. Сравнительный анализ методов активной адаптации ПИ-регуляторов и нечетких регуляторов для систем кондиционирования и вентиляции (СКВ) морских судов/ Р. Ю. Харченко // Науковий вісник ХДМА. Науковий журнал. Херсонська державна морська академія. №2 (7) 2012 г. С. 276-286.

3. Харченко Р. Ю. Методы адаптивного регулирования в системе климатического контроля судна/ Р. Ю. Харченко //Автоматизація суднових технічних засобів, Науково-технічний збірник ОНМА. Вип. 17, 2011. С. 95-106.

4. Михайленко В. С. Нейро-нечеткие технологии в системах поддержки принятия решений/ В. С. Михайленко, Р. Ю. Харченко //Материалы международной НПК интернет конференции «Advanced Information Systemsand Technologies, AIST 2012» (Суми). – С. 144-146.

5. Михайлов С. А. Гібридна система управління параметрами мікроклімату / Михайлов С. А., Харченко Р. Ю. // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи та технології» 23 - 25 вересня 2019, – Одеса: ОНМУ, 2019. С. 122-124.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

УДК 551.509.3

ПРОГНОЗ ПОГОДЫ ПРОСТЫМИ МЕТОДАМИ

И. И. Кринецкий, инженер 1-й категории
Национальный университет «Одесская Морская академия», кафедра «Морская электроника»

Аннотация: *В статье рассказывается о том, как с помощью простых средств можно определить погоду в определенном регионе, как с помощью карт погоды, так и с помощью приема сообщений НАВТЕКС. Рассмотрен также один из используемых приемников*
Ключевые слова*: Погода, регенеративные приемники, факсимильные карты, NAVTEX.*

WEATHER FORECAST BY SIMPLE METHODS

I. Krinetskiy, chief engineer
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *The article talks about how, using simple tools, you can determine the weather in a certain region, both with the help of weather charts and with the help of receiving NATEX messages. One of the receivers used is also considered.*
Key-words: *Weather, regenerative receivers, fax charts, NAVTEX.*

Погода сопровождает нас постоянно и очень изменчива. Для определения погоды на следующие дни необходимо иметь, прежде всего, связной КВ приемник с режимом работы SSB, современный компьютер. Также Вам нужна программа JVComm32 от DK8JV, звуковая карта желательно 16-битную. Настройтесь на частоту 7880Кгц или 13880Кгц , и запустив программу JVComm32 вы можете получить карту погоды интересующего вас региона. Поверхностные синоптические диаграммы отражают реальную погоду. На диаграмме прогноза погоды можно увидеть ожидаемое размещение антициклонов, циклонов, фронтальных сторон и часто выраженные области осадков. Как правило, антициклон приносит изменение погоды, а циклон с передними сторонами, облачной и дождливой погодой, и т.д. При анализе погодных диаграмм Вы можете видеть достоверно и прогнозировать их влияние на ваше QTH. Для приема карт погоды необходимо запустить программу в режиме FAX и выбрать следующую установку: FAX > Type > 0 HF– Fax , FAX > IOC > 576 или 288, FAX > LPM > 120, 90 или 60.

На приземных картах погоды отображается фактическое состояние погоды за один из сроков наблюдения (передаются через каждые три часа). На прогностических картах погоды отображается ожидаемое положение антициклонов (Н), циклонов (Т), (рис.1) (на отечественных метеокартах они обозначаются соответственно В и Н), атмосферных фронтов, и часто связанных с ними зон осадков, которые на этих картах специально выделяются. Передаются так же карты, отображающие состояние атмосферы на различных высотах (атмосферное давление, температуру, направление и скорость ветра, и т.д.) Анализируя карты, можно видеть прогнозируемое перемещение этих метеорологических

образований, их развитие, влияние на интересующий Вас район, и, соответственно, делать свои выводы о состоянии погоды на несколько дней вперёд.

Погоду можно узнать, также приняв метеосводки в режиме телетайпа (RTTY/NAVTEX) с помощью той же программы JVComm32. Передачи RTTY ведут станции DDK2 DDH7 DDK9 из Германии в режиме 50 бод и шифтом 425 Hz на частотах 4583, 7646 и 10100.8 кГц, а также и много других RTTY/NAVTEX станций. Список частот метеостанций приведен ниже. Лично я принимаю метеосводки и бюллетени от DDK2 DDH7 DDK9 (программа 1) станций и считаю, что этого вполне достаточно для информации о предстоящей погоде в определенном пункте. Для приема в режиме RTTY необходимо запустить программу JVComm32 в режиме RTTY и выбрать следующую установку: RTTY/NAVTEX > Type > 2 Baudot 50 / 450. Затем настройтесь на RTTY метеостанцию по нулевым биениям и, вращая ручку плавной настройки приемника, добейтесь начала качественного приема сообщений.

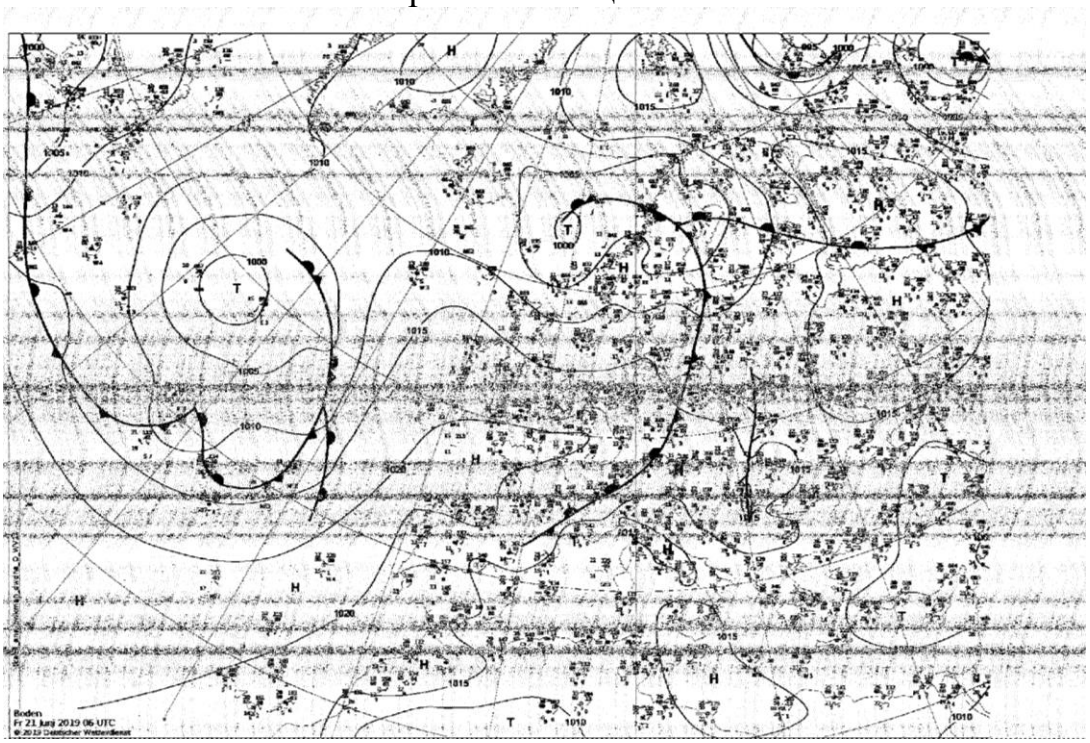


Рисунок 1 – Карта погоды – текущая погода на определенную дату

Вы также можете включить на панели программы кнопку AFC – автоподстройка частоты, кнопку REV – для смены боковой полосы приема и выбрать центральную частоту приема. Метеосводки [Synop] и [Ship] представляет собой набор цифр и знаков, каждой цифре или знаку соответствует определенный параметр погоды. Вначале передается пятизначный номер станции (район) или название судна (его позывной), далее идет собственно информация о погоде, где знак[1] / означает отсутствие какого – либо параметра. Все сообщения начинаются "ZCZC" и заканчиваются "NNN" последовательностями. С помощью программы JVComm32 теперь появилась возможность просматривать эти со-

[1] В других метеосводках, например 3-го типа знак / или // применяют как разделитель

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

общения без особых проблем. Для этого достаточно нажать соответствующую кнопку на панели программы, и Вы увидите текст погодных сообщений.

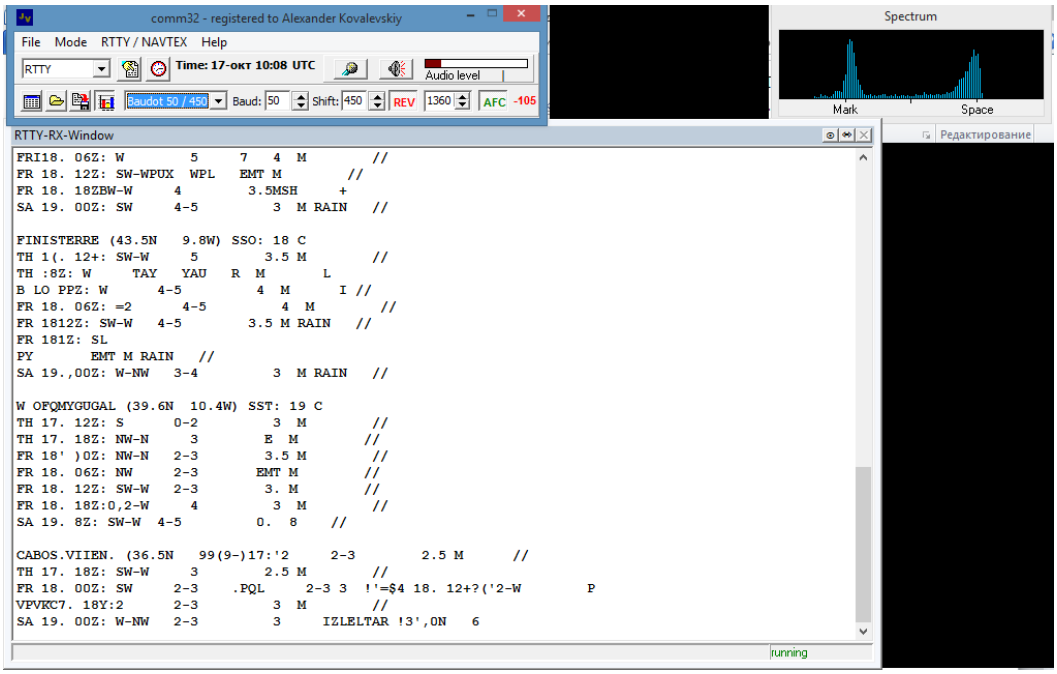


Рисунок 2 – Прием сообщений RTTY/NAVTEX с помощью программы JVComm32.

В каталогах программы можно найти полный список станций и позывных судов для всех береговых и морских регионов, где каждому 5 – тизначному номеру станции или позывному судна соответствуют определенные координаты. Сообщения о погоде, навигационные предупреждения передаются открытым текстом, поэтому Вы можете читать эти сообщения во время приема. Я разделил метеосводки на три типа, хотя их может быть и больше. Вот три типа сообщений наиболее часто предаваемых в RTTY:

1. [SYNOP] – анализ погодных условий принятых от береговых метеостанций.

2. [SHIP] – анализ погоды по принятым сообщениям с морских подвижных метеостанций.

3. Сообщения о погоде (погодные и морские бюллетени) и навигационные предупреждения.

Мною был собран регенеративный приемник по схеме одного радиолюбителя со своими доработками . Приемник работает и нормально принимает, как карты погоды, так и другие сообщения о погоде. Также отлично принимаются сигналы однополосной модуляции (ОМ), амплитудной модуляции (АМ) и телеграф. Диапазон перекрытия его составляет от 15.0 до 6.6 МГц. Схема такого приемника приведена на рис. 3. Также было добавлено:

1. Активный фильтр НЧ с регулируемой полосой пропускания 6.5–2.2 кГц

2. УВЧ по схеме ОК–ОБ

3. Полосовой входной фильтр. На программе RFSim99 был смоделирован входной фильтр для подавления вне полосных помех (Рис. 4).

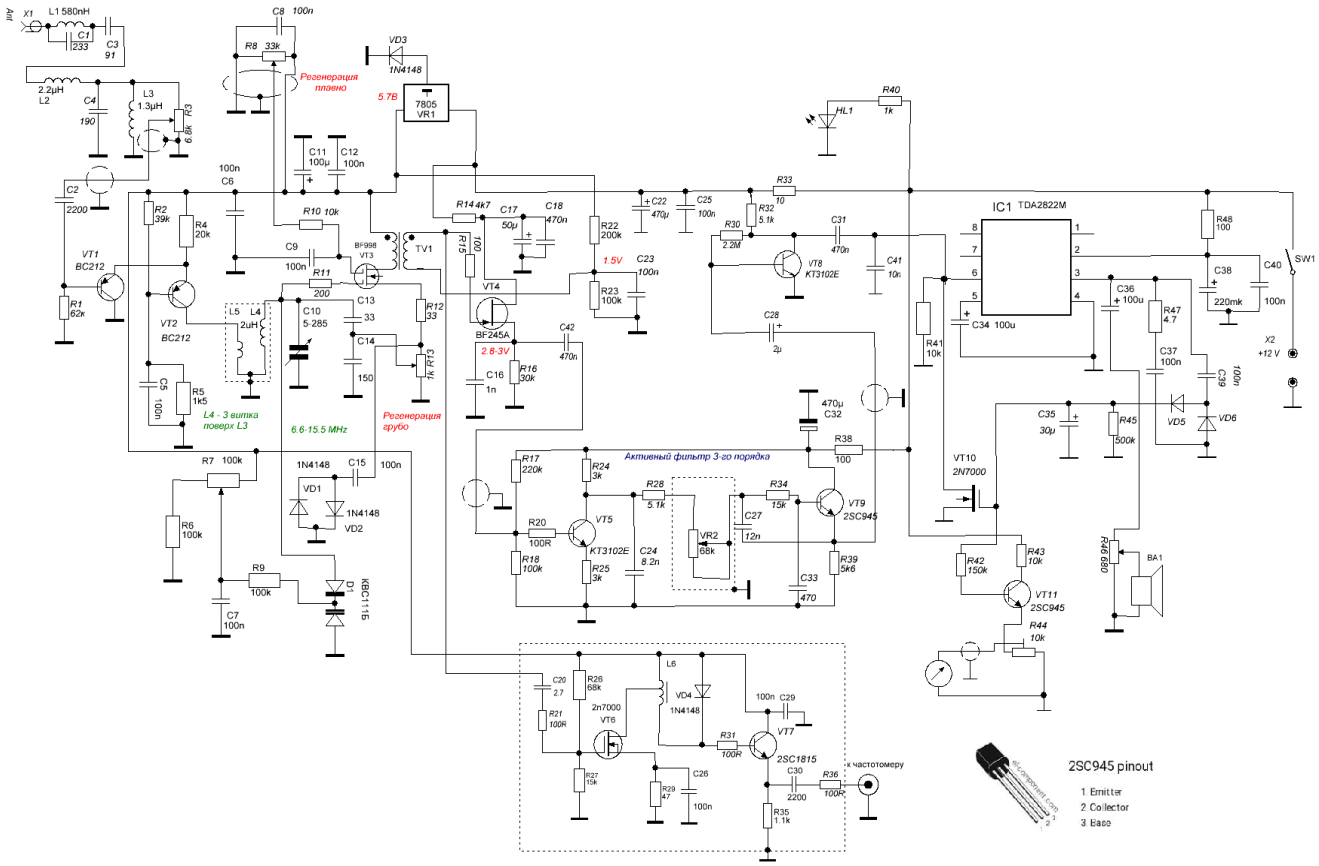
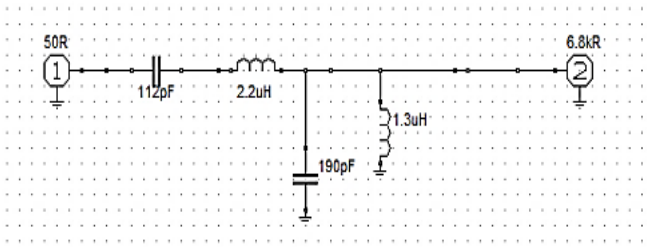
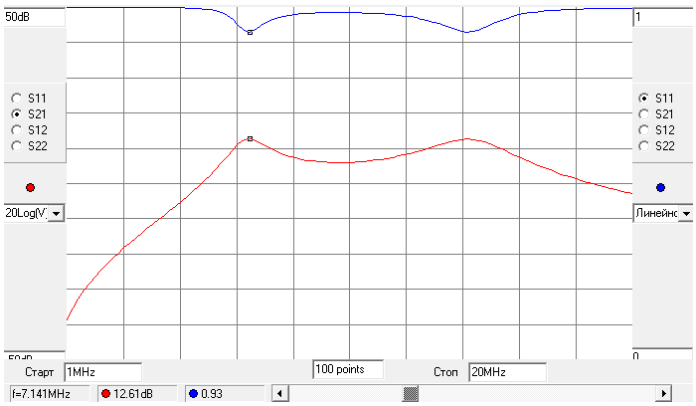


Рисунок 3 – Схема регенеративного приемника на частоты 6.6 –15.0 МГц



а)



б)

Рисунок 4 – Расчет входного полосового фильтра на программе RFSim99 (а) схема, (б) его АЧХ.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

4. УНЧ на ТДА2822М + АРУ

Стандартная схема включения микросхемы и охвачена автоматической регулировкой усиления (АРУ). На диодах выполнен детектор АРУ. Далее сигнал поступает на ПТ 2N7000, который управляет усилением НЧ. Данная цепь позволяет избежать перегрузки мощными сигналами. В тоже время позволяет нормально принимать слабые сигналы.

5. Низкочастотный активный фильтр (ФНЧ) с регулируемой полосой пропускания

Намного улучшить электрические характеристики приёмника можно, дополнив его схему низкочастотным фильтром. Существует множество вариантов схемных решений подобных фильтров - это могут быть и одно-двухзвенные ФНЧ, составленные из П-образных LC звеньев, и активные фильтры на основе операционных усилителей.

Выводы. Имея простую аппаратуру можно узнать погоду на определенную дату. Очень хорошо использовать этот метод при отсутствии мощных систем прогнозирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розов Андрей Валентинович, к.т.н. (ООО "Технический центр ЖАиС");
2. Сайт HF-FAX Image Communication. Расписание работы, частоты и многое др. - http://www.hffax.de/html/hauptteil_hffax_schedules.htm
3. Брусенцов Н.П. Микрокомпьютеры. - М.: Наука, 1985. - 208 с.
4. Завадский В.А., Михайлов С.А. Морская электроника: Учебное пособие. – Одесса: ОНМА, 2006. – 335 с.
5. В.А.Завадський, С.А.Михайлов, С.М. Дранчук. Радіотехніка і електроніка. Методичні вказівки до лабораторних робіт/ - Одеса. Одеська національна морська академія, 2003. – 72 с.

УДК 621.396.67-027.45

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНЫХ АНТЕНН ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ НАДЕЖНЫХ РАДИОСВЯЗЕЙ

И. И. Кринецкий, инженер 1-й категории
Национальный университет «Одесская Морская академия»

Аннотация: *В статье рассматривается магнитные антенны, как альтернативные и суррогатные для проведения двухсторонних радиосвязей. В данной статье будет показана используемая магнитная антенна на диапазонах КВ 10 - 40 м и рассказано о конструкции таких антенн.*

Ключевые слова*: Магнитные антенны, регенеративные приемники, суррогатные антенны*.

USE OF MAGNETIC ANTENNA FOR ESTABLISHING RELIABLE RADIO COMMUNICATIONS

I. Krinetskiy, chief engineer
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract: *The article considers magnetic antennas as alternative and surrogate for conducting two-way radio communications. This article will show the used magnetic antenna at the HF bands of 10 - 40 m and talk about the design of such antennas.*

Key-words: *Magnetic antennas, regenerative receivers, surrogate antennas.*

Магнитные рамочные антенны являются одним из интереснейших типов малогабаритных радиолюбительских антенн. Магнитные рамочные антенны впервые были использованы армией США в качестве передающих в 1967 году во вьетнамской войне. После этого магнитные рамки прочно заняли свое место среди малогабаритных антенн других типов, используемых профессионалами. Магнитные рамочные антенны часто являются единственным типом передающих антенн, которые могут быть установлены в ограниченном пространстве города. Во многих случаях магнитные рамки могут обеспечить более эффективную работу в эфире по сравнению с другими типами укороченных и суррогатных антенн.

Магнитные рамочные антенны часто являются единственным типом передающих антенн, которые могут быть применены в ограниченном пространстве города, на вагончиках нефтяников, на судах речного и морского флота. Во многих случаях магнитные рамки могут обеспечить более эффективную работу в эфире по сравнению с другими типами укороченных и малогабаритных антенн.

Теории работы магнитной рамочной антенны посвящено множество различных публикаций в радиолюбительской литературе. Классической публикацией, рассматривающей многие стороны работы магнитной рамки, конечно, является книга, написанная Ted Hart, W5QJR [1]. В отечественной литературе магнитная рамочная антенна была описана в литературе [2].

В данной статье будет показана используемая магнитная антенна (МА) на диапазонах КВ 10 - 40 м. Мною была изготовлена эта антенна на диапазоны 20-40м диаметром 1м. За основу была взята конструкция (рис.1.1) малогабаритной рамочной антенны для любительских КВ радиостанций предложенной немецким радиолюбителем DF9IV. В авторском варианте антенна работает на 10 – 30 м диапазонах. КПД на самой высокой частоте, т.е. 30 МГц – приближается к 90%. Это связано с соотношением длины (периметра) рамки к длине волны. Как известно периметр рамки ее длина l равна $l = 2 \cdot \pi \cdot R$, где R – радиус рамки и равен половине диаметра. R=D/2 и формула может быть записана в виде: $l = \pi \cdot D$.

Добротность рамки очень большая - несколько сотен, поэтому при изменении рабочей частоты ее необходимо перестраивать. Этот недостаток в известной мере компенсируется подавлением сигналов мешающих станций при приеме, а также гармоник и других побочных излучений при передаче до 35 дБ

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

для второй гармоники. Антенна имеет КСВ для всех любительских диапазонов в интервале частот 10 ... 30 МГц не превышает 1,3.

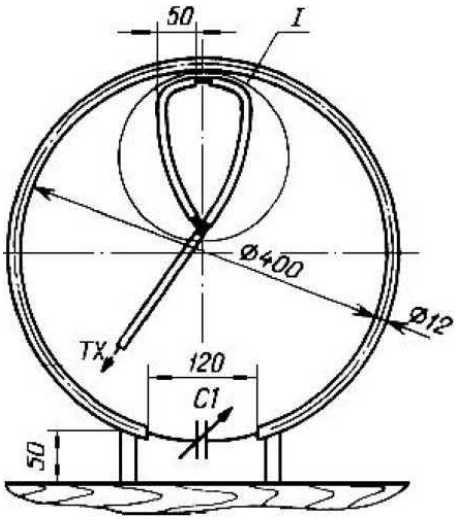


Рисунок 1.1 – Конструкция магнитной антенны

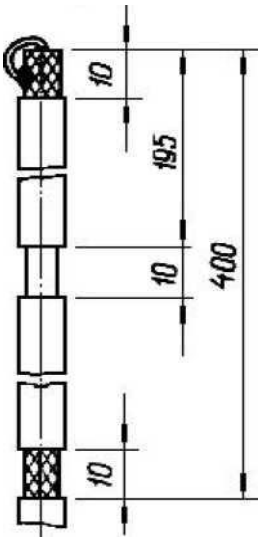


Рисунок 1.2 – Петля связи магнитной антенны

Антенна (рис. 1.1) - представляет собой незамкнутое кольцо из медной трубки, внутри которой находится рамка из медного изолированного провода сечением 8 мм^2 в изоляционной оболочке диаметр оболочки чуть меньше внутреннего диаметра трубки. Применять трубку и рамку из иных материалов не следует, иначе КПД антенны заметно понизится. Рамку настраивают переменным конденсатором C_1 его ротор через редуктор связан с небольшим электродвигателем.

Мною собранная антенна сделана из коаксиального кабеля, согласно схемы, периметром 3м или 3000 мм. Петля связи была сделана периметром 400мм согласно рис.1.2. Затем антенна была подключена к приемнику на 20м диапазон. Сама антенна находится на 8-м этаже ж/б здания. Материал кабеля конечно худших параметров, чем в авторском варианте. Однако на прием антенна работает довольно не плохо и позволяет отстраиваться от помех. У меня возникла проблема помехи от импульсного БП. Крутя в горизонтальной плоскости эту антенну, удалось найти положение минимальной помехи от этого источника, а также нашел оптимальное положение на корреспондента. Мной был заменен кабель излучателя, а также петля связи – ее размер.

Также была сделана антенна периметром 5.5 м и размещена на раме окна 8-го этажа. Она имеет форму прямоугольника со сторонами 1.1 м и 1.7м, что конечно сказывается на ее КПД по сравнению с формой кольцо. В качестве петли связи - кольцо из толстого провода 1мм диаметром. Само полотно сделано из коаксиального кабеля RG58xx – используется и оплетка и центральный проводник. Был включен измеритель ВЧ тока для точной настройки антенны.

Удались связи на 40м (7 МГц) на расстояние более 1000км. Классическая магнитная рамочная антенна имеет вид петли, которая подключена к конденсатору переменной емкости. В качестве петли (излучателя) используется труба,

толщиной от 10 до 30 мм, выполненная из меди или из сплавов алюминия. Периметр излучателя обычно находится в пределах от 0,03λ до 0,25λ. Излучатель может иметь любую форму (квадрат, треугольник, круг), наибольшее распространение получил излучатель, выполненный в форме круга.

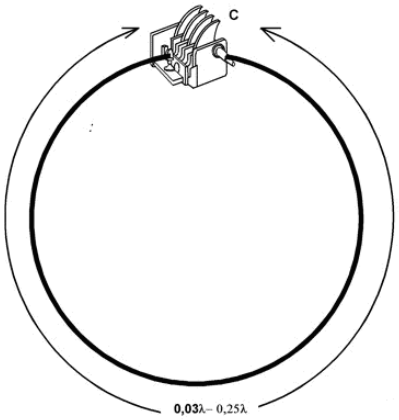


Рисунок 1.3 – Классическая рамочная магнитная антенна

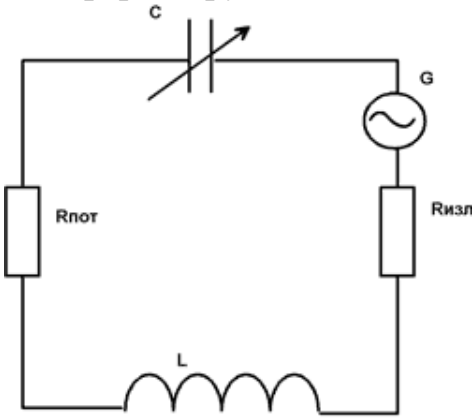


Рисунок 1.4 – Эквивалентная схема магнитной рамочной антенны

Таблица 1– Размеры магнитных антенн для различных частот.

Диапазон	Периметр “Дельты”	Высота подвеса	Периметр “МЛ ML” (диаметр излучателя)
150 м (2,0 МГц)	150 м	~40 м	12,56 м (4 м)
75 м (4,0 МГц)	75 м	~20 м	12,56 м (4 м) или 5,4 м (1,7 м)
50 м (6,0 МГц)	50 м	~13 м	12,56 м (4 м) или 5,4 м (1,7 м)
37,5 м (8,0 МГц)	37,5 м	~10 м	12,56 м (4 м) или 5,4 м (1,7 м)
25,0 м (12 МГц)	25,0 м	~7 м	5,4 м (1,7 м)
20,0 м (15 МГц)	20,0 м	~5 м	4,0 м (1,3 м)

Следует отметить, что для полноразмерных антенн требуется минимальная высота от земли ¼ длины волны в метрах. А для магнитной антенны таких высот и площадей не требуется, МА может работать прямо на земле. Эквивалентная схема магнитной антенны может быть представлена из цепи содержащей катушку индуктивности и емкости, включенные параллельно, в цепи которых последовательно включены два сопротивления. Одно из них - сопротивление потерь $R_{пот}$, второе сопротивление излучения $R_{изл}$ и генератор G – возбуждающий эту антенну. Переменный конденсатор С из эквивалентной схемы соответствует физическому переменному конденсатору магнитной антенны, показанной на рис.1.4. Катушка индуктивности L из эквивалентной схемы соответствует индуктивности петли проводника, составляющего магнитную антенну. Как видите, можно руками потрогать на реальной магнитной рамке эти составляющие эквивалентной схемы, при помощи простых приборов мы можем измерить их реальные значения.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Для работы магнитной рамочной антенны на передачу этот параллельный контур настраивают в резонанс на рабочую частоту антенны. Как известно, в этом случае реактивные сопротивления переменного конденсатора С и катушки индуктивности L равны по величине сопротивления, но противоположны по знаку. То есть, на резонансной частоте антенны сумма этих сопротивлений равна нулю, и к генератору G, возбуждающего антенну, остаются подключенными только сопротивление потерь $R_{пот}$ и сопротивление излучения $R_{изл}$.

Сопротивление потерь $R_{пот}$ и сопротивление излучения $R_{изл}$ не могут быть так просто представлены их физическими эквивалентами, их нельзя потрогать руками как это было с переменным конденсатором и катушкой индуктивности. Для реальной магнитной рамки эти величины, в общем случае, рассчитываются теоретически или определяются практически на основании некоторых специфических измерений параметров работы передающей рамки. Однако сопротивление потерь и сопротивление излучения имеют вполне определенный физический смысл, и часто используются для описания параметров магнитных рамочных антенн. Рассмотрим более подробно, что же собой представляют эти величины.

Выводы. Имея простую магнитную антенну, можно устанавливать связи на большие расстояния и отворачиваться от помех приему. Главное это чтобы материал антенны был сделан с качественного материала. От этого зависит как КПД антенны, так сопротивление ее потерь в свою очередь.

.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ted Hart, W5QJR. The Loop. Small high efficiency antennas.- Printed in the USA by Sage- American Co. ISBN 1-877992- 75-5
2. Григоров И. Н. Практические конструкции антенн. – М.: ДМК, 2000. ISBN 5- 89818- 061- 3

УДК 004.056.53

ТРЕБОВАНИЯ АМЕРИКАНСКОГО БЮРО СУДОХОДСТВА К УРОВНЯМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

С. А. Михайлов, д.т.н., профессор
А. А. Орловская, курсант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация: *в морском мире безопасность и защита тесно связаны. Кибербезопасность вносит дополнительный элемент в уравнение безопасности: защита от преднамеренных действий, направленных на причинение вреда. Коммерческие суда обычно применяют специальные меры безопасности при определенных обстоятельствах для предотвращения краж, пиратства, контрабанды или задержек. Морское сообщество пришло к пониманию того, что корабли и морские активы должны быть менее уязвимы для угроз безопасности как в море, так и в порту. Подверженность этим угрозам стала повсеместной из-за экспоненциального роста методов автоматизации - и все более автономной - которая проникла почти во все аспекты судовых и оффшорных систем активов.*

Поскольку эти системы управляют несколькими аспектами операций с активами, судами или платформами, они становятся неотъемлемыми частями системы и эксплуатационной безопасности.

Ключевые слова: *кибербезопасность, защита информации, американское бюро судоходства, уровни безопасности.*

REQUIREMENTS OF THE AMERICAN AMERICAN BUREAU OF SHIPPING TO CYBER SECURITY LEVELS

S. A. Mikhailov, Doctor of technical Sciences, Professor
O. O. Orlovska, student
National University “Odessa Maritime Academy"

Abstract: *in the marine world, safety and protection are closely related. Cybersecurity introduces an additional element to the security equation: protection against intentional acts aimed at causing harm. Commercial vessels usually apply special security measures in certain circumstances to prevent theft, piracy, smuggling or delay. The maritime community has come to understand that ships and marine assets should be less vulnerable to security threats both at sea and in port. Exposure to these threats has become ubiquitous due to the exponential growth of automation methods - and increasingly autonomous - which has penetrated almost all aspects of ship and offshore asset systems. As these systems manage several aspects of asset, ship, or platform operations, they become integral parts of the system and operational safety.*

Key-words: *cybersecurity, information security, American bureau of shipping, security levels.*

Морское судоходство было и остается одним из самых важных средств развития всемирной цивилизации. Начавшееся с незапамятных времен с парусных судов, морское судоходство стремительно развивается, сближая материки и страны, а самое главное – людей. В начале XIX века на смену парусным судам пришли пароходы – суда с паровыми машинами. В конце XIX паровые суда стали постепенно вытесняться теплоходами – судами с двигателями внутреннего сгорания. Тогда же на судах стали использовать электричество, вначале для освещения помещений, а затем для приведения в движение судовых механизмов и устройств, без которых нормальная работа судна невозможна – сейчас эти механизмы и устройства полностью электрифицированы.

Усложнялись системы управления судовыми техническими средствами – с начала 90-х годов XX века на судах появились локальные электронно-вычислительные машины (ЭВМ), а в настоящее время все без исключения судовые технические средства управляются при помощи локальных микропроцессорных систем управления, объединенных с центральной на навигационном мостике. Улучшались бытовые условия жизни моряков – отдельные каюты с санузлами и душевыми, установки кондиционера, хорошее питание, продолжительность среднего контракта 4 + 1 месяц.

Сейчас моряки доставляются на суда в любую точку земного шара самолетами, и не надо, как прежде, ждать много месяцев до прихода в базовый порт, например, Одессу, чтобы списаться с судна и уйти в отпуск. Не меняется толь-

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

ко одно – море. По статистике, ежегодно в море гибнут около 150 судов (только морских).

Одна из важнейших проблем морского транспорта заключается в обеспечении безопасности судовождения, поскольку ее решение способствует уменьшению количества аварийных случаев и, как следствие, снижению вреда человеческой жизни, окружающей среде, имуществу и производственным процессам [1].

На протяжении более 150 лет Американское бюро судоходства (АБС) направляет свои усилия на содействие безопасной и эффективной торговле на море путем разработки и применения отраслевых консенсусных стандартов. Первоначально акцент делался на безопасность, и АБС применила свои технологии и знания для обеспечения безопасности путем предотвращения аварий, вызванных силами природы и человеческими ошибками. Хотя наука об этих причинах очень сложна и постоянно совершенствуется, они поддаются анализу, пониманию и прогнозированию. АБС поддерживает морские и оффшорные сообщества, разрабатывая стандарты морской кибербезопасности, а также новые методы, ведущие к улучшению безопасности и сохранности жизни, имущества и окружающей среды.

Кибербезопасность относится к безопасности информационных сетей и систем управления, а также оборудования и систем, которые обмениваются данными, хранят их и действуют на них. Кибербезопасность охватывает системы, корабли и оффшорные активы, но включает в себя третьи стороны - субподрядчиков, техников, поставщиков - и внешние компоненты, такие как датчики и аналитические системы, которые взаимодействуют с сетями и системами данных. Это включает в себя человеческое взаимодействие экипажей и другого персонала Компании, клиентов и потенциальных игроков угрозы. В такой динамичной системе кибербезопасность представляет собой развивающийся набор возможностей внутри Компании, который развивается и адаптируется по мере развития технологий и угроз.

АБС предлагает опциональную нотацию класса CS (CS1, CS2 и CS3) для судов и морских объектов, которые соответствуют требованиям АБС. Обозначения доступны для всех классифицированных судов, соответствующих международному кодексу управления безопасностью полетов (ISM). Хотя данные обозначения не являются обязательным условием, АБС считает, что они станут полезным индикатором должной осмотрительности, применяемой владельцами для лучшей подготовки к проблемам кибербезопасности, затрагивающим суда, морские активы и связанные с ними береговые сооружения [2]. В табл. 1 приведена иерархия нотации кибербезопасности, согласно требованиям АБС [3].

Таблица 1 – Иерархия нотации кибербезопасности класса CS

Уровни кибер-безопасно-сти	Процесс управления рисками и документация процесса	Формальная программа управления рисками	Внешнее участие
CS1/ Basic	Практика управления безопасностью и рисками Компании утверждается внутренним руководством, и эти практики сообщаются в документированных политиках и процедурах ИТ и/или ОТ. Приоритетность деятельности компании в области кибербезопасности также подтверждается информированными сотрудниками, которые уполномочены и несут ответственность за постановку и управление задокументированными целями организационного риска, общие и отраслевые среды угроз, требования кибербезопасности бизнеса/миссии, и нормативные требования кибербезопасности.	Компания документирует и демонстрирует операционную/организационную приверженность ИТ и/или ОТ. Информированные о рисках, утвержденные руководством специальные процессы и процедуры определены и внедрены, и персонал имеет достаточные ресурсы для выполнения ИТ и/или ОТ. Информация о кибербезопасности неофициально передается внутри Компании.	Компания может сформулировать свои функции для поддержки или поддержания своей роли в морской экосистеме, но не формализовав и не задокументировав свое намерение или способность взаимодействовать с ИТ и делиться ими и/или внешней информацией о кибербезопасности.
CS2/ Developed	Практики управления рисками в области ИТ и/или ОТ компании официально утверждены и выражены как политики и процедуры. Практики ОТ кибербезопасности регулярно обновляются в зависимости от приложения процессов управления рисками, изменениями требований бизнеса/задачи и изменениями технологического ландшафта.	Компания демонстрирует и документирует общеорганизационный подход к управлению ИТ и/или ОТ. Политики, процессы и процедуры с учетом рисков определены, внедрены и регулярно проверяются. Деятельность кибербезопасности обеспечена ресурсами, а ответственный персонал обладает знаниями и навыками для выполнения назначенных им ролей и обязанностей по защите ИТ и/или ОТ.	Компания понимает свою зависимость от информированных агентств и партнеров и получает информацию от них, которая обеспечивает для последующего реагирования на события ОТ.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Продолжения табл. 1

CS3/ Integrated	Компания адаптирует свою практику в области ИТ и/или ОТ кибербезопасности на основе извлеченных уроков и прогнозных показателей, полученных из предыдущих и текущих мероприятий по кибербезопасности. Через процесс постоянного совершенствования, включающего в себя передовые технологии и практику кибербезопасности, Компания активно адаптируется к меняющейся среде кибербезопасности и реагирует на сложные угрозы своевременно.	Существует общекорпоративный подход к управлению рисками кибербезопасности, который использует документы, основанные политики риска, процессы и процедуры для устранения потенциальных событий кибербезопасности. Организационные функции управления рисками кибербезопасности и общая организационная осведомленность являются очевидными частями организационной культуры, основанной на понимании мероприятия и обмене информацией из других источников.	Компания имеет внутреннюю экспертизу по вопросам ИТ и/или ОТ, управляет рисками основывается на данных кибербезопасности, а также активно обменивается информацией с партнерами для подтверждения, что точная текущая информация распространяется и используется для улучшения кибербезопасности до наступления события ИТ и/или ОТ.

Анализируя деятельность АБС, можем сделать вывод, что его роль состоит в том, чтобы служить общественным интересам, способствовать безопасности жизнедеятельности, сохранности имущества и защите окружающей природной среды, прежде всего, через разработку и проверку соответствия стандартов для проектирования, строительства, эксплуатационного обслуживания морских объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кибербезопасность на флоте [Электронный ресурс] http://morvesti. ru /analitics/detail.php?ID=69792
2. Американское бюро судоходства [Электронный ресурс] http://xn--h1ahbi.com.ua/info/161-abs-american-bureau-of-shipping-amerikanskoe-byuro-sudohodstva-abs.html
3. Cybersecurity implementation for the marine and offshore industries ABS – CyberSafety, vol. 2 [Электронный ресурс] https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/251_cybersafetyV2/CyberSafety-V2-Cybersecurity-Guide-June18.pdf

УДК 629.123-8.005

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ГАЗОВИХ ДАТЧИКІВ У СУДНОВОМУ УСТАТКУВАННІ

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

Анотація: *розглянуто сучасні типи газових датчиків для суднового обладнання, розглянуто принцип дії напівпровідникових газових датчиків та їхня структура.*
Ключові слова:*датчик газу, напівпровідник,інфрачервоні, каталітичні.*

PECULIARITIES OF THE USE OF SEMICONDUCTOR GAS SENSORS IN THE SHIP's EQUIPMENT

V. A. Zavadsky, Ph.D., Professor
V. I. Zhuravel, Cadet
National University "Odesa Maritime Academy"

Abstract: *Considered modern types of gas sensors for vessel equipment, the principle of operation of semiconductor gas sensors and their structure is considered.*
Keywords: *gas sensor, semiconductor, equipment, infrared, catalytic, detector.*

Доповідь присвячена темі напівпровідникових газових датчиків,їхньому походженню та принципу дії і структурі. На сучасно обладнаних морських судах не можливо обійтись без використання датчиків газу, від яких залежить безпека судна і членів екіпажу.

Більшість газів, що перевозяться морем, вибухонебезпечні. Це означає, що при певних концентраціях суміші таких газів з повітрям можуть займатися при наявності джерела відкритого вогню. Класифікаційні суспільства вимагають наявності на судах, що перевозять зріджені гази, спеціальної системи виявлення вибухонебезпечних газів. У місцях найбільш вірогідних районів протікання газу або його скупчення повинні бути встановлені спеціальні детектори, які спрацьовують при утворенні концентрацій сумішей газів з повітрям близько 30% від НПВ.

До найбільш ймовірних місць виникнення вибухонебезпечної концентрації газів відносяться:

• райони вантажних танків (купола), райони трюмних просторів навколо вантажних танків, вантажна палуба, приміщення компресорів, різні приміщення в районі вантажної палуби, електро-моторні відділення, машинне відділення.

За способом визначення концентрації газу вони поділяються на:

• **З чутливим елементом на основі напівпровідника**-включає в себе кремнієву пластину, яка покрита окисом металу тонким шаром. При впливі газу на поверхню цієї пластини плівка окису металу поглинає його, що сприяє зміні внутрішнього опору плівки, в залежності від величини концентрації.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

- **Каталітичні датчики** – принцип дії полягає в згорянні газу і перетворенні його на вуглекислий газ і воду при проходженні повітря з високою концентрацією газу через чутливий елемент. Каталітичний датчик складається з чутливого елемента маленького розміру, який називають «сігістором», «пеллістором» або кулькою. Це котушка з обмоткою, виготовленої з платинового дроту. На неї спочатку нанесена підкладка з оксиду алюмінію, а зовнішня оболонка з родієвого каталізатора.
- **Інфрачервоні**-принцип дії полягає в тому, що дві довжини хвилі поглинаються в інфрачервоному діапазоні. Одна з хвиль вважається еталонною, а інша досліджуваною. Два джерела світла з пульсуючими променями випромінюють світло, що проходить через дві різні середовища, і повертається назад. Далі, детектор виробляє порівняння сил двох променів, на базі чого розраховується концентрація газу.
- **Напівпроводникові**-складаються з нагрівальної плівки, нанесеної на кремнієву підкладку, призначені для вимірювання концентрації сірководню.

Першовідкривачем напівпровідникових датчиків в 1962 році став японський винахідник Наойоші Тагучі, в честь якого прилад і був названий (TGS – Taguchi Gas Sensor). Напівпровідникові датчики виконані на основі плівок оксиду олова, опір яких в чистому (свіжому) повітрі дуже високий. Однак він різко знижується при попаданні на плівки вибухонебезпечних речовин (метану,пропану, CO, водню і т.д.), парів органічного походження (алкоголю, кетона, ефірного масла, бензолу і т.д.) і багатьох інших газів і домішок.

Рисунок 1 – Напівпровідникові датчики. Зовнішній вигляд.

Як чутливі елементи газових пожежних сповіщувачів найбільш перспективними є напівпровідникові сенсори. Принцип дії напівпровідникових газових сенсорів заснований на зміні електропровідності напівпровідникового газочутливого шару при хімічній адсорбції газів на його поверхні. А високу чутливість (для водню - від 0,000001%), селективність, швидкодію і дешевизну напівпровідникових газових датчиків слід розглядувати як основні їх переваги перед іншими типами пожежних сповіщувачів. Використовувані в них фізико-хімічні принципи детектування сигналів поєднуються з сучасними мікроелектронними технологіями, що обумовлює низьку вартість виробів при масовому виробництві і високі технічні і енергозберігаючі характеристики.

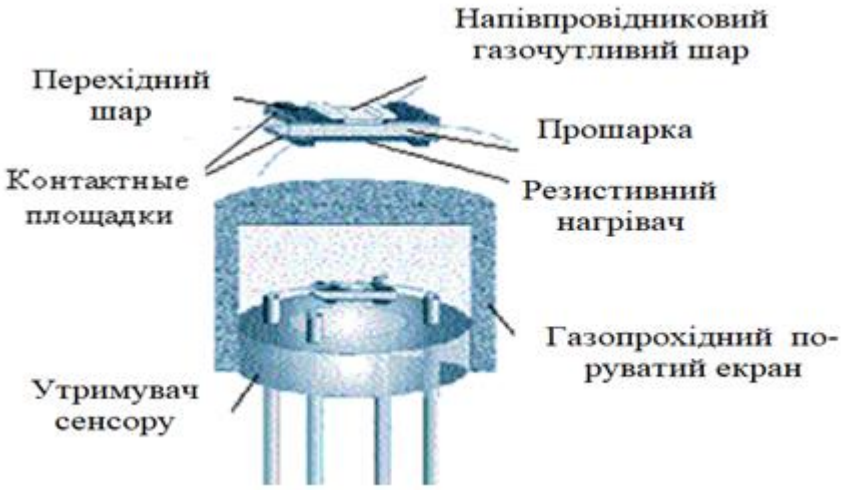
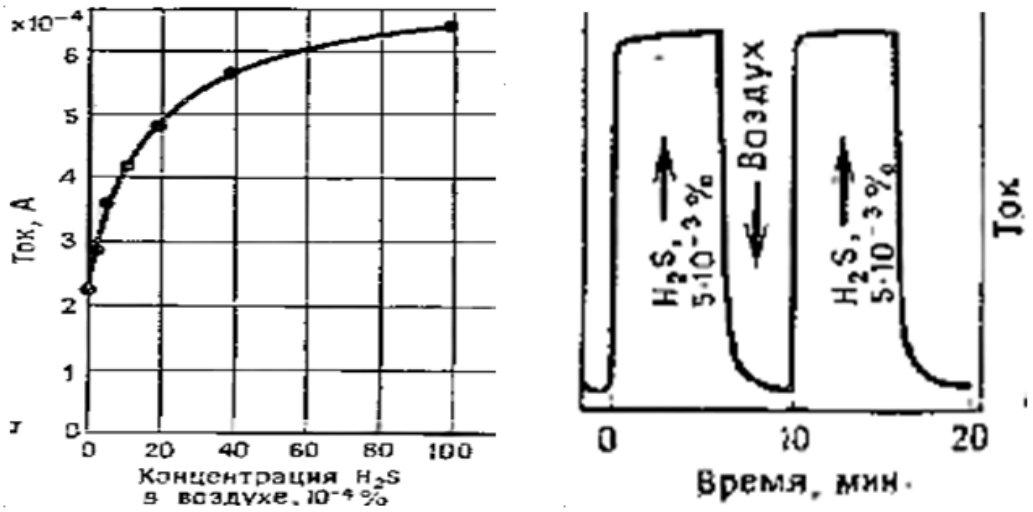


Рисунок 2 – К поясненню принципу дії напівпровідникових газових датчиків

Газові напівпровідникові датчики з високою селективністю використовуються для сірководню (H_2S). Характеристика датчика на основі нелегованого SnO_2 приведена на рис. 1. При концентрації (0 ... 20) * 10-4% H_2S в повітрі вона має круто наростаючий хід, який потім сповільнюється. Робоча температура датчика цього типу дорівнює 200 ° С, оскільки H_2S легко розкладається на поверхні діоксиду олова. Використовуючи дуже тонкі активні верстви SnO_2 товщиною близько 150 нм, отримують малі тривалості спрацьовування, що знаходяться в секундному діапазоні (рис. 3, б).



(1) (2)

Рисунок 3 – Характеристика спрацьовування газового датчика на основі діоксиду олова SnO_2 при 200 ° С: (1) - вплив концентрації H_2S, (2) - час спрацьовування датчика.

В роботі також розглянуто особливості конструкції датчику типу TGS, позначення такого датчика на схемах і спосіб його підключення, довготривала стабільність цих датчиків (рис.4).

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

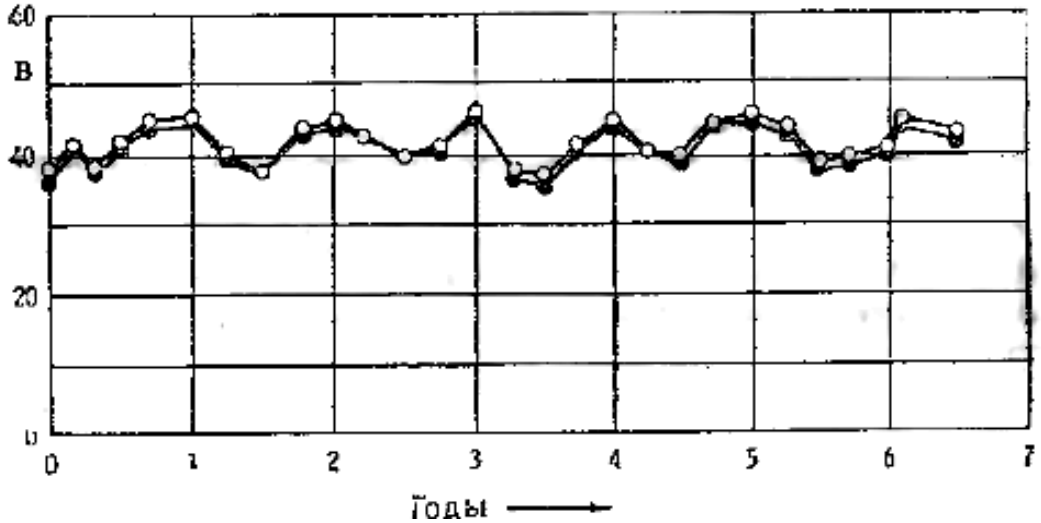


Рисунок 4 – Діаграма довготривалості напівпровідникових датчиків

В результаті роботи проведено аналіз існуючих газових датчиків. Наведено основні види, принципи дії та конструкції напівпровідникових газових датчиків на прикладі датчику типу TGS.

ЛІТЕРАТУРА

1. Завадский В.А., Дранчук С.Н. Електронні засоби і системи охорони судна / Навчальний посібник. – Одеса: ОНМА, 2009. – 123 с.
2. Завадский В.А., Дранчук С.Н. Куделькін І.Н.,Харченко Р.Ю. Електронні засоби і системи охорони судна: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт- – Одеса: ОНМА, 2013.- 39 с.
4. http://www.electronics.ru
5.https://studfiles.net
6. https://electrosam.com

УДК 004.056.57

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В БЕСПРОВОДНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА БАЗЕ ОБОРУДОВАНИЯ PHOENIX CONTACT

В. Ф. Шапо, к.т.н., доцент
Национальный университет "Одесская морская академия"

Аннотация. *Проанализированы пути внедрения современных технологий в различных отраслях промышленности. Показаны необходимые направления для углублённого изучения. Подчеркнуты актуальность и возможности применения и изучения технологий кибербезопасности. Описаны конкретные возможности беспроводного промышленного сетевого оборудования передачи данных с встроенными функциями и технологиями кибербезопасности.*

Ключевые слова: *Industry 4.0, IoT, IIoT, цифровая трансформация, e-learning, промышленная кибербезопасность.*

CYBERSECURITY ENSURING IN WIRELESS INDUSTRIAL DATA TRANSFER NETWORKS BASED ON PHOENIX CONTACT EQUIPMENT

V. F. Shapo, Ph. D, Associate Professor
National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. *Ways of modern technologies implementing in different industry branches are analyzed. Directions of deep studying are shown. Actuality and possibilities of cyber security technologies application and studying are highlighted. Concrete possibilities of wireless data transfer industrial network equipment with embedded cybersecurity functions and technologies are described.*

Keywords: *Industry 4.0, IoT, IIoT, digital transformation, e-learning, industrial cybersecurity.*

В настоящее время происходит принципиальный сдвиг в подходах по разработке, управлению и эксплуатации сложных технических систем с применением концепций Industry 4.0, IIoT (Internet of Things, Интернет вещей), IIoT (Industrial Internet of Things, Промышленный Интернет вещей). Благодаря прогрессу в беспроводных и спутниковых технологий передачи данных и массовому появлению, повышению производительности и удешевлению встроенных компьютерных систем стало возможным решение абсолютно новых инженерных задач. В промышленности множества стран массово реализуются шаги в соответствии с концепцией цифровой трансформации (digital transformation). Но современные сложные технические системы, построенные с широким использованием информационных технологий, по умолчанию весьма уязвимы к внешнему вредоносному вторжению. В результате в последние годы в различных странах произошёл целый ряд инцидентов, которые привели к технологическим катастрофам, авариям и финансовым потерям различного уровня. Эти факты подтверждают необходимость повсеместного внедрения в информационные системы организаций и предприятий аппаратных и программных средств обеспечения кибербезопасности (в т.ч. в промышленных сетях передачи данных), повышение общей культуры специалистов в этом вопросе и изучение основ технологий обеспечения кибербезопасности в учебных заведениях, в т.ч. с использованием технологий дистанционного обучения (e-learning).

В течение 2013 – 2017 г.г. сотрудники кафедры Теории автоматического управления и вычислительной техники (ТАУиВТ) Национального университета "Одесская морская академия" (НУ "ОМА") участвовали в проекте European Tempus TATU (Trainings in Automation Technologies for Ukraine, тренинги по технологиям автоматизации для Украины) [1]. В результате выполнения проекта было получено оборудование, позволяющее изучать программирование промышленных контроллеров и построение современных систем автоматизации [2-6] на базе технологий ProfiBus, ProfiNet, EtherCAT и др., в т.ч. и беспроводных технологий передачи данных.

Однако устройства, позволяющие изучать и применять технологии и протоколы кибербезопасности, в состав указанного оборудования не входят. Ниже описаны беспроводные многофункциональные устройства компании Phoenix Contact для обеспечения кибербезопасности в промышленности, т.к. большин-

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

ство устройств проекта Tempus TATU [1-6] произведены именно этой компанией, а в таком случае проще всего выполнить настройку и организовать взаимодействие устройств одного производителя друг с другом. Кроме того, имелась возможность практической работы с такими устройствами. Использование именно беспроводных возможностей передачи данных особенно актуально для задач удалённого управления сложными техническими объектами, в т.ч. морскими судами всех типов.

В настоящее время существуют два беспроводных маршрутизатора Phoenix Contact (рис. 1), имеющих также функции обеспечения кибербезопасности.

Рисунок 1 – Беспроводные многофункциональные устройства Phoenix Contact TC MGUARD RS2000 3G VPN и TC MGUARD RS4000 3G VPN

1. Многофункциональное устройство TC MGUARD RS2000 3G VPN имеет возможность работы с сетью мобильной связи. Он имеет разъём для установки карт памяти SD, поддерживает два фиксированных туннеля VPN, содержит легко конфигурируемый межсетевой экран, маршрутизатор с 1:1 NAT, 4-х портовый коммутатор Fast Ethernet, 2 разъёма для установки SIM-карт и приёмник GPS.

2. Многофункциональное устройство TC MGUARD RS4000 3G VPN также имеет возможность работы с сетью мобильной связи, содержит встроенный маршрутизатор с 1:1 NAT и 4-х портовый управляемый коммутатор. Также встроен многофункциональный интеллектуальный межсетевой экран и VPN (10 туннелей по умолчанию, поддерживается до 250 туннелей), возможен мониторинг целостности CIFS, имеется разъём для установки карт памяти SD, 2 разъёма для установки SIM-карт и приёмник GPS.

Характеристики беспроводных интерфейсов обоих устройств представлены в табл. 1. В ней используются следующие аббревиатуры: GPS – Global Positioning System (Глобальная Система Позиционирования); GLONASS – GLObal NAvigation Satellite System (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система); EGSM – Extended Global System for Mobile communications (Расши-

ренная Глобальная Система Мобильных Коммуникаций); UMTS – Universal Mobile Telecommunications System (Универсальная Мобильная Телекоммуникационная Система); HSPA – High Speed Packet Access (высокоскоростная пакетная передача данных); HSDPA – High Speed Downlink Packet Access (высокоскоростная пакетная передача при получении данных); HSUPA – High Speed Uplink Packet Access (высокоскоростная пакетная передача при отправке данных); DL – Down Link (канал приёма данных); UL – Uplink (канал передачи данных); 3GPP – 3rd Generation Partnership Project (консорциум по разработке спецификаций мобильной телефонии); CDMA – Code Division Multiple Access (множественный доступ с кодовым разделением); EVDO – EVolution Data Only/ EVolution Data Optimized (развитие и оптимизация передачи данных); CS – Coding Scheme (схема кодирования); EDGE – Enhanced Data rates for GSM Evolution (увеличенные скорости передачи данных при развитии GSM).

Таблица 1 – Беспроводные интерфейсы многофункциональных устройств ТС MGUARD RS2000 3G VPN и ТС MGUARD RS4000 3G VPN

Поддерживаемые беспроводные технологии передачи данных	Частоты, мощности сигнала, подстандарты	Скорость передачи данных
GSM, GPRS (Class 12, Class B CS1...CS4), EDGE (Multislot Class 12), UMTS (HSPA, 3GPP R6), CDMA2000 GPS, GLONASS	850/900 МГц (2 Вт, EGSM); 1800/1900 МГц (1 Вт, EGSM); 800 МГц (UMTS/HSPA B6); 850 МГц (UMTS/HSPA B5); 900 МГц (UMTS/HSPA B8); 1900 МГц (UMTS/HSPA B2); 2100 МГц (UMTS/HSPA B1); 800 МГц (CDMA2000 EVDO) 1900 МГц (CDMA2000 EVDO)	14.4 Мбит/с и менее (HSDPA) 5.7 Мбит/с и менее (HSUPA) 3.1 Мбит/с и менее (DL CDMA2000) 1.8 Мбит/с и менее (UL CDMA2000)

Оба устройства поддерживают одни и те же сетевые функции: 4 временных слота для получения данных, 4 временных слота для передачи данных. PIN-код (Personal Identification Number, персональный идентификационный номер) хранится в модеме. После исчезновения напряжения питания и его повторного появления происходит автоматический повторный дозвон и вход в удалённую сеть. В устройствах реализована поддержка стека TCP/IP, межсетевого экрана и VPN, Web-базированного управления по протоколу SNMP и применена антенна с разъёмом SMA (SubMiniature version A, реализация сверхмалого размера типа А) и сопротивлением 50 Ом. Характеристики проводных интерфейсов обоих устройств представлены в табл. 2.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Таблица 2 – Проводные интерфейсы многофункциональных устройств ТС MGUARD RS2000 3G VPN и ТС MGUARD RS4000 3G VPN

	Тип интерфейса, число и тип портов	Поддерживаемые протоколы, управление потоком данных	Формат файла и кодирование	Скорость передачи данных, кбит/с
ТС MGUARD RS2000 3G VPN	Ethernet 10/100 Base-T(X) в соответствии со стандартом IEEE 802.3u; 4 порта RJ45	TCP/IP, UDP/IP, FTP, HTTP; ARP, DHCP, PING (ICMP), SNMP, SMTP		
	V.24 (RS-232) в соответствии со стандартами ITU-T V.28, EIA/TIA-232, DIN 66259-1; 1 порт D-Sub 9	Программное рукопожатие, Xon/Xoff или аппаратное рукопожатие, RTS/CTS	UART/NRZ: 8 бит данных, 1/2 стопбит, контроль чётности: без контроля, с контролем чётности или нечётности	13
ТС MGUARD RS4000 3G VPN	Ethernet 10/100Base-T(X) в соответствии со стандартом IEEE 802.3u; 6 портов RJ45	TCP/IP, UDP/IP, FTP, HTTP; ARP, DHCP, PING (ICMP), SNMP, SMTP		
	V.24 (RS-232) в соответствии со стандартами ITU-T V.28, EIA/TIA-232, DIN 66259-1; 1 порт D-Sub 9	Программное рукопожатие, Xon/Xoff или аппаратное рукопожатие, RTS/CTS	UART/NRZ: 8 бит данных, 1/2 стопбит, контроль чётности: без контроля, с контролем чётности, или нечётности	9.6; 19.2; 38.4; 57.6; 115.2

В табл. 2 используются следующие аббревиатуры: UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (Универсальный асинхронный приёмопередатчик); NRZ – Non Return to Zero (без возвращения к нулю); RTS/CTS – Request To Send / Clear To Send (запрос на отправку / разрешение отправки); EIA/TIA – Electronic Industries Alliance/Telecommunication Industries Association, альянс электронной промышленности/ассоциация телекоммуникационной промышленности; DIN – Deutsches Institut für Normung (немецкий институт по стандартизации); ITU-T – International Telecommunication Union - Telecommunication sector (международный союз по телекоммуникациям, сектор телекоммуникаций); RS – Recommended Standard (рекомендуемый стандарт); IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers (Институт инженеров по электротехнике и электронике); DHCP – Dynamic Host Configuration Protocol (протокол динамического конфигурирования хостов); HTTP – Hyper Text Transfer Protocol (протокол передачи гипертекста); SNMP – Simple Network Management Protocol (простой протокол управления сетью); NAT – Network Address Translation (трансляция сетевых адресов); FTP – File Transfer Protocol (протокол передачи файлов); IP – Internet Protocol (межсетевой протокол); TCP

– Transmission Control Protocol (протокол управления передачей), UDP – User Datagram Protocol (протокол пользовательских дейтаграмм); ARP – Address Resolution Protocol (протокол разрешения адресов); ICMP – Internet Control Message Protocol (протокол межсетевых управляющих сообщений).

Длина кабельного соединения у обоих устройств по интерфейсу Ethernet составляет 100 м при использовании экранированной витой пары и 15 м при подключении по интерфейсу RS-232.

Целесообразно подключать устройства обеспечения кибербезопасности к контроллеру AXC 3050, поскольку это наиболее производительный контроллер среди устройств, использованных в проекте TATU [1-6].

Очевидно, что протоколы и технологии кибербезопасности, кратко рассмотренные выше, не могут быть глубоко изучены в короткое время, особенно при одновременном изучении широкого спектра протоколов и технологий передачи данных в промышленности, в т.ч. и беспроводных. Поэтому предлагается использовать многоуровневый подход, состоящий из представленных ниже этапов.

1. Основы программирования ПЛК на базе интегрированных сред разработки (ИСС) PcWorx и CODESYS, а также (в случае необходимости) ИСС иных разработчиков (наиболее популярны Siemens Simatic Step 7, Mitsubishi GX Developer, Schneider Unity Pro и т.д.).

2. Изучение таких классических промышленных технологий/протоколов, как ProfiBus, ModBus, ASI, HART и т.д.

3. Изучение таких современных и перспективных промышленных технологий/протоколов, как Profinet, ModBus TCP, HART IP, EtherCAT, etc.

4. Изучение беспроводных технологий передачи данных, базирующихся на семействе IEEE 802.11, стандартах GSM, Bluetooth, Zigbee и т.д.

5. Освоение протоколов и технологий кибербезопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Langmann R. "Workshop: The TATU Lab & smart education" [Text] /R. Langmann, Y. Makarova, L. Rojas-Peña, P. Galkin, I. Klyuchnik, V. Voropaeva, V. Pozepaev, L. Zinyuk, R. Skrypyuk, E. Shaporina, V. Shaporin, V. Shapo, S. Gorb// 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). – Madrid, 2016. – P. 400 – 402.

2. Горб С. И., Никольский В. В., Шапо В. Ф., Хнюнин С. Г. Программирование контроллеров в инструментальной среде: учебное пособие. – Харьков: Издатель ФЛП Панов А.Н., 2017. – 172 с.

3. Gorb S.I., Nikolskyi V.V., Shapo V.F., Khniunin S.H. Programming controllers in the integrated development environment: training manual. Practice. – Odessa: National University "Odessa Maritime Academy", 2017. – 164 p.

4. TATU study book. Trainings in Automation Technology for Ukraine. Editors: C. Madritsch, W.Werth. – Villach: Carinthia University of Applied Sciences, 2017. – 211 p.

5. Горб С.И., Никольский В.В., Хнюнин С.Г., Шапо В.Ф. Техническое обеспечение подготовки судовых инженеров по системам автоматизации с программируемыми контроллерами // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2016. – Вып. 22. – Одесса: ОНМА. – С. 39 – 46.

6. Горб С.И., Никольский В.В., Хнюнин С.Г., Шапо В.Ф. Методическое обеспечение технологий автоматизации на базе программируемых контроллеров // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2017. – Вып. 23. – Одесса: НУ "ОМА". – С. 30 – 36.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

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

УДК 62-83

СИСТЕМА СОГЛАСОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПАЛУБНОГО КРАНА MacGregor 30 t

В. В. Бушер, д.т.н., профессор,
С. О. Чабан, магістрант
Национальный университет «Одесская морская академия»

Аннотация. *Предложен метод согласованного управления электроприводами палубного крана, обеспечивающий демпфирование колебаний подвешенного на канате груза за счет формирования прямолинейной траектории движения груза на горизонтальной проекции, что исключает влияние на груз кориолисовой и центробежной сил и позволяет применить метод управления скоростью точки подвеса с заданным гармоническим законом отклонения каната от вертикали. Наблюдатель системы передвижения обеспечивает одновременное управление механизмом поворота, подъема стрелы с учетом изменения длины подвеса.*

Ключевые слова: *демпфирование колебаний подвешенного груза, математическая модель взаимодействия механизмов палубного крана.*

COORDINATED DECK CRANE DRIVE CONTROL SYSTEM

V. V. Busher, Dr.Tech.Sc., Professor
C. O. Chaban, Master Student

Annotation. *A method of coordinated control of electric drives of a deck crane is proposed. It provides damping of oscillations of a load suspended on a rope due to the formation of a rectilinear trajectory of the load on a horizontal projection, which eliminates the influence of Coriolis and centrifugal forces on the load and allows the method of controlling the speed of the suspension point with a given harmonic law of the deviation of the rope from vertical. The observer of the movement system provides simultaneous control of the luffing and slewing drives, taking into account the change in suspension length.*

Keywords*: damping of oscillations of a suspended load, a mathematical model of the interaction of mechanisms of a deck crane.*

1.Введение

С каждым годом увеличиваются объемы морских и речных перевозок. Важной операцией в транспортной цепи являются погрузочно-разгрузочные работы, осуществляемые причальными или палубными кранами. Регламентированная длительность цикла погрузки/разгрузки составляет 2…2.5 *min*, а операции перемещения занимают основную часть времени и поэтому определяют производительность работ. При длине подвеса 20…50 *m* механизмы горизонтального перемещения характеризуются относительно продолжительными переходными процессами из-за колебаний подвешенного на канате груза – на успокоение колебаний может затрачиваться 20…30 *s*. В связи с этим задача демпфирования колебаний груза является весьма важной.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Оптимальное по быстродействию решение задачи обеспечивает использование принципа максимума Понтрягина с учетом ограничений на управляющие воздействия, подводимые к объекту управления. Но получаемые решения с 3-, 5-кратным переключением между максимальным и минимальным значениями действующей на точку подвеса силы [1, 2] требуют точного измерения соотношения масс груза и механизма, постоянства расстояния от точки подвеса до центра тяжести груза в течение переходного процесса. При этом для расчета длительностей временных интервалов формируемого закона управления требуется учет масс каната, грузозахватного устройства. Кроме того, на механизмы горизонтального перемещения действуют различные возмущающие воздействия – ветер, трение. Сочетание ошибок определения параметров и возмущающих воздействий приводит к возникновению остаточных колебаний груза, амплитуда которых может достигать 15…30 % от максимального отклонения каната от вертикали во время пуска/торможения [3]. А требование постоянства длины подвеса в промышленных условиях налагает дополнительные требования не только к оборудованию, но и ограничивает свободу действий оператора. Для получения менее чувствительных систем используют принципы нечеткой логики, искусственные нейронные сети [4, 5]. Но для работы последних необходимы сигналы обратных связей по отклонению каната от вертикали и скорости его изменения [6], измерение которых на практике затруднительно. Успешное решение этой задачи требует применения таких законов управления, которые допускают одновременную работу нескольких механизмов (горизонтального перемещения и подъема груза), а также наименее чувствительны к ошибкам измерения параметров груза и воздействию случайных возмущений [7].

Одним из таких способов является управление скоростью точки подвеса груза по определенному закону, что исключает влияние на поведение груза соотношения масс подвижной части крана и груза [3]. Этот способ основан на изменении угла α в течение трех временных интервалов по закону, описываемому непрерывной периодической функцией, характеризующейся нулевыми начальными и конечными условиями, включая и первую производную:

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_m \left(1 - \cos\left(\dfrac{t}{T_G}\right)\right) \forall\, t \le t_1, \\ 2\alpha_m \;\forall\, t_1 < t \le t_1 + t_2, \\ \alpha_m \left(1 - \cos\left(\dfrac{t - t_2}{T_G}\right)\right) \forall\, t_1 + t_2 < t \le 2t_1 + t_2. \end{cases} \quad (7)$$

где α_m – половина угла максимального отклонения каната от вертикали, $T_G \ge \sqrt{\dfrac{lm_1}{2g\left(m_1 + m_2\right)}}$ – постоянная времени, обратная заданной угловой частоте

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

колебаний груза, $t_1 = \pi T_G$ – длительность первого и третьего интервалов, $t_2 = \frac{V_E - V_0}{2a} - \pi T_G$ – длительность второго интервала, полученная исходя из максимально допустимых усилий, развиваемых приводом перемещения $F_{\max}$, $a = \alpha_m g = \frac{F_{\max}}{2(m_1 + m_2)}$ – линейная составляющая ускорения на первом и третьем интервалах, m_1, m_2 – массы механизма и груза, V_E, V_0 – заданные конечная и начальная скорости механизма, l – длина подвеса.

Тогда ускорение груза при малых углах отклонения $(\sin\alpha \approx \alpha, \cos\alpha \approx 1)$ составит $a_2 = g\sin\alpha \approx g\alpha$, скорость груза от начального значения V_0 к конечному V_E будет изменяться по закону:

$$V_2 = \begin{cases} V_0 + at - aT_G \sin\left(\frac{t}{T_G}\right) \forall\, t \le t_1, \\ V_0 - at_1 + 2at \;\forall\, t_1 < t \le t_1 + t_2, \\ V_0 + a(t + t_2) - aT_G \sin\left(\frac{t - t_2}{T_G}\right) \forall\, t_1 + t_2 < t \le 2t_1 + t_2. \end{cases} \quad (8)$$

Учитывая, что $\alpha = \frac{s_1 - s_2}{l}$, для получения требуемого закона изменения $\alpha(t)$ скорость точки подвеса в общем случае должна удовлетворять условию:

$$V_1 = \frac{ds_1}{dt} = \frac{ds_2}{dt} + \frac{d(\alpha l)}{dt} = V_2 + \alpha\frac{d(l)}{dt} + \frac{d(\alpha)}{dt}l, \quad (9)$$

где $\frac{d(l)}{dt} = v_L$ – скорость подъема/спуска груза,

$$\frac{d(\alpha)}{dt} = \begin{cases} \frac{1}{T_G}\sin\left(\frac{t}{T_G}\right) \forall\, t \le t_1, \\ 0 \;\forall\, t_1 < t \le t_1 + t_2, \\ \frac{1}{T_G}\sin\left(\frac{t - t_2}{T_G}\right) \forall\, t_1 + t_2 < t \le 2t_1 + t_2. \end{cases} \quad (10)$$

Этот закон управления скоростью точки подвеса обладает возможностью совмещения операций горизонтального перемещения по координатам x, y и подъема груза, не требует точного измерения массы груза, величина T_G может быть выбрана, исходя из паспортных значений масс и моментов приводов перемещения. Отклонения величин масс от расчетных приводят только к измене-

нию усилий в ходе переходного процесса, колебания груза по окончании разгона и торможения отсутствуют.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка закона управления механизмами палубного крана, обеспечивающего эффективное подавление колебаний за счет формирования прямолинейной проекции на горизонтальную поверхность траектории движения груза путем согласованной работы всех электроприводов палубного крана.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

– создать математическую модель механической части крана при повороте с изменяющимся радиусом;

– получить закон взаимодействия всех крановых механизмов, обеспечивающий эффективное подавления раскачивания груза к окончанию процессов разгона/торможения.

4. Материалы и результаты исследования

В качестве объекта исследования выбран кран MacGregor Electrical Deck Crain 30 t, основные параметры которого приведены ниже.

Technical Data:

Type: GLBE 3025-2/2425gr

Lifting height H – 15m ; K – 25m

Electrical Data:

Frequency converter: Input: frequency – 3phase 50/60 Hz ; Rated voltage: 380 – 440V; Rated current – 490 A; Output: Rated voltage – 708V DC;

Hoisting drive (підйом): Rated voltage – 708V; Variable f – 3phase 0 – 100 Hz; Rated variable voltage 0 – 500 V(AC); Rated Current 210 A;

Hoisting motor: Rated voltage – 500V; Variable f – 3phase 50 Hz; Rated power – 75 kW; Rated Current – 159 A;

Slewing drive (зміна вильоту стріли): Rated voltage: – 708V; Variable f – 3phase 0 – 100 Hz; Rated variable voltage 0 – 500 V(AC); Rated Current 60 A;

Slewing motor: Rated voltage – 500V; Variable f – 3phase 50 Hz; Rated power – 18.5 kW; Rated Current – 28 A;

Luffing drive (обертальний рух): Rated voltage – 708V; Variable f – 3phase 0 – 100Hz; Rated variable voltage 0 – 500 V(AC); Rated Current 200 A;

Luffing motor (2x): Rated voltage – 500V; Variable f – 3phase 50 Hz; Rated power – 63 kW; Rated Current – 99 A;

Brake motor: Rated voltage – 380 – 440V(AC); Variable f – 3phase 50 Hz; Rated power – 0.55 kW; Rated Current – 1.3 A;

Функциональная схема системы управления на базе промышленного программируемого контроллера с сетью FieldBus приведена на рис. 1.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

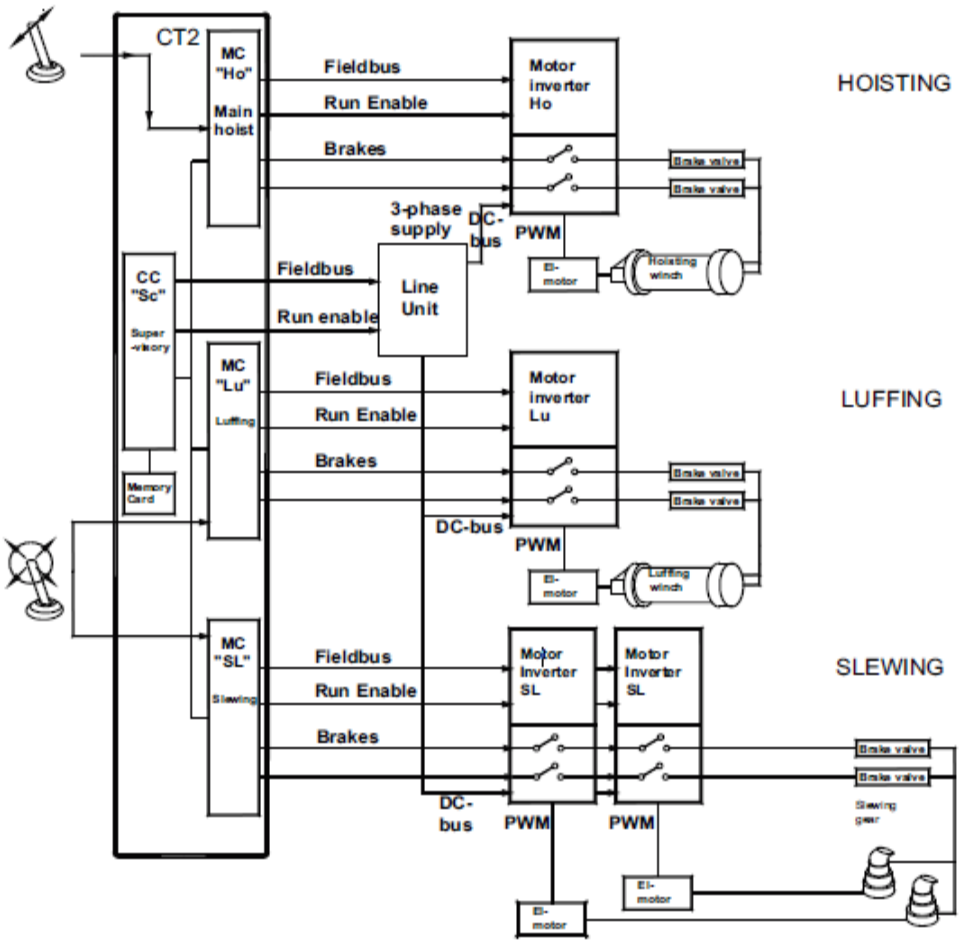


Рисунок 1 – Функциональная схема системы управления

Для обеспечения горизонтального прямолинейного перемещения из точки 1 с координатами (X_1, Y_1) в точку 2 (X_2, Y_2) необходимо преобразовать декартовы координаты закона управления в полярные $R = \sqrt{x^2 + y^2}, \varphi = \arctan(x, y)$ (рис. 2).

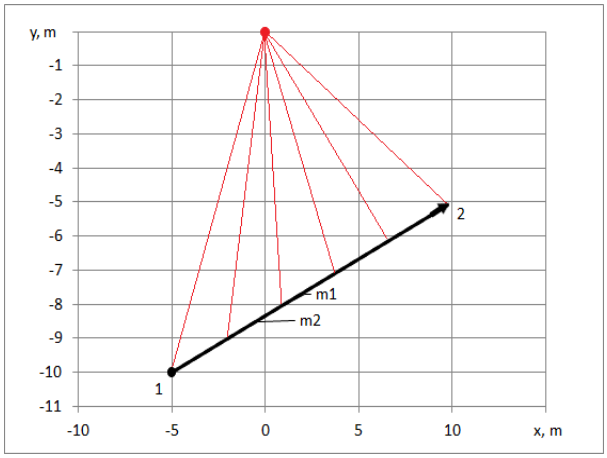


Рисунок 2 – Преобразование координат при движении груза

Далее, в соответствие с выбранным законом управления (7) – (10), необходимо сформировать законы изменения линейных скоростей (рис. 3), определить абсолютные перемещения точки подвеса в декартовых координатах и преобразовать их в полярные (рис. 4). Также с учетом изменения радиуса необходимо пересчитать изменение длины подвеса:

$$L = \left(L_1 - L_b \sin(\varphi_1)\right) + L_b \sin(\varphi)$$

и скорректировать законы изменения линейных скоростей.

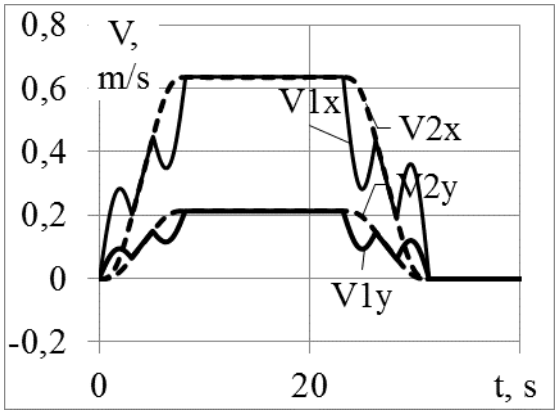


Рисунок 3 – Линейные скорости при движении крана и груза

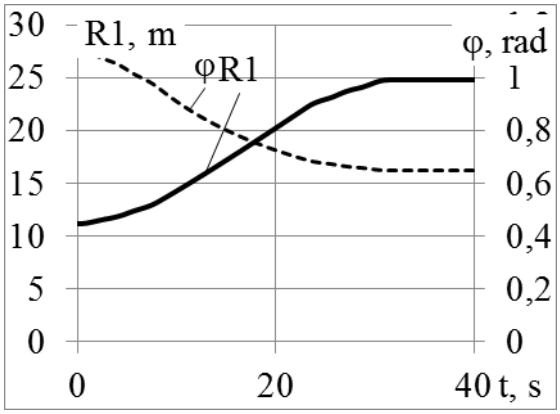


Рисунок 4 – Законы изменения радиуса и угла поворота

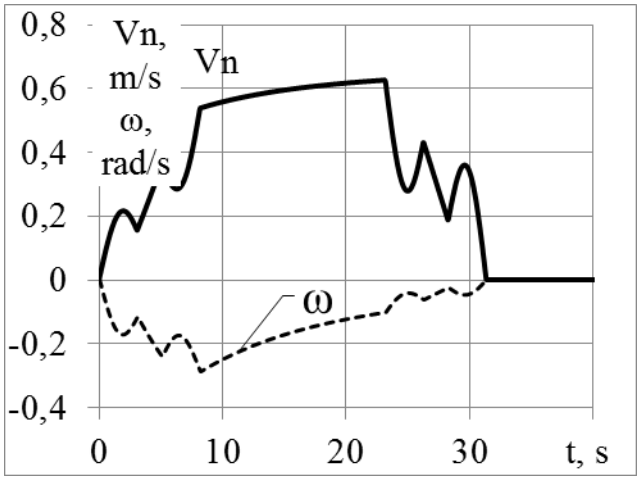


Рисунок 5 – Законы изменения скорости поворота и вылета стрелы

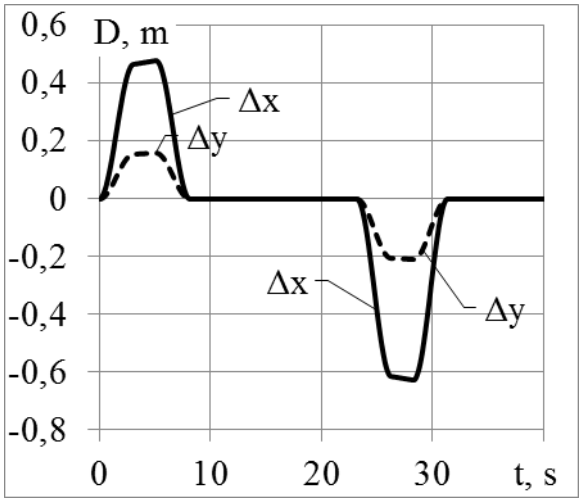


Рисунок 6 – Отклонения каната от вертикали

Затем формируются законы изменения угловой скорости поворота и изменения вылета стрелы (рис. 5). Эти действия повторяются в каждом цикле работы промышленного контроллера. В итоге к окончанию переходного процесса колебания груза практически отсутствуют (рис. 6).

5. Выводы

На основании известного способа управления механизмом горизонтального перемещения получены законы управления электроприводами поворота и подъема стрелы, обеспечивающие демпфирование колебаний груза к окончанию переходного процесса позиционирования груза.

Научная новизна предложенного решения заключается в усовершенствовании известного способа управления для палубного крана, особенностью которого является работа в полярных координатах и с изменяющейся длиной подвеса.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бушер, В. В. Анализ и сравнение различных способов демпфирования колебаний подвешенного на канате груза [Текст] / В. В. Бушер, Л. В. Мельникова // Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПИ. – 2000. – Вып. 1/2000 (8). – С. 236–240. – Режим доступа: http://aep.at.ua/load/1-1-0-353

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

2. Герасимяк, Р. П. Математическая модель электромеханической системы механизма передвижения крана с подвешенным грузом при оптимальном управлении [Текст] / Р. П. Герасимяк, В. В. Бушер, Л. В. Мельникова // Вестник Херсонского ГТУ – 2000. – Вып. 2 (8). – С. 74–76.

3. Бушер, В. В. Оптимизация управления электроприводами контейнерного перегружателя при совместной работе механизмов [Текст] / Бушер В. В., Мельникова Л. В., Шестака А. И. // Электротехнические и компьютерные системы. – 2015. – № 17 (93). – С. 23–28. – Режим доступа: http://etks.opu.ua/?fetch=articles&with=info&id=627 doi: 10.15276/etks.17.93.2015.3

4. Unbehauen, H. Klassische Verfahren zur Analyse und Synthese Linearer Kontinuierlicher Regelsysteme [Text] / H. Unbehauen, I. Regelungstechnik. – Fuzzy-Regelsysteme, 2007. – 20 p.

5. Akira, A. Anti-Sway control for overhead cranes using neural networks [Text] / A. Akira // International Journal of Innovative Computing, Information and Control. – 2011. – Vol. 7, Issue 7(B) – P. 4251–4262.

6. Kim, Y. Anti-Sway Control of Container Cranes: Inclinometer, Observer, and State Feedback [Text] / Y. Kim, K. Hong, S. Sul // International Journal of Control, Automation, and Systems. – 2004 – Vol. 2, Issue 4. – P. 435–449.

7. Miyata, N. Development of Feedforward Anti-Sway Control for Highly efficient and Safety Crane Operation [Text] / N. Miyata, M. Nishioka // Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review. – 2001. – Vol. 38, Issue 2. – P. 73–77.

УДК 629.12

АНАЛІЗ ПРОПУЛЬСИВНОЇ УСТАНОВКИ КОНТЕЙНЕРОВОЗА МІСТКІСТЮ 16000 КОНТЕЙНЕРІВ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ «PTH mode»

В. В. Бушер, д.т.н., професор
О. В. Глазєва, к.т.н., доцент
В. Ю. Пісчанський, магістрант
Національний університет «Одеська морська академія»
Камаль Хандакжі, к.т.н.
Технический университет Тафила, Иордания

Анотація. *Розглянуто один із схемних методів підвищення ефективності використання енергії в сучасних суднових пропульсивних установках на прикладі судна для транспортування контейнерів.*

Розроблений варіант модернізації пропульсивної установки забезпечує можливість збереження руху судна в особливих ситуаціях зі зменшеною потужністю за рахунок суднової електроенергетичної системи і валогенератора/двигуна. Економічна доцільність модернізації і використання PTHmode підтверджена математичним моделюванням системи «Суднова мережа - СД з векторним управлінням - Навантаження».

Ключові слова: *головний двигун, векторне управління, дизель-генератор, питомі витрати палива.*

ANALYSIS OF THE PROPULSIVE INSTALLATION OF A 16000 TEU CONTAINER SHIP IN THE IMPLEMENTATION OF «PTH mode»

V. V. Busher, Dr.Tech.Sc., Professor
O. V. Glazeva, PhD, Associate Professor
V. Yu. Pischanskiy, Master Student
National University «Odessa Maritime Academy»
K. Khandakji, PhD
Tafila Technical University, Jordan

Abstract. *One of the schematic methods of energy efficiency improvement in modern ship propulsion installations on the example of a vessel for transportation of containers is considered.*

The upgraded version of the propulsion system provides the possibility of preserving the movement of the vessel in special situations with reduced power due to the ship's power system and the generator / engine. The economic feasibility of modernization and use of PTH mode is confirmed by mathematical modeling of the system "Ship Network - Vector Controlled Space - Load".

Keywords: *main engine, vector control, diesel generator, specific fuel consumption.*

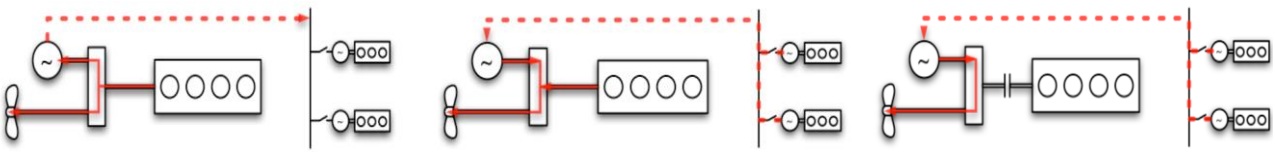
Міжнародною морською організацією ІМО проведено всебічні дослідження, які дозволяють виділити фактори зниження витрати палива на суднах і, пов'язаних з ними, шкідливих викидів, так званих Green Home Gases (GHG), які містять вуглекислий газ CO_2.

Пропонується кілька методів підвищення ефективності використання палива за рахунок впровадження електричного руху [1]:

- інтеграція систем накопичення енергії;
- впровадження розподілу постійного струму;
- оптимальне управління розподілом і використанням енергії;
- вдосконалення методів експлуатації на існуючих судах (енергетичний менеджмент).

На суднах, що знаходяться в експлуатації, підвищення ефективності використання енергії може бути досягнуто за рахунок впровадження широкого спектра дій технічного і оперативного характеру, більшість з яких, в тій чи іншій мірі, торкається суднової рушійної (пропульсивної) установки (ПУ), до складу якої входять двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Одним з головних завдань підвищення ефективності та економічності двигунів є оптимізація управління технологічними процесами ПУ, що забезпечує покращення експлуатаційних характеристик як головних (ГД), так і приводних двигунів дизель-генераторів. Найбільш пристосованими для цього є суднові дизелі з електронним управлінням [2], гібридні і комбіновані ПУ. Важливою складовою таких ПУ є синхронна електрична машина (СМ), яка встановлена в лінію гребного валу та має механічний зв'язок із ним, і може працювати як в генераторному режимі (PTO mode) (рис.1, а), так і в режимі двигуна (PTI mode) (рис.1, б) [3] .



а) Потік енергії в режимі Power Take Off

б) Потік енергії в режимі Power Take In

в) Потік енергії в режимі Power Take Home

Рисунок 1 – Схемні рішення в сучасних суднових ПУ

Дизельні двигуни працюють з найнижчими питомими витратами палива при навантаженні близько 85%. Однак на практиці ГД доволі часто працює зі зниженою частотою обертання: при проходженні вузькостей, плаванні в тумані та

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

інше. З точки зору безпеки мореплавства при цьому великого значення набуває мінімально стійка швидкість обертання ГД, що працює на гвинт фіксованого кроку. Згідно вимог правил Регістра ця величина не повинна бути нижчою за $0{,}3n_{ном}$ [4]. В той же час, чим меншою є мінімально стійка частота обертання, тим кращими вважають маневрові властивості судна. Але робота ПУ при таких низьких значеннях пов'язана з негативними наслідками: нижче певного навантаження (близько 50%) ДВЗ стає менш ефективним і забруднення всередині двигуна стає проблемою через неповне згоряння палива, що призводить до екологічних проблем і ремонтопридатності двигуна.

Для запобігання цих наслідків провідні фірми-розробники суднового обладнання пропонують в залежності від призначення судна різні схемні рішення, одним із яких є «PTH (Power Take Home) mode» (рис.1,в), при якому ГД може бути від'єднаний від гребного валу гідравлічною муфтою PSC (Propeller Shaft Clutch) [5]. Для приведення в дію гребного гвинта використовують синхронний ВГ/Д, ротор якого встановлений в лінію гребного валу (рис. 2).

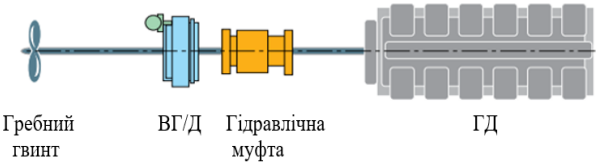


Рисунок 2 – Схемна реалізації PTH mode в одновальній ПУ

Живлення ВГ/Д, тобто в цьому випадку, гребного електродвигуна (ГЕД), від суднових допоміжних ДГ може бути здійснено через двохнапрямковий суднові перетворювач частоти (ПЧ) з активним випрямлячем. Для здійснення PTH mode система управління ПЧ – ГЕД, що на реальному судні реалізує PTO mode/PTI mode, має бути модифікована таким чином, щоб задовольняти вимогам Регістра до електричних ПУ.

Метою даної роботи є дослідження ефективності реалізації PTH mode в комбінованій пропульсивній установці контейнеровозу.

PTH mode розглянуто для суднової комбінованої ПУ контейнеровоза місткістю 16000 контейнерів «Matilda Maersk» [6].

Паспортні дані генераторів, які входять до складу суднової електростанції, представлено в [7] і в табл. 1. Значення потужності суднової електростанції в режимі маневрування (PTH mode) подано в табл. 2.

Таблиця 1 – Паспортні данні генераторів

Генератор (кількість)	Тип	Потужність, кВА	Частота обертання, об./хв.	Напруга, В	Струм, А	Частота, Гц	cos φ
ДГ (3)	«Siemens» 1DK4531-8BF05-Z	3600	1800	6600	315,3	60	0,7
ВГ/Д (1) момент інерції 3675 кг·м^2	«Siemens» 65L3710-8LG42-4AW0	3571	45-82	6600	328,5	60	0,7

Таблиця 2 – Значення потужності суднової електростанції в режимі маневрування

Параметри режиму	Режим: Маневрений
Сумарна активна потужність P_1, кВт	5057,37
Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{св.}$	0,82
Повна потужність S,кВА	6173,3

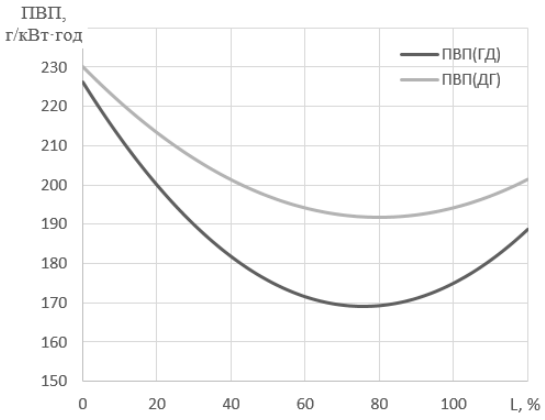


Рисунок 3 – Питомі витрати палива для ГД і ДГ

Розрахунки для номінального режиму показали, що потужність СМ становить майже 5МВт при приблизно 40 об/хв. Тобто для живлення ГЕД буде достатньою потужність двох ДГ, увімкнених на паралельну роботу.

Попередня оцінка ефективності використання PTH mode зроблена підрахунком питомих витрат палива (ПВП) за добу на ГД порівняно з ПВП за добу на два ДГ, що працюють на ВГ/Д, якщо швидкість руху судна така, що потужність не перевищує 4000 - 5000 кВт.

Наведені на рис. 3 ПВП можна апроксимувати поліномом другого ступеню (1) і (2) [11].

$$ПВП_{ГД} = 0.01 \cdot L^2 - 1.513 \cdot L + 226.33, \qquad (1)$$

$$ПВП_{ДГ} = 0.006 \cdot L^2 - 0.9586 \cdot L + 230.16, \qquad (2)$$

де: ПВП – питомі витрати палива, г/кВт·год;

L – відносне навантаження дизеля, %.

Для підтвердження економічної доцільності модернізації і використання PTHmode виконаємо математичне моделювання електромеханічних перехідних процесів в системі «Суднова мережа - СД з векторним управлінням - Навантаження» [8].

В якості базової використано модель AC8-Five-Phase PM Synchronos Motor Drive з бібліотеки Simscape Power Systems, яка складається з синхронного двигуна з постійними магнітами, який живиться від інвертора з високочастотною широтно-імпульсною модуляцією. У контурі управління швидкістю використовується PI-регулятор для створення еталонів магнітного потоку і крутного моменту для блоку векторного управління, який використовує пятифазний регулятор струму.

При розробці моделі високовольтної системи необхідно вказати основні вихідні данні:

– розрахункові параметри схеми заміщення СМ: $R = 0{,}05$ Ом, $L = 1350 \cdot 10^{-6}$ Гн, момент інерції ротора 3675 кг·м^2; число пар полюсов – 60 шт.;

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

– механічні характеристики відцентрового механізму: вентиляторне навантаження з $M = 1136,4$ кНм;

– номінальні параметри суднової мережі: номінальна напруга (6600 В) та частота (60 Гц);

–параметри шини постійного струму інвертора: $C = 20000 \cdot 10^{-6}$ Ф, $f = 4000$ Гц.

– блок захисту конденсатора від перенапруги (чоппер) $U_{act} = 12500$ В, $U_{shut} = 12000$ В;

– в параметрах регуляторів (ПІ-регулятор) обрано $k_{rsp} = 25000$; $k_{rsi} = 14 \cdot 10^6$; $M_{\max} = M_н \cdot 3$; $M_{\min} = -M_н \cdot 3$.

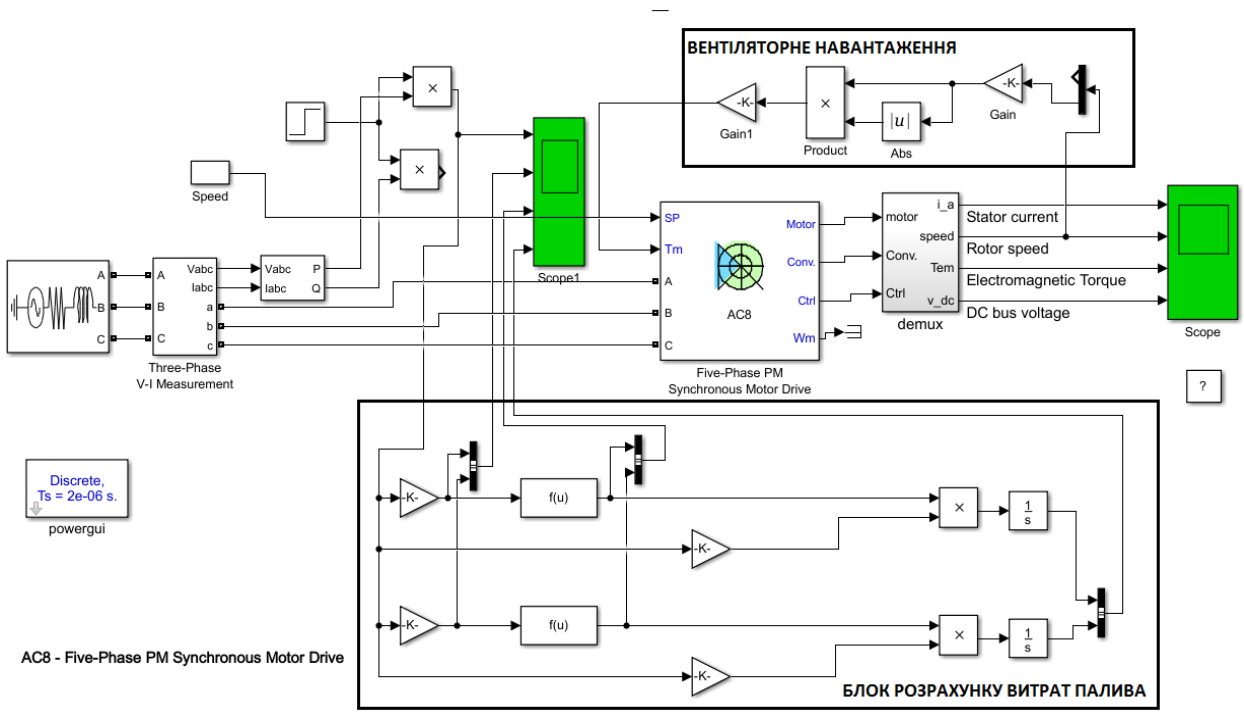


Рисунок 4 – Модель СМ при роботі в якості ГЕД

Використання моделі системи «Суднова мережа - СД з векторним управлінням - Навантаження» дозволяє моделювати режими пуску, роботи під навантаженням, режим останова потужної синхронної машини («Siemens» 65L3710-8LG42-4AW0), отримувати та досліджувати перехідні процеси струму статору, швидкості обертання ротору та електромагнітний момент.

Також, за допомогою блока розрахунку витрат палива (ВП) отримано графіки перехідних процесів зміни активної протужності ($P = f(t)$) споживаної з мережі при пуску (t=0-0,5 с), роботи під навантаженням (t=0,5-1 с) та у режимі останова (t=1-1,5 с) потужної СМ. Навантаження (L, %) в усталеному режимі на ДГ при переході на електроживлення складає $L_{ДГ}$ = 70 %, $L_{ГД}$ = 8,5 %. За допомогою залежності $ВП = f(t)$ розрахуємо витрати ГД: $(191,2 - 38,4) \times 2 = 305,6$ г/с та витрати двох ДГ: $(171,9 - 35,6) \times 2 = 272,6$ г/с. Таким чином різниця в витраті палива складає $305,6 - 272,6 = 33$ г/с, або 118 кг/год.

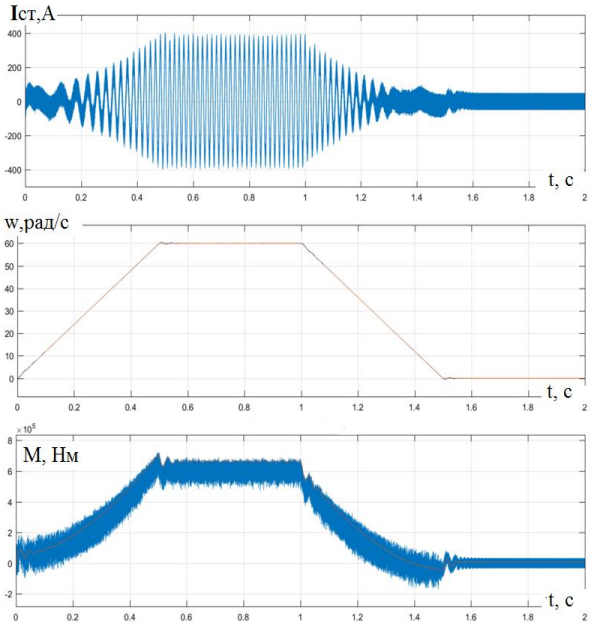


Рисунок 5 – Графіки перехідних процесів СМ з векторним управлінням

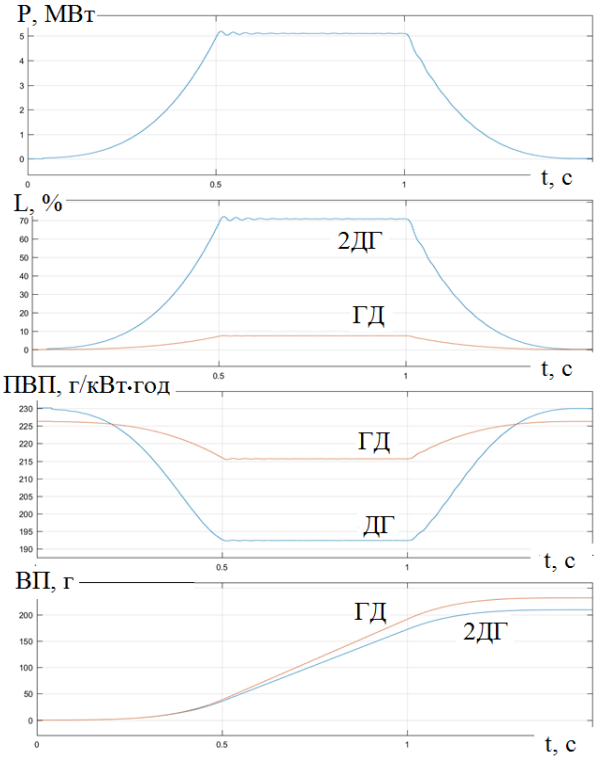


Рисунок 6 – Графіки перехідних процесів блоку розрахунку ВП

Висновки: Встановлено, що при переміщенні судна на низької швидкості часто необхідна потужність головного двигуна зменшується до такого рівня, який може бути забезпечений ДГ суднової електроенергетичної системи. В таких випадках при модернізації ПУ гвинт може обертатися від синхронної машини на осі гвинта, живлення якого в режимі двигуна забезпечується від паралельно працюючих ДГ через перетворювач частоти. Це суттєво зменшує витрати дизельного палива: витрати ГД: $(191,2-38,4)\times 2=305,6$ г/с та витрати двох ДГ: $(171,9-35,6)\times 2=272,6$ г/с. Таким чином різниця в витраті палива складає $305,6-272,6=33$ г/с, або 118 кг/год.

Додатково необхідно відмітити, що в аварійних ситуаціях головний двигун і синхронна машина з перетворювачем частоти можуть забезпечити живлення суднової електроенергетичної системи, що в цілому підвищує надійність і безпеку судна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Espen Skjong, Rune Volden, EgilRødskar, Marta Molinas, Member, IEEE, Tor Arne Johansen, Senior Member, IEEE, and Joseph Cunningham. Past, Present and Future Challenges of the Marine Vessel's Electrical Power System, IEEE TRANSACTIONS ON TRANSPORTATION ELECTRIFICATION, 2016, pp.1–16.

2. Судновий механік: Довідник / Авт. кол.: За ред.. А. А. Фока. Д-ра техн. наук, суднового старшого механіка. - У 3-х т. – Т.1. – Одеса: Фенікс. 2008 – С. 714 -715.

3. Eddy Setyo Koenhardono, Amiadji, Rahmat Kristomi. The Study of the Application of Hybrid Propulsion System onOPV withControllable Pitch Propellers In ternational Journal of Marine Engineering Innovation and Research, (pISSN: 2541-5972, eISSN:2548-1479). –Vol. 1(4), Sept. 2017, pp. 346 –354.

4. Marine Machinery & Engine 2013 Marine. https://www.mhi-mme.com/cms_docs/products_en.pdf

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

5. Innovative Power Transmission. Propeller Shaft Clutch (PSC). RENK Aktiengesellshaft. RENK. Eddition 08/2016. 12 p. https://www.renk.eu

6. С. Ф. Самонов, О. М. Рак, О. В.Глазєва Підвищення ефективності та надійності комбінованих суднових пропульсивних установок. // Вестник Национального технического университета "ХПИ"(в редакції журнала).

7. Рак О.М. Визначення генеруючих потужностей в термоефективній системі суднової електростанції та її техніко-економічних показників [Текст] / О. М. Рак, О. В. Глазєва, С. А. Дудко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – Київ: Техніка, 2018. – Вип. 28(104). – С. 147–153.

8. Черних І. В. Моделювання електротехнічних пристроїв в Matlab, SimPowerSystems та Simulink – СПб.: Пітер, 2007.

УДК 621.314

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ В СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

В. В. Бушер, д.т.н., професор
О. В. Глазєва, к.т.н., доцент
К. О. Морозов, магістрант
Національний університет «Одеська морська академія»
Космас Здрозис, к.т.н.
Олександр Технологічний освітній інститут в Салоніках

Анотація: *Високовольтні перетворювачі частоти є одними з найперспективніших напрямків в розробці сучасних систем суднового електропостачання завдяки їх підвищеної надійності, економічної доцільності, а також підвищеної якості вихідної електроенергії, що дозволяє збільшити термін служби і якість регулювання потужних суднових електроприводів. В роботі виконано аналіз багаторівневих каскадних АІН на підставі моделі в середовищі Matlab/SimPowerSystem. Дослідження електромагнітних процесів та спектрального складу вихідної напруги та струму показало, що THD як по струму так і по напрузі стають кращими при використанні 5-рівневої системи порівняно з 3-рівневою, що свідчить про доцільність з цього критерію збільшення кількості рівнів. THD при використанні ШІМ з додаванням третьої гармоніки стає гіршим як для 3-рівневої так і для 5-рівневої системи, але замість цього зростає вихідна фазна напруга майже на 16 %, відповідно зростає і критичний момент АД, за рахунок чого електродвигун може розігнатися швидше, що робить даний метод керування досить перспективним для використання. Частота модуляції має великий вплив на THD по струму, в зв'язку з чим її правильний вибір з урахуванням припустимого перегріву транзисторів має важливу роль при проектуванні АІН.*

Ключові слова: *високовольтний перетворювач частоти, автономний інвертор напруги, коефіцієнт несинусоїдальності, каскадний АІН, скалярна ШІМ.*

RESEARCH OF HIGH-VOLTAGE FREQUENCY CONVERTERS IN SHIP ELECTRIC POWER SYSTEMS

V. V. Busher, Dr.Tech.Sc., Professor
O. V. Glazeva, PhD, Associate Professor
K. O. Morozov, Master Student
National University «Odessa Maritime Academy»
Kosmas Zdrozis, PhD
Alexander Technological Educational Institute of Thessaloniki

Abstract: *High-voltage frequency converters are one of the most promising areas in the development of modern marine power supply systems due to their increased reliability, economic feasibility, as well as improved output power quality, which allows to increase the service life and quality of regulation of powerful*

marine electric drives. In this work, an analysis of multilevel cascading AINs based on a model in the Matlab / SimPowerSystem environment is performed. The study of electromagnetic processes and the spectral composition of the output voltage and current showed that THD both in current and in voltage become better when using a 5-level system compared to a 3-level system, which indicates the expediency of increasing the number of levels by this criterion. THD when using PWM with the addition of the third harmonic becomes worse for both the 3-level and 5-level systems, but instead the initial phase voltage grows by almost 16%, and the critical moment of the AM increases, due to which the electric motor accelerates faster, which makes this management method promising for use. The modulation frequency has a great influence on the THD current, and therefore its correct choice, taking into account the permissible overheating of transistors, has an important role in the design of AIN.

Key words: *high-voltage frequency converter, autonomous voltage inverter, total harmonic distortion, cascaded AIN, scalar PWM.*

Впровадження високовольтного регульованого електроприводу в морській індустрії є одним з основних напрямків зменшення споживання електроенергії та підвищення EEDI (Energy Efficiency Design Index – Спроектований Індекс Енергоефективності) та EEOI (Energy Efficiency Operational Index – Експлуатаційний Індекс Енергоефективності), які є одними з найголовніших параметрів при проектуванні та виготовленні сучасного судна [1].

Використання перетворювачів частоти (ПЧ) є найбільш економічним способом плавного автоматичного регулювання швидкості обертання і продуктивності електроприводу, що дозволяє більш ефективно забезпечити:

– енергозберігаючі режими, так як асинхронний двигун (АД) отримує від мережі рівно стільки енергії, скільки потрібно для оптимальної роботи з максимальним ККД;

– стабілізацію параметрів.

– надійність експлуатації агрегатів і їх ресурс при зниженні витрат на технічне обслуговування і ремонт;

– екологічність, електромагнітну сумісність і інтеграцію в АСЕУ.

Потужні високовольтні перетворювачі частоти (ВПЧ) застосовуються в судновий електроенергетиці головним чином в складі електроприводів підруслюючих пристроїв, електроруху, приводах потужних вентиляторів і насосів.

Метою даної роботи є дослідження принципу формування багаторівневої вихідної напруги ВПЧ як найкращого методу для підвищення його електромагнітної сумісності з потужним АД.

Для реалізації зазначеної мети в роботі вирішено наступні завдання:

– проведено аналітичний огляд типових структур високовольтних перетворювачів частоти;

– побудовано моделі багаторівневих перетворювачей модульного типу;

– проведено спектральний аналіз струмів статора потужного АД при його роботі з трирівневим та п'ятирівневим каскадними перетворювачами;

– проведено дослідження скалярних алгоритмів формування ШІМ на виході каскадного АІН.

В даний час найбільшого поширення набули перетворювачі частоти для керування швидкістю обертання високовольтних двигунів за наступними схемами [2]:

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

1. ВПЧ, побудований за двохтрансформаторною схемою з низьковольтною ланкою постійного струму (рис.1,а).

2. ВПЧ, побудований за структурою багаторівневого перетворювача з вхідним секційним трансформатором (рис. 1,б)

3. ВПЧ, побудований за структурою каскадного перетворювача з вхідним секційним трансформатором (рис. 1,в).

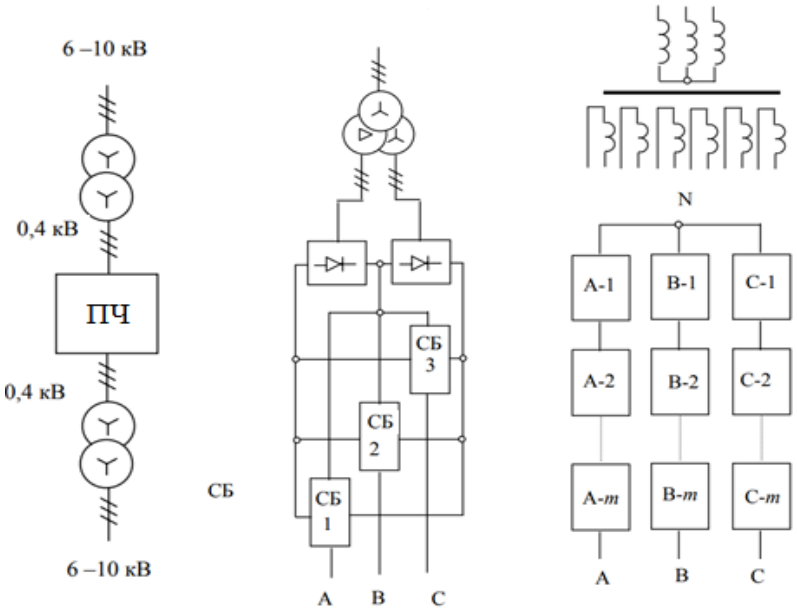


Рисунок 1 – Структура високовольтних перетворювачів частоти
а) з двома трансформаторами, б) багаторівневий перетворювач, в) каскадний перетворювач

Огляд існуючих багаторівневих інверторів (рис. 2) дозволив виявити, що найбільш поширено використання наступних систем [3]:

– АІН з обмежуючими діодами («dioide-clamped converter») або з фіксованою нульовою точкою («neutral point clamped»);

– АІН з плаваючими або навісними конденсаторами («floating-capacitor converter»);

– каскадний АІН («cascaded H-bridge converter»).

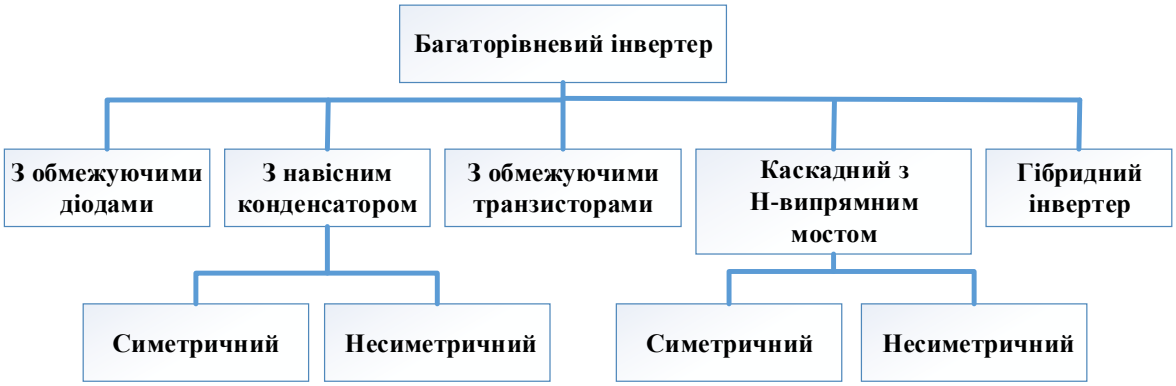


Рисунок 2 – Топології багаторівневих інверторів

Найбільш перспективними є АІН, що побудовано за каскадною схемою (рис. 3, рис. 4) [4]. За цією структурою можна досягти будь-яких високих рівнів

вихідної напруги, використовуючи тільки стандартні низьковольтні технологічно сформовані компоненти. Високий ступінь модульності дозволяє збільшити працездатність без відключення навантаження навіть в разі несправності в одному або декількох з модулів.

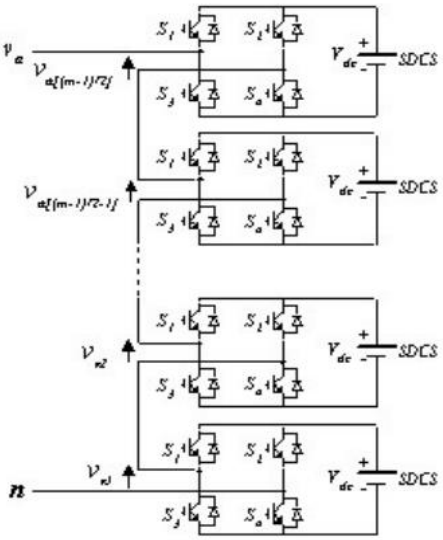


Рисунок 3 – Одна фаза каскадного Н-моста багаторівневого інвертора

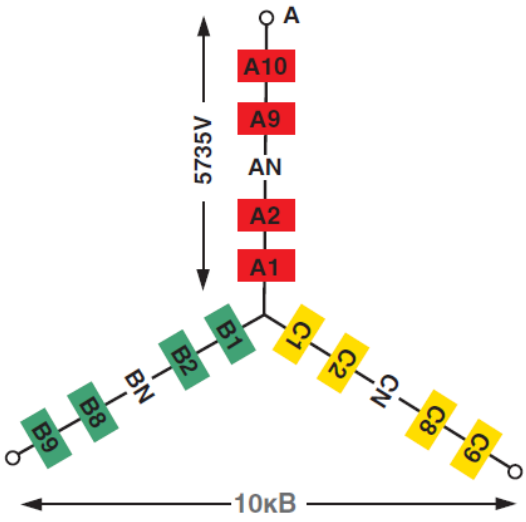


Рисунок 4 – Використання низьковольтних модулів для формування напруги понад 1000 В.

Особливості каскадних АІН:

– висока якість вихідної напруги і струму;

– багаторівнева схема формування вихідної напруги забезпечує синусоїдальну форму вихідного струму;

– хороша електромагнітна сумісність з системою електропостачання;

– необхідність живлення кожного модулю індивідуальним джерелом постійної напруги;

– підвищена надійність роботи;

– відсутність необхідності установки вихідних фільтрів;

– потужність від сотень кіловат до десятків мегават.

Топологія і принципи управління інверторами визначаються сучасними силовими напівпровідниковими елементами нового типу (IGBT, GTO, IGCT, SGCT), а також різними видами широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) [5,8].

Для формування напруги на виході багаторівневих АІН використовують різні алгоритми ШІМ. Найбільшого поширення набула класифікація алгоритмів управління АІН, яка заснована на наявності або відсутності високочастотного несучого сигналу порівняння:

– синусоїдальна (скалярна) ШІМ;

– модифіковані алгоритми синусоїдальної ШІМ;

– ШІМ зі змінними параметрами;

– просторово-векторна ШІМ;

– алгоритм виключення окремих гармонік;

– вейвлет-модуляція та ін.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

На практиці найбільшого поширення в силу простоти реалізації отримали алгоритми скалярної ШІМ.

Для побудови моделі каскадного багаторівневого перетворювача частоти, який працює на потужний АД, використано метод математичного моделювання в середовищі Matlab (рис.5) [6,7].

Вихідними даними для моделювання використано параметри схеми заміщення потужного АД марки ABB/AMD710X6T VABM, технічні характеристики якого наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики АД марки ABB/AMD710X6T VABM

Номінальна потужність	2,1МВт	Коефіцієнт потужності	0,9
Напруга	10000 В	Відносний момент	20145 Нм
Частота	50 Гц	Відносний пусковий струм	6,7
Частота обертання	995 об/хв	Відносний пусковий момент	0,8
Струм	139 А	Відносний макс. момент	2,5
Параметри схеми заміщення			
Опір статору R1 (120ºС)	0,3047	Опір ротору R2’ (40ºС)	0,2030
Реактивність статору X1	5,2670	Реактивність ротору X2’	3,2926

Параметри ВПЧ:

1. Структура АІН: каскадна схема з живленням кожного Н-моста від трансформатора з розщепленою вторинною обмоткою.
2. Метод ШІМ: скалярна ШІМ та модифікована скалярна ШІМ.
3. Частота ШІМ: 1000 / 4000 Гц.
4. Число рівнів вихідної напруги: 3 і 5 відповідно для 3-рівневого і 5-рівневого перетворювачів.
5. Елементна база модулів: IGBT-транзистори з паралельно включеними діодами зворотного струму.

Блок управління (рис. 5) дозволяє в залежності від завдання реалізовувати два алгоритму формування ШІМ.

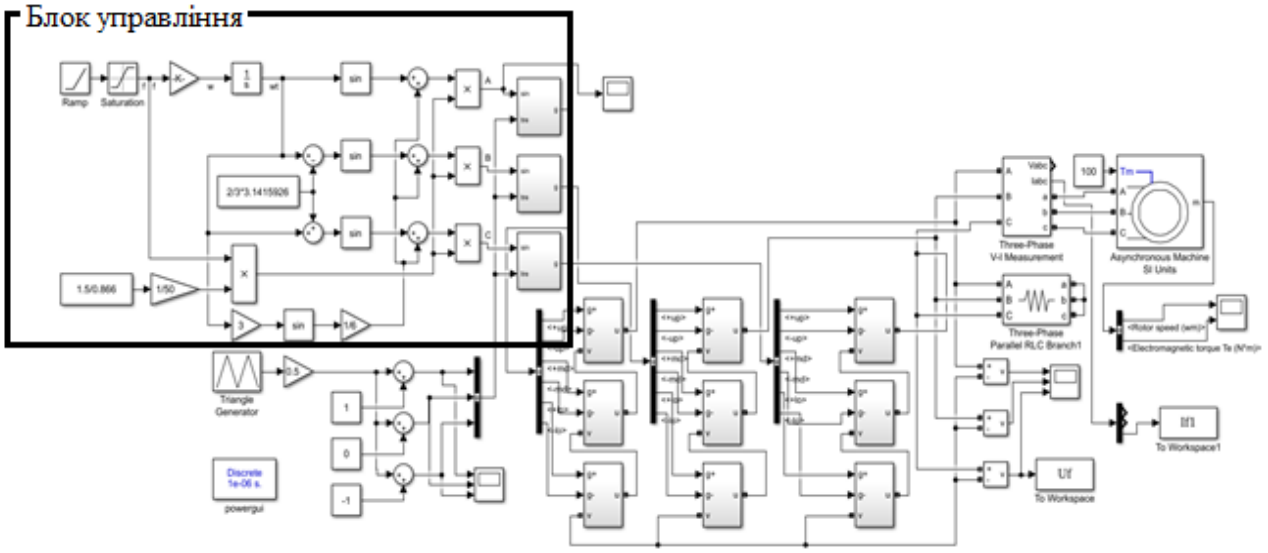
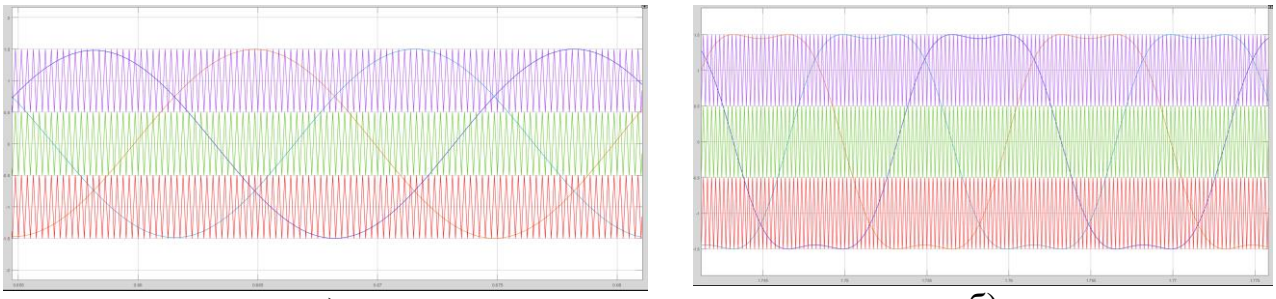


Рисунок 5 – Модель 3-рівневого перетворювача

Перший алгоритм – з фазовим зміщенням синусоїдальних та амплітудним зрушенням трикутних сигналів (рис. 6,а); другий – з додаванням третьої гармоніки з амплітудою $\frac{1}{6}U_m$ в синусоїдальні сигнали фазних напруг (рис. 6,б) [9].



а) б)

Рисунок 6 – Задані синусоїдальні і пилкоподібні сигнали для отримання 3-рівневого АІН при синусоїдальної ШІМ (а) і ШІМ з додаванням 3-ї гармоніки

Основні результати досліджень надано в табл. 2.

Таблиця 2 – Порівняльні результати розрахунків

	Холостий хід	Номінальне навантаження
THD_I, % (3-рівневий ВПЧ)	7,87	0,99
	3-рівненвий ВПЧ	5-рівневий ВПЧ
THD_I, % (синусоїдальна ШІМ)	0,99	0,55
THD_U, % (синусоїдальна ШІМ)	35,54	21,73
THD_U, % (ШІМ з додаванням 3-ї гармоніки – 4000 Гц)	30,56	23,2
THD_I, % (ШІМ з додаванням 3-ї гармоніки – 4000 Гц)	1,01	0,65
THD_U, % (ШІМ з додаванням 3-ї гармоніки – 1000 Гц)	30,49	23
THD_I, % (ШІМ з додаванням 3-ї гармоніки – 1000 Гц)	5,99	5,43

Аналіз результатів дозволяє зробити наступні **висновки**.

За допомогою розробленої моделі виконано дослідження електромагнітних процесів та спектрального складу вихідної напруги та струму в багаторівневих АІН, проведено аналіз енергетичних характеристик при роботі на потужний АД. Показано, що THD як по струму так і по напрузі стають кращими при використанні 5-рівневої системи порівняно з 3-рівневою, що свідчить про доцільність з цього критерію збільшення кількості рівнів.

THD при використанні ШІМ з додаванням третьої гармоніки стає гіршим як для 3-рівневої так і для 5-рівневої системи, але замість цього зростає вихідна фазна напруга майже на 16 %, відповідно зростає і критичний момент АД, за рахунок чого електродвигун може розігнатися швидше, що робить даний метод керування досить перспективним для використання.

Частота модуляції має великий вплив на THD по струму, в зв’язку з чим її правильний розрахунок має важливу роль при проектуванні АІН.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Кожних з цих параметрів тим чи іншим способом впливає на THD_I та THD_U, які є головними критеріями оцінки якості електроенергії, що впливають на підвищення EEDI та EEIO.

ЛІТЕРАТУРА

1. О.В. Глазева, В.Б. Власов Применение высоковольтных преобразователей частоты как метод повышения индекса энергоэффективности на объектах морской индустрии /Матеріали науково-методичної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.12.2018 - 06.12.2018. – Одеса: НУ «ОМА», 2018. – С.70-78

2. Кузькин В.И., Мелешкин В.Н., Мясищев С.В., Симоненков Д.В., Шипаева С.Н. Высоковольтный преобразователь частоты для питания асинхронных двигателей. «Электротехника», 2004 г., №10, с. 19 – 24.

3. Бурдасов, Б.К. Преобразователи частоты для высоковольтных электроприводов переменного тока [электронный ресурс] / Б. К. Бурдасов, С. А. Нестеров, Ю. Б. Федотов // Электронный научный журнал APRIORI. Серия: естественные и технические науки. – 2015. – № 4.

4. M. Malinowski, K. Gopakumar, J. Rodriguez, and M. Perez, “A Survey on Cascaded Multilevel Inverters”, IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 1, No. 1 December 2009.

5. B. P. McGrath and D.G.Holmes, “Multicarrier PWM Strategies for Multilevel Inverters,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 49, No. 4, August 2002.

6. S. Krishnapriya and Unnikrishnan L. ,“Multilevel Inverter Fed Induction Motor Drives”, International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET), Volume 04, Issue 09, September 2015, pp. 60-64.

7. V.Manimala, Mrs.N.Geetha.M.E, Dr.P.Renuga, Design and Simulation of Five Level Cascaded Inverter using Multilevel Sinusoidal Pulse Width Modulation Strategies, IEEE 2011, 978-1-4244-8679-3

8. Grahame, D. Pulse width modulation for power converters. Priciples and practice / D. Grahame Holmes, Thomas A. Lipo. – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003. – 724 p.

9. Колпаков, А. Алгоритмы управления многоуровневыми преобразователями / А. Колпаков, Е. Карташев // Силовая электроника. – 2009. – № 2 – стр. 57-65

Секція 9. ОСВІТНІ ТА ПРОФЕСІЙНІ СТАНДАРТИ

УДК 378.004

РОЗВИТОК «SOFT SKILLS» У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ю. С. Медведєва, к. геогр. н., доцент
В. В. Рябоконь, курсант
Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Висвітлено основні особливості навичок, які можливо отримати у процесі навчання у закладах вищої освіти.*
Ключові слова: *hard skills, soft skills, знання, вміння.*

SOFT SKILLS DEVELOPMENT IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Y. S. Medvedieva, Ph. D. of Geographic Sciences, Associate Professor
V. V. Ryabokon, cadet
National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. *The main features of the skills that can be learned in higher education are highlighted.*
Keywords: *hard skills, soft skills, knowledge, skills.*

В світі інформаційного суспільства нові вимоги стейкхолдерів спонукають розвиток нових тенденцій в освіті, створення сучасних освітніх технологій пошуку альтернативних форм освіти, інноваційної стратегії навчання й виховання, розгляду освіти в контексті культури і творчості тощо. Дослідження, які проведено Гарвардським університетом і Стенфордським науково-дослідним інститутом, свідчать про те, що технічні навички і знання сприяють лише 15 % успіху у кар'єрі, у той час як «м'які» навички складають 85%, що лишились. Однак, це не означає, що soft skills можуть замінити або підмінити hard skills. Розглянемо особливості типів навичок.

Всі навички, які отримують у процесі навчання, діляться на дві великі групи: hard skills («хардскілз» - «тверді» навички) і soft skills («софтскілз», «м'ягкі» або «гнучкі» навички).

Hard skills - професійні, технічні навички, які можна наочно продемонструвати. До цієї категорії відносяться: навик сліпий друку, володіння англійською мовою, керування автомобілем, програмування тощо. Так як дані навички стійкі, добре доступні для огляду, вимірні і ототожнюванні з конкретними конструкціями, вони входять до переліку вимог, викладених в посадових інструкціях, легко піддаються розкладанню на ряд простих і кінцевих операцій. Навички з категорії Hard skills прості для спостереження в повсякденному житті. При наявності практичних занять, людина, яка набуває навички категорії Hard skills, здатна довести придбане вміння до автоматизму і

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

надалі застосовувати його в повсякденній практиці, дотримуючись чітко встановленої послідовності дій або «за шаблоном».

Soft skills - універсальні навички, прояв яких складно відстежити, перевірити і наочно продемонструвати. Дозволяють бути успішним незалежно від специфіки діяльності та напрямку, в якому працює людина. Їх розвивають тренінги з мотивації, лідерства, менеджменту, роботі в команді, управління часом, проведення презентацій, продажу, особистому розвитку. Ступінь освоєння навичок з категорії Soft skills складно відстежити, перевірити і наочно продемонструвати. Тому варто відзначити, що застосування Soft skills можливо тільки за умови вміння використовувати різні моделі поведінки, цілісно розуміти власні і загальні інтереси, розставляти пріоритети і робити вибір. Результативне освоєння навичок з даної категорії завжди спрямовано на вироблення здатності бачити і розрізняти множинність півтонів і варіантів ситуації.

Вміння користуватися комп'ютерними технологіями і обладнанням, а також знання іноземних мов поступово переходять із розряду важливих рис сучасного фахівця у розряд інструментальних вмінь і навичок, які необхідні тією ж мірою, як і звичайна грамотність. Вирішальними стають:

- знання, здебільшого спеціальні, більш наближені до практики, а також міждисциплінарні;
- вміння і здатності здобувати знання самостійно протягом усього життя;
- системність і стратегічність мислення в умовах широкого розповсюдження глобалізаційних процесів;
- вміння працювати із зарубіжними партнерами тощо.

В Україні поняття «soft skills» є відносно новим та недослідженим. У той час, реагуючи на запити ринку праці, різні тренінгові агенції пропонують різноманітні програми, спрямовані на розвиток «soft skills». У закладах вищої освіти навчальні програми перенавантажені навчальними дисциплінами, що розвивають у студентів «hard skills», які пов'язані зі знанням фундаментальних та спеціальних дисциплін, здобуттям практичної підготовки тощо. Недостатньою мірою приділена увага розвитку «soft skills». Але вже зараз вимоги до набутих у закладах вищої освіти знань, навичок і вмінь суттєво модифікуються. Навички «hard skills» і «soft skills» мають одночасно гармонійно розвиватись, тоді конкурентоспроможність випускників на ринку праці буде зростати.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кудрявцева Е.И. Современные подходы к проблеме формирования и использования моделей компетенций/ Е. Кудрявцева // Управленческое консультирование. Актуальные проблемы государственного и муниципального управления. – 2012, - №1. - С. 166-177.
2. Коваль К.О. Розвиток «Soft skills» у студентів – один з важливих чинників працевлаштування / Вісник Вінницького політехнічного інституту, №2, 2015 р.
3. Материалы сайта Trainings.ru. — http://www.trainings.ru/.
4. Peggy Klaus. "The Hard Truth About Soft Skills". Harper Collins Publishers, 2007.

УДК 378.147

АУДІОВІЗУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК СКЛАДОВА ФОРМУВАННЯ КОМУНІКАТИВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ю. С. Медведєва*, к. геогр. н., доцент
А. С. Кушнірук**, к. пед. н., доцент
*Національний університет «Одеська морська академія»,
**Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського»

Анотація. *Обґрунтована необхідність використання аудіовізуальних технологій при формуванні комунікативної компетентності в закладах вищої освіти.*
Ключові слова: *рамка кваліфікацій, комунікація, аудіовізуальні технології.*

AUDIOVISUAL TECHNOLOGIES AS A COMPOSITION FORMATION OF COMMUNICATIVE COMPETENCE IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Y. S. Medvedieva *, Ph. D. of Geographic Sciences, Associate Professor
A. S. Kushniruk **, Ph. D. of Pedagogic Sciences, Associate Professor
*National University «Odessa Maritime Academy»
** South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky

Abstract. *The necessity of using audiovisual technologies in the formation of communicative competence in higher education institutions is substantiated.*
Keywords: *Qualification framework, communication, audiovisual technologies.*

Сьогодення неможливо представити без використання технічних засобів у будь-якій сфері життя. Через мобільні телефони, планшети і персональні комп'ютери керують безліччю домашніх приладів на відстані. У той самий час, у повітря злітають безпілотні літаки, на черзі автономні судна у морі. Однак, наряду з технічним прогресом, все більш актуально стає питання набуття комунікативних навичок, для забезпечення ефективної професійної діяльності. Належне формування комунікативної компетентності у закладах вищої освіти можливо лише із застосуванням сучасних методик, зокрема аудіовізуальних технологій.

Національна рамка кваліфікацій України визначає комунікацію як взаємодію осіб з метою передавання інформації, узгодження дій, спільної діяльності [1]. Вимоги дескриптору «комунікація» до сьомого (бакалаврського), восьмого (магістерського) і дев'ятого (доктор філософії) рівнів НРК України наступні:

7 рівень – донесення до фахівців і нефахівців інформації, ідей, проблем, рішень, власного досвіду та аргументації;

8 рівень – зрозуміле і недвозначне донесення власних знань, висновків та аргументації до фахівців і нефахівців, зокрема, до осіб, які навчаються;

9 рівень – вільне спілкування з питань, що стосуються сфери наукових та експертних знань, з колегами, широкою науковою спільнотою, суспільством в цілому.

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

Вища освіта і освітні технології мають постійно розвиватися та вдосконалюватись. Використання аудіовізуальних технологій значно підвищує сприйняття інформації у будь-якій сфері. Це питання освітлене багатьма вченими [2 - 4]. У зв'язку з цим, у навчальному процесі аудіовізуальні технології мають не тільки використовуватися викладачами, а й окремо викладатися студентам, особливо 8 і 9 кваліфікаційних рівнів. У процесі навчання необхідна підготовка студентів з теорії та практики застосування аудіовізуальних технологій у навчанні та у подальшій професійній діяльності на базі сучасних технічних засобів, знайомство студентів з перспективами у цій галузі, становлення і вдосконалення інформаційної культури майбутніх фахівців. При цьому студенти матимуть змогу вивчити психолого-педагогічних особливості сприйняття й усвідомлення інформації, що передається за допомогою сучасних технічних засобів, дізнаються теоретичні основи та дидактичні принципи побудови аудіовізуальних матеріалів, оволодіють методикою розробки наочної інформації.

Можна зробити висновок, що всебічне використання аудіовізуальних технологій сприяє підвищенню ефективності процесу набуття комунікативної компетентності у закладах вищої освіти.

ЛІТЕРАТУРА

1. Національна рамка кваліфікацій : Постанова від 12.06.2019 р. № 509-2019-п. [Електронний ресурс]. Режим доступу : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/509-2019-%25D0%25BF?lang=en.

2. Борисюк О. Б. Використання аудіовізуальних засобів навчання в освітній системі України / О. Б. Борисюк // Věda a technologie: krok do budoucnosti – 2016 : materiály XII mezinárodní vědecko-praktická conference, 22–28 února 2016 roku. – Praha : Education and Science, 2016. – Díl 9 : Pedagogika. – S. 71–73.

3. Волкова О. А. Нові можливості використання сучасних аудіовізуальних матеріалів // Сучасні методи викладання іноземної мови професійного спрямування у вищій школі: Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції, 5-25 квітня 2012 р. – К: НТУУ «КПІ». – 214 с.

4. Кухта М.С. Восприятие визуальной информации: философия процесса. Томск: Издательство Томского педагогического ун-та, 2004. – 202 с.

УДК 378.147

ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

А. С. Кушнірук*, к. пед. н., доцент
В. В. Шепель**, ст. викладач
*Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського»,
**Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. *Розглянуті основні форми самостійної роботи студента і її внесок у формування компетентностей студентів закладів вищої освіти.*

Ключові слова: *самостійна робота студентів, форми самостійної роботи, підсумковий контроль.*

ORGANIZATION OF INDEPENDENT WORK OF STUDENTS

A. S. Kushniruk *, Ph. D. of Pedagogic Sciences, Associate Professor
V. V. Shepel **, Senior Lecturer
* South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky,
** National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. *The main forms of independent work of students and its contribution to the formation of competences of students of higher education institutions are considered.*
Keywords: *independent work of students, forms of independent work, final control.*

Відповідно до вимог Болонського процесу певна частина запланованого матеріалу з дисципліни виносяться на засвоєння в процесі самостійної роботи студента під методичним керівництвом і контролем викладача. Самостійна робота студента є основним засобом набуття певних професійних компетентностей та досягання програмних результатів навчання у час, вільний від аудиторних занять. Такий вид занять сприяє розвитку відповідальності та організованості, творчого підходу до вирішення проблем навчального і професійного рівня, дослідницької діяльності.

Індивідуальна робота студента передбачає створення умов для як найповнішої реалізації творчих можливостей студентів через індивідуально-спрямований розвиток їхніх здібностей, науково-дослідну роботу і творчу діяльність.

У закладах вищої освіти використовуються такі основні форми самостійної роботи студентів:

- підготовка до лекційних, практичних, семінарських і лабораторних занять;
- підготовка до написання контрольних робіт;
- підготовка до іспиту;
- участь у наукових семінарах і конференціях.

Контроль виконання самостійної та індивідуальної роботи студентів денної форми навчання розподіляється на поточний та підсумковий. Згідно з відповідними Положенням щодо організації освітнього процесу у закладах вищої освіти, форма проведення поточного контролю виконання самостійної та індивідуальної роботи і система рівня знань визначаються кафедрою. Отже, поточний контроль здійснюється під час вивчення окремої теми, в якості форми проведення під час лекційних, практичних, лабораторних і семінарських занять використовуються: усне опитування, письмові роботи, тестування тощо.

Студенти заочної форми навчання виконують довготермінову домашню контрольну роботу. Метою довготермінової контрольної роботи є визначення якості засвоєння лекційного матеріалу і частини дисципліни, призначеної для самостійного вивчення. Завдання, які стоять перед студентом при підготовці і написанні контрольної роботи: усвідомлення навчального завдання, яке вирішується за допомогою даної довготермінової контрольної роботи; ознайомлен-

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

ня з інструкцією про її виконання; здійснення процесу виконання роботи; самоаналіз, самоконтроль; перевірка робіт студента викладачем, виділення і розбір типових помилок. В результаті виконання зазначеної роботи студент закріплює теоретичні знання, цілеспрямовано працює з навчальною літературою, набуває навички самостійної дослідницької роботи. Виконання довготермінової контрольної роботи є підставою для допуску студента до семестрового заліку або іспиту.

Підсумковий контроль здійснюється після опанування студентом змісту певного розділу й може бути у формі заліку, диференційованого заліку, іспиту, державної атестації. Робоча програма навчальної дисциплін містить повний перелік тем лекційних і практичних занять, з яких складаються екзаменаційні білети, критерії оцінювання відповідей, методику визначення загальної екзаменаційної оцінки. Передбачається такий порядок формування екзаменаційних білетів: перевірка рівня знань студентів здійснюється насамперед з базової компоненти теоретичної частини навчальної дисципліни з метою оцінки вміння використовувати одержані знання в майбутній професійній діяльності; екзаменаційний білет формується з тестових завдань різних типів, які оцінюються в еквіваленті відсотку правильних відповідей на запитання; за темами лекційних і практичних занять формулюються запитання.

Студенти денної й заочної форм навчання залучаються до наукової роботи: участь у студентських наукових семінарах, написання курсових робіт, виступи на всеукраїнських і міжнародних наукових конференціях, університетських наукових студентських конференціях та публікація матеріалів тез доповідей цих виступів. Виконання наукової роботи оцінюється за представленими звітними документами – програмами конференції, матеріалами тез доповідей, рефератами та курсовими проектами.

Для забезпечення ритмічності заходів контролю самостійної роботи студентів за дисципліною складаються графіки консультацій викладачів.

Самостійна робота студентів є обов’язковим компонентом навчального процесу для кожного студента і визначається навчальним планом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Нагаєв В. М. Методика викладання у вищій школі: навч. посібник / В. М. Нагаєв. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 232 с
2. Методика викладання у вищій школі: навч. посібник / О. В. Малихін, І. Г. Павленко, О. О. Лаврентьєва, Г. І. Матукова. – К.: КНТ, 2014. – 262 с.
3. Туряниця В. В. Самостійна робота студентів як вид творчої діяльності, фактор модернізації навчального процесу та підвищення якості вищої освіти [Текст] / В. В. Туряниця, В. В. Туряниця // Науковий вісник Ужгородського національного університету : Серія: Педагогіка. Соціальна робота. – Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2016. – Вип. 1 (38). – С. 302–305.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС

1. Будашко, В.В. Методологія розробки навчальних курсів в умовах скорочення аудиторних годин [Текст] / *В.В. Будашко* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.10-21

2.Шевченко, В.А. Підготовка фахівців з експлуатації високовольтного обладнання з використанням розподільчого пристрою NXAIR фірми Siemens [Текст] /*В.А. Шевченко, С.Ф. Самонов, В.О. Дубовик, А.А. Кульбацький* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.22-24

3.Лацюк, Д.И. Особенности электронно управляемых двухтактных дизелей WARTSILA типа RT-FLEX [Текст] / *Д.И. Лацюк* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.24-27

4.Сандлер, А.К. Чувствительный элемент волоконно-оптического акселерометра на основе сапфирового стекла[Текст] / *А.К. Сандлер* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.27-33

5.Кочетков,О.В. Підвищення ефективності енергосистем суднового електричного обладнання при використанні перетворювачів напруги з імпульсним регулюванням [Текст] / *О.В. Кочетков* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.34-37

6.Рак, О.М. Деякі аспекти розрахунку і експлуатації підрулюючих пристроїв морських суден [Текст] / *О.М. Рак, Базіль Шафік, О. В. Глазєва, В.Б. Власов* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.38-42

7.Бушер, В.В. Модернизация грузового крана на балкере дедвейтом 61000 тон [Текст] / *В.В. Бушер, А.С. Лозгачов* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.42-45

8.Завальнюк, І.П. Адаптивне керування судновими компресорними установками [Текст] / *І.П. Завальнюк, Р.В. Гринько* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.45-49

9.Завадський, В.А. Аналогово-частотний перетворювач для тензометричних датчиків суднового обладнання [Текст] / *В.А. Завадський, С.М. Дранчук, А.В. Чайка* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.50-54

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

10.Кочетков, О.В. Модернізація систем керування і автоматики суднового електрообладнання за рахунок використання сучасних засобів вимірювання та контролю [Текст] / *О.В. Кочетков, А.Р. Карапетян, О.М. Леднёв* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.54-57

11.Куделькин, Р.И. Компьютерная визуализация процесса точной синхронизации судовых синхронных генераторов [Текст] / *Р.И. Куделькин, В.С. Луковцев* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.57-60

12.Гаур,Т.О. Дослідження суднової баластно-осушувальної системи з тензометричним витратоміром рідини [Текст] / *Т.О. Гаур, О.І. Зарицька, О.О. Скрибантович, В.І. Цацко* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.61-64

13.Крючков, В.В. Экспериментальное исследование характеристик датчиков температуры в составе судовой системы контроля и сигнализации [Текст] / *В.В. Крючков, А.А. Демиров, И.М. Гвоздева, В.А. Щербинин* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.65-67

14.Митрофанов, А.А. Повышение оперативности управления судовыми интегрированными системами путём усовершенствования человеко-машинного интерфейса [Текст] /*А.А. Митрофанов, И.М. Гвоздева* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.68-71

15.Михайленко, В.С. Перспективы снижения содержания вредных выбросов от агрегатов СЭУ [Текст] / *В.С. Михайленко* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.72-75

16.Луковцев, В.С. Алгоритм оптимального управління пуском суднового дизель генератора на базі теореми Фельдбаума [Текст] / *В.С. Луковцев, Д.С. Стеблинський, С.М. Сакали* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.76-79

17.Рак, А.Н. Автоматические регуляторы напряжения синхронных генераторов и способы их технической реализации [Текст] /*А.Н. Рак, А.Г. Калуев, С.В. Бабий* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.79-84

18.Рак, А.Н. Применение программируемых логических контроллеров в системе автоматического ввода в действие резервного генератора [Текст] / *А.Н. Рак, А.Г. Калуев, С.В. Бабий* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.85-90

19. Химчак, М.С. Проблемы использования и перехода на топливо с пониженным содержанием серы [Текст] / *М.С. Химчак* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.90-93.

20.Mazur, O. M. Terminology used for a multipurpose vessels of the auxiliary fleet [Текст] / *O. M. Mazur, T.S. Obnyavko, O.A. Onishchenko* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.94-100.

21.Зозуля, М.Ю. Дослідження процесів в енергозберігаючій судновій електромеханічній системі пасажирського ліфту [Текст] / *М.Ю. Зозуля, І.М. Гвоздева, В.В. Лещенко, Р.К. Тер-Барсегян* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.101-103.

22.Шестака, А.І. Гасіння коливань вантажу засобами частотно-керованного електроприводу [Текст] / *А.І. Шестака, Л.В. Мельнікова* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.104-108.

23.Малявін, І.П. Особливості використання різних схем управління в імпульсних перетворювачах постійної напруги модульної структури при асиметрії електричних процесів [Текст] / *І.П. Малявін* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.109-112.

24.Захарченко, В.М. Вплив якості електроенергії суднової мережі на показники енергоефективності регульованих електроприводів [Текст] / *В.М. Захарченко, М.Й. Муха, А.О. Дранкова, І.І. Красовський, В.А. Недосєйкін* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.112-115.

25. Дзюба,Є.В. Моделювання та дослідження роботи приводу насосу забортної води регульованої продуктивності у різних експлуатаційних режимах [Текст] / *Є.В. Дзюба, В.С. Петрушин* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.116-118

26. Жуков,О.С. Дослідження системи контролю клімату в залі ресторану пасажирського судна [Текст] / *О.С. Жуков, Ю.В.Курганський, А.О.Карпеленя, В.В. Бушер* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.119-126

27. Муха, М.Й. Реалізація модуля керування навантаження на базі ПЛК для частотно-регульованого електропривода [Текст] / *М.Й. Муха, А.О. Дранкова, І.І. Красовський, С.С. Міхайков* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.127-131

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

28. Попов, В. Г. Моделювання напруженого стану в околі дефекта у вигляді N-ланкового включення в умовах вібрації [Текст] / *В. Г. Попов, О.В. Литвин* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.132-135

29. Попов, В. Г. Моделювання і дослідження напруженого стану біля довільно орієнтованих тріщин на продовженні жорсткого включення в умовах вібрації [Текст] / *В. Г. Попов, А.С. Мішарін* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.136-139

30. Кривий, О.Ф. Кільцева міжфазна тріщина в кусково-однорідному трансверсально-ізотропному просторі [Текст] / *О.Ф. Кривий, Ю.О. Морозов* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.139-143

31. Кривий, М.О. Математична модель мастильного шару в парах ковзання суднових енергетичних установок [Текст] / *М.О. Кривий, С.В. Сагін* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.143-147

32. Demydov, O. Modeling and investigation of the stress state in cylindrical components partly delamination from a rigid base under sudden torsional loading [Текст] / *O. Demydov, V. Popov* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.147-151

33. Кирилова, О.І. Моделювання напруженого стану у порожнинних циліндрах довільного перерізу з тріщинами за гармонійних коливань повздовжнього зсуву [Текст] / *О.І. Кирилова* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.151-155

34. Налева, Г.В. Математична модель системи управління електроприводом компресора суднової холодильної установки [Текст] / *Г.В. Налева, Д.В. Унгаров, О.А. Онищенко*// Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.155-159

35. Popov, V. An iterative method for modeling wave fields in bodies with thin rigid inclusions at oscillation of longitudinal shear [Текст] / *V.Popov* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.159-163

36. Архипенко, К.М. Два міжфазні дефекти в анізотропній площині [Текст] / *К.М. Архипенко* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.163-167

37. Орлова, Н.Д. Визначення функціональної залежності коефіцієнта агломерації від параметрів вібрації [Текст] / *Н.Д. Орлова* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.167-170

*38. Кошевой, В.М.*Синтез пары сигнал-фильтр для амплитудно-немодулированных сигналов [Текст] / *В.М. Кошевой, Л.М. Джаиани* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.171-173

39. Кошевой, В.М. Синтез оптимального фильтра для произвольной помехи [Текст] / *В.М. Кошевой, М.Ю. Бочарова* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.173-175

40. Кошевой, В.М. Анализ и синтез четвертичных и шестертичных сигналов [Текст] / *В.М. Кошевой, А.А. Орловская* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.175-179

41. Шевцов, Ю.С. Стратегия безопасности компьютерных систем в морском судоходстве [Текст] / *Ю.С. Шевцов, А.С. Кононенко* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.180-182

42. Викулин, И.М. Сенсоры магнитного поля для электронных систем охраны судна [Текст] / *И.М. Викулин, В.Э. Горбачев, Н.С. Михайлов* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.182-186

43. Лук'яненко, Р.М. Принцип організації дистанційного управління автономними надводними суднами [Текст] / *Р.М. Лук'яненко, С.А. Михайлов* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.186-189

44. Михайлов, С.А. Вимоги стандарту міжнародної гідрографічної організації до кібербезпеки електронних навігаційних систем [Текст] / *С.А. Михайлов, А.І. Чулак* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.189-192

45. Харченко, Р.Ю. Підвищення ефективності функціонування суднових ергатичних систем управління [Текст] /*Р.Ю. Харченко* //Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.193-196

46. Кринецкий, И.И. Прогноз погоды простыми методами [Текст] / *И.И. Кринецкий* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.198-202

ISSN 2706-7874 (print)
dx.doi.org/10.31653/2706-7874

47. Кринецкий, И.И. Использование магнитных антенн для установления надежных радиосвязей [Текст] / *И.И. Кринецкий* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.201-205

48. Михайлов, С.А. Требования Американского бюро судоходства к уровням обеспечения кибербезопасности [Текст] / *С.А. Михайлов, А.А. Орловская* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.205-209

49. Завадський, В.А. Особливості використання напівпровідникових газових датчиків у судновому устаткуванні [Текст] / *В.А. Завадський, В.І. Журавель* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.210-213

50. Шапо, В.Ф. Обеспечение кибербезопасности в беспроводных промышленных сетях передачи данных на базе оборудования Phoenix Contact [Текст] / *В.Ф. Шапо* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.213-218

51. Бушер, В.В. Система согласованного управления электроприводами палубного крана MacGregor 30 t [Текст] / *В.В. Бушер, С.О. Чабан* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.219-225

52. Бушер, В.В. Аналіз пропульсивної установки контейнеровоза місткістю 16000 контейнерів при реалізації «PTH mode» [Текст] / *В.В. Бушер, О.В. Глазєва, В.Ю. Пісчанський, К. Хандакжи* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.225-231

53. Бушер, В.В. Дослідження високовольтних перетворювачів частоти в суднових електроенергетичних системах [Текст] / *В.В. Бушер, О.В. Глазєва, К.О. Морозов, Космас Здрозис* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.231-237

54. Медведєва, Ю.С. Розвиток «SOFT SKILLS» у закладах вищої освіти [Текст] / *Ю.С. Медведєва, В.В.Рябоконь* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.238-239

55.Медведєва, Ю.С. Аудіовізуальні технології як складова формування комунікативної компетентності у закладах Вищої Освіти [Текст] / *Ю.С. Медведєва, А.С.Кушнірук* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.240-241

56. Кушнірук, А.С. Організація самостійної роботи студентів [Текст] / *А.С. Кушнірук, В.В. Шепель* // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.241-243

Наукове видання

М А Т Е Р І А Л И

Міжнародної науково-технічної конференції

"СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І АВТОМАТИКА"

05.11.2019 – 06.11.2019

Комп'ютерна верстка *Глазєва О.В.*

Підписано до друку 24.01.2020. Формат 60×84/16.
Ум. друк. арк. 14,64. Наклад 300. Зам. № И20-02-24.
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