

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет "Одеська морська академія"

Шевченко Валерій Анатолійович



УДК 656.612.8

**УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМИ
СИСТЕМАМИ ТА КОМПЛЕКСАМИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
СУДНА**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту
Галузь знань 0701 – транспорт і транспортна інфраструктура

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Одеса – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті "Одеська морська академія" Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: **Онищенко Олег Анатолійович**,
доктор технічних наук, професор,
Національний університет "Одеська морська академія",
професор кафедри технічної експлуатації флоту.

Офіційні опоненти: **Варбанець Роман Анатолійович**,
доктор технічних наук, професор,
Одеський національний морський університет,
завідувач кафедри суднових енергетичних
установок і технічної експлуатації;

Вичужанін Володимир Вікторович,
доктор технічних наук, професор,
Одеський національний політехнічний
університет,
завідувач кафедри інформаційних технологій;

Рожков Сергій Олександрович,
доктор технічних наук, професор,
Херсонська державна морська академія,
завідувач кафедри експлуатації суднового
електрообладнання і засобів автоматики.

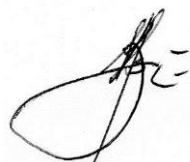
Захист відбудеться 26 січня 2021 року о 10-й годині, на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01, у Національному університеті "Одеська морська академія" за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 1, зала засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету "Одеська морська академія" за адресою: м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 2, та за електронною адресою:

<http://onma.edu.ua/spetsializovana-vchena-rada-d-41-106-01>.

Автореферат розісланий 24 грудня 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д.т.н., професор



Нікольський В. В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У сучасних морських транспортних технологіях, сучасному суднобудуванні, методах експлуатації, обслуговування та ремонту морських та річкових суден, головними є категорії безпеки, екологічності та економічної ефективності судноплавства. Вирішення суперечливих завдань раціонального управління різноманітними технологічними процесами у складних судових технічних системах і комплексах (СТС і К) безпосередньо пов'язане з означеними категоріями – забезпеченням високоефективної експлуатації, екологічності, ремонту й обслуговування морських і річкових суден. Ці категорії вимагають пошуку нових, нетривіальних, вдосконалення і уніфікації існуючих технічних рішень, урахування можливих аварійних режимів на судні через дії операторів, тощо. У зв'язку із цим, процеси управління технічними системами і комплексами морських та річкових суден повинні бути у максимальному ступені автоматизовані, програмно і апаратно узгоджені та уніфіковані. Саме такий, синергетичний, підхід використовують при синтезі, проектуванні або модернізації існуючого судового обладнання, що забезпечує мінімізацію суб'єктивного впливу людського фактору, забезпечує режими найбільш ефективної, безпечної та екологічної експлуатації, технічного обслуговування і ремонту (ТОР) суден різного цільового призначення.

Процеси управління різноманітними складними СТС і К сучасного судна та технічні засоби, що їх забезпечують, нерозривно пов'язані з якістю енергетичного забезпечення судна, а саме – електропостачання. Це пояснюється тим, що втрата електропостачання призводить до повної втрати керованості судна. Тобто, для забезпечення технічної безпеки судноплавства найголовнішими, серед інших складних СТС і К, є судові електроенергетичні системи і установки (СЕЕС, СЕЕУ). У той же час, СЕЕС мають найбільш складну конфігурацію серед інших СТС і К: у їх структуру входять генераторні агрегати (ГА), різноманітні системи управління, складні системи розподілу та перетворення енергії, системи захисту, тощо. Поряд зі складністю своєї конфігурації, СЕЕС характеризуються і безперервним зростанням встановленої потужності, що вимагає підвищення швидкодії існуючих систем управління, захисту й забезпечення ефективності процесів синхронізації джерел електричної енергії на судні.

Таким чином можна визначити, що актуальність дослідження полягає у тому, що у галузі технічної експлуатації суден, досліджень і проектування сучасних СТС і К сьогодення вимагає:

- удосконалення процесів контролю передачі енергії з динамічними принципами управління і стабілізації параметрів СЕЕС і мінімізацією невідворотних втрат під час її передачі і перетворення, підвищення експлуатаційної гнучкості, сумісності, надійності і стійкості СЕЕС;

- створення нових, удосконалення і раціоналізації існуючих систем і структур управління різноманітних СТС і К під час їх експлуатації і, зокрема, при їх дослідженні і проектуванні.

У зв'язку із означеним, затребуваними практикою і актуальними чинниками подальшого розвитку морського й річкового флоту України та, зокрема,

необхідністю вирішення визначальних проблем підвищення ефективності комерційної експлуатації і ремонту СТС і К, суднових автоматизованих електроенергетичних систем (САЕЕС) у цілому, є енергозбереження, економічність використання пального, надійність і безперебійність електропостачання, урахування міжнародних екологічних вимог при створенні і експлуатації.

У дисертації сформульована і визначена актуальна *науково-технічна проблема* – розробка і створення нових і вдосконалення існуючих систем управління технологічними процесами різноманітних складних СТС і К, зокрема – САЕЕС, та підвищення ефективності експлуатації суден у цілому, *неможливі* без визначення і використання сучасних теоретичних методів синтезу алгоритмів ефективного управління технологічними процесами різноманітних СТС і К складної конфігурації.

Дослідження переслідує вирішення актуального запиту практики – обрання такого складу СТС і К із організацією управління ним таким чином, щоб судна безперебійно отримували електроенергію необхідної якості, функціонували із максимально можливим ККД при широкому спектрі динамічних навантажень на генераторні агрегати та на судно у цілому, при змінюваних погодних умовах та із урахуванням додаткових обмежень, які накладаються міжнародними вимогами.

Проблема вдосконалення процесів управління судновими технічними системами і комплексами, у тому числі СЕЕС, знаходиться у центрі уваги розробників і авторитетних фахівців з технічної експлуатації флоту. Серед них слід відзначити таких, як Аллаєв К. Р., Баранов А. П., Болотин Б. І., Бодашко В. В., Вайнер В. Л., Веретенник О. М., Вишневецький Л. В., Голіков В. А., Константинов В. П., Красношапка М. М., Мелешкин Г. А., Муха М. Й., Нікольський В. В., Рожков С. О., Сиром'ятников В. Ф., Хайдуков О. П., Яровенко В. О., Gross T., Irida T., Takata S., Veda R., Nallen R. і інших. На основі їх досягнень і особистих досліджень висунута *гіпотеза* – вирішення означеної проблеми вдосконалення процесів управління складними СТС і К, у першу чергу, пов'язане із визначенням раціональної конфігурації та структури систем управління, при умові застосування запропонованого авторського методу синтезу алгоритмічного і апаратного забезпечення. На підставі аналізу існуючого стану розвитку складних СТС і К у дисертації визначена і сформульована наявність невирішених *наукових протиріч*.

По-перше. Розробка методів ефективного управління технологічними процесами та експлуатацією морських транспортних засобів різного типу обмежена істотним комплексом суперечливих, конфліктних, а у деяких випадках і взаємовиключних, факторів. У тому числі:

- необхідністю знаходження компромісу між економічністю, надійністю (безперебійністю) енергопостачання і екологічністю СЕЕС;

- необхідністю розробки ефективних методів пошуку раціональних конфігурацій різноманітних СТС і К, їх систем управління для різних суден і відсутністю вільного (ліцензійного) доступу до базових алгоритмів функціонування таких систем, можливостей їх корегування.

По-друге. Необхідністю розробки ефективних методів управління судновими технологічними процесами і:

- відсутністю раціональних і апробованих методів математичного опису та верифікації процесів їх управління;
- відсутністю таких необхідних методів і засобів швидкодіючого виміру параметрів електричної енергії у суднових системах електропостачання, що відповідають сучасному рівню розвитку цифрової керуючої техніки;
- затребуваністю оптимізації за низкою показників режимів роботи суднових електроенергетичних систем при змінах навантаження і погодних умов і відсутністю принципів їх реалізації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Дослідження спрямоване на реалізацію Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України № 430-р від 30.05.2018 р.) та виконане відповідно положень Морської доктрини України на період до 2035 року (Постанова № 1307 Верховної Ради України від 07.10.2009 року, зі змінами від 18.12.2018 року, № 1108), відповідає напрямкам, визначеним у "Тематиці наукових досліджень і науково-технічних (експериментальних) розробок МОН України" (Наказ МОН України № 1466 від 28.12.2018 р.).

Дисертаційна робота виконана у рамках планових наукових досліджень, у яких здобувач є автором окремих розділів:

- держбюджетної науково-дослідної роботи ДР № 0115U003582 "Підвищення ефективності, надійності і якості функціонування суднових енергетичних установок" (2016-2017 р.р.) Національного університету "Одеська морська академія";
- держбюджетної науково-дослідної роботи ДР № 0117U005137 "Методи і засоби підвищення ефективності функціонування та експлуатації перспективних суднових енергетичних установок" (2018-2022 р.р.) Національного університету "Одеська морська академія".

Також, дисертаційна робота виконана у межах:

- планів робіт наукового семінару "Оптимальне управління та експлуатація електроприводів спеціальних установок" Наукової Ради Інституту електродинаміки Національної академії наук України з проблеми "Наукові основи електроенергетики" (Військова академія, м. Одеса), де здобувач є виконавцем окремих його етапів;
- фінансованих на конкурсній основі науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт (НДДКР), тематику яких схвалено Науковою Радою МОН України (Секція 7 - "Енергетика та енергоефективність"), а саме робіт, з держреєстрацією ДР 0119U001651 ("Енергоефективна система позиціонування судна подвійного призначення", 2019-2020 р.р.) та ДР № 0120U102577 ("Енергетична установка, пропульсивний комплекс і система управління автономного плавального апарата подвійного призначення", 2020-2021 р.р.). Напрями дослідження цих НДДКР отримали підтримку з боку Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України (ЦНДІ ОВТ ЗСУ, лист №189/1/1029 від 19.03.2020 р.) з сумарним грантовим фінансуванням у 1,140 млн. грн (КПКВК 2201040 і 2201020 "Наукова та науко-

во-технічна діяльність закладів вищої освіти та наукових установ”), де здобувач у якості наукового співробітника прийняв участь у дослідженнях і підготовці окремих розділів НДДКР.

Мета і завдання дослідження. Виходячи зі сформульованих запиту практики, науково-технічної проблеми й наукових протиріч, визначені наступні мета й завдання дослідження.

Метою дослідження є підвищення ефективності процесів управління та експлуатації різноманітних суднових технічних систем і комплексів складної конфігурації, що вирішується на основі розробки і практичного використання запропонованих авторських методів синтезу систем управління основними судновими технологічними процесами.

Головними завданнями дослідження є:

- структуризація систем управління судновими технологічними процесами для визначення раціональної вихідної структури означених систем та їх інформаційних потоків;
- пошук і розробка раціональних методів верифікації та математичного опису способів управління технологічними процесами суднових технічних систем і комплексів;
- розробка ефективних і вдосконалення існуючих методів вимірювання параметрів електроенергії суднових електроенергетичних систем;
- оптимізація процесів управління судновою електроенергетичною системою за умови забезпечення мінімуму витрати палива і урахуванням погодних умов мореплавання;
- створення методів ефективного управління судновою електроенергетичною системою при її динамічних навантаженнях;
- синтез базового алгоритму управління судновою електроенергетичною системою при нормальних і аварійних режимах її роботи;
- розробка методів синтезу алгоритмів ефективного управління синхронізацією суднових генераторних агрегатів при детермінованих і стохастичних умовах роботи;
- удосконалення існуючих та створення основ побудови високоефективних систем управління технічними системами і комплексами морських суден різного призначення при їх експлуатації у режимах стабілізації курсу та проходженні траєкторії на маршруті.

Об'єктом дослідження є процеси функціонування складних суднових технічних систем і комплексів, зокрема – електроенергетичних установок складної конфігурації та гвинто-стернових комплексів (ГСК), при експлуатації суден у нормальних і аварійних умовах.

Предметом дослідження є сукупність теоретико-методологічних, проектних і прикладних методів управління основними технологічними процесами суднових технічних систем і комплексів, суднових електроенергетичних установок, ГСК, експлуатації суден у цілому.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі поєднані теоретичні, чисельні та експериментальні методи досліджень. Теоретичні методи розроблялися у випадках, коли доводилося стикатися з новими проблемами, що не досліджу-

валися раніше, або якщо застосування відомих методів виявлялося нераціональним для вирішуваних завдань. За допомогою теоретичних розробок удосконалені розрахункові методи і алгоритми, що їх реалізують. Експериментальні методи використовувались для верифікації отриманих за допомогою математичних моделей результатів. При цьому експерименти проводилися на розробленій фізичній моделі – багатофункціональному тренажері суднових енергетичних установок зі змінною структурою і авторськими алгоритмами управління, що дозволило максимально наблизити теоретичні дослідження до вирішення практичних завдань і що підтверджено відповідними актами використання результатів. Дані, отримані у результаті експериментальних досліджень і отримані теоретичні результати зіставлені і добре корелюються. Ці зіставлення підтверджують достовірність отриманих нових наукових результатів, які одержані за допомогою запропонованих здобувачем алгоритмів управління складними судновими технічними системами і комплексами.

Наукова цінність дослідження визначена вирішенням основних наукових завдань. Здобувачем особисто отримані наступні **нові наукові результати**, де у рамках вирішення сформульованої науково-технічної проблеми, проведено аналіз існуючого стану і вперше визначені невирішені до сьогодення актуальні завдання розвитку теорії та практики забезпечення ефективного управління і експлуатації складними СТС і К:

- вперше визначено, що алгоритмічний і структурний синтез АСУ СЕЕС зводиться не тільки до опису з попереднім моделюванням процесів управління, але й до вирішення комплексу оптимізаційних завдань, що у результаті забезпечує, зокрема, підвищення швидкодії і точності процесів управління СТС і К, їх економічності, забезпечує необхідні показники екологічності та досягання заданого раціонального співвідношення апаратної і програмної частини системи;

- вперше встановлено, що різноманіття морських суден за технологічним призначенням диктує застосування не тільки різних типорозмірів генераторних агрегатів, а і висуває необхідність вирішення ряду нових завдань, пов'язаних, перш за все, із уніфікацією СЕЕС, як об'єктів управління та технічних засобів автоматизації, обранням раціональної конфігурації ГА, застосуванням попередньо визначених підходів їх використання для окремих режимів, що забезпечує судно енергією необхідної якості та раціональне завантаження окремих ГА;

- вперше запропоновано базовий алгоритм функціонування дворівневої розподіленої системи управління СЕЕС, яка відрізняється урахуванням нормальних і аварійних режимів, що дозволяє прогнозовано визначати раціональні конфігурації СЕЕС і алгоритми функціонування їх систем управління;

- вперше запропоновано реалізацію принципу швидкодіючого вимірювання параметрів генерованої енергії, який відрізняється використанням методу мультипліційної обробки дискретної та аналогової інформації вимірюваних величин, що надає можливість за час, який не перевищує один період синусоїдальної напруги, із заданою точністю, визначати: а) лінійну напругу; б) фазний струм; в) модуль фазового куту потужності; г) частоту струму і напрямок передачі потужності;

– вперше запропоновано використання принципу автоматизованого управління судновою електроенергетичною системою, який відрізняється: а) урахуванням динаміки процесів змінювання навантаження; б) використанням авторського методу "гнучких порогів", який ураховує умови мінімуму витрати палива та погодні умови, що дозволяє оптимізувати склад і завантаження судових ГА;

– вперше запропоновано методику визначення часових затримок на пуск і відключення резервних судових ГА в умовах нестачі або надлишку генерованої енергії, яка відрізняється гнучким визначенням часових затримок, що дозволяє уникнути передчасну зміну складу ГА;

– вперше запропоновано метод управління частотою джерел енергії, який відрізняється адаптивним обчисленням випереджаючого імпульсу на включення судового ГА, що дозволяє суттєво підвищити ефективність процесу синхронізації джерел енергії у різних умовах експлуатації та знизити зрівняльні струми;

– удосконалені системи управління гвинто-стерновими комплексами морських суден при різних експлуатаційних умовах за рахунок використання запропонованих методик ідентифікації параметрів і подальшої верифікації математичних моделей суден, оптимальних типів регуляторів, двоканальних систем і еталонних моделей у контурі управління (ГСК), що дозволяє синтезувати високоефективні системи стабілізації курсу судна та стеження за його траєкторією на маршруті.

Практична цінність дослідження полягає у тому, що отримані у дисертації основні результати можуть використовуватися при визначенні загальної архітектури складних СТС і К, яка гарантує їх високу експлуатаційну ефективність, у тому числі – при експлуатації суден у складних умовах плавання. Основні результати застосовуються під час навчання курсантів морських закладів вищої освіти, при підвищенні кваліфікації судових механіків і електромеханіків, зокрема – при використанні у "Повномасштабному тренажері автоматизованої суднової електроенергетичної установки" запропонованих авторських алгоритмів управління (акт впровадження від 12.04.2019 р.).

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені у виробничу діяльність ТОВ "Бюро корабельних інженерів" (акт впровадження від 24.04.2019 р.), у Державній службі морського і річкового транспорту України (акт впровадження Державного підприємства "Науково-дослідний проектно-конструкторський інститут морського флоту України" (УкрНДІМФ) від 12.08.2019 р.), ТОВ "СКМ Марін Сервіс" (акт впровадження від 24.12.2018 р.), ТОВ "Сервіс Транс Балк" (акт впровадження від 17.12.2018 р.), у Інституті післядипломної освіти "Одеський морський тренажерний центр", (акт впровадження від 18.10.2018 р.), у навчальному процесі Національного університету "Одеська морська академія" (акт впровадження від 11.04.2019 р.), а також пройшли апробацію на наукових семінарах з проблеми "Наукові основи електроенергетики" Наукової Ради Інституту електродинаміки НАН України (Науковий семінар "Оптимальне управління та експлуатація електроприводів спеціальних установок", 2016-2020 р.р., довідка від 22.05.2020 р.) де встановлено, що

результати дослідження мають актуальність, наукову новизну та практичну значущість при проектуванні, створенні та експлуатації складних СТС і К.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота виконана здобувачем самостійно, без співавторів. Зокрема, без співавторів здобувачем: а) проведено верифікацію функціональних алгоритмів системи управління багатоагрегатної СЕЕС; б) запропоновано принцип швидкого оцінювання параметрів СЕЕС та синтезовані алгоритми управління валово- і дизель-генераторними агрегатами; в) проведено оптимізацію процесів управління СЕЕС за умов мінімізації витрат пального та з урахуванням метеорологічних умов плавання; г) вирішено проблему автоматизації процесів оптимального маневрування судна і визначені напрямки удосконалення її вирішення; д) досліджені процеси переходу судна на заданий курс при різних законах управління та проведено аналіз роботи СТС і К управління курсом судна в умовах періодичних збурювальних впливів на судно.

Без співавторів запропоновані нові принципи і методи: а) вирішення завдань управління процесами пуску і зупинки ГА у складі СЕЕС; б) вимірювання і контролю навантаження СЕЕС з використанням імовірнісних характеристик; в) синтезу алгоритмів верхнього рівня управління СЕЕС; г) управління "підгонкою" частоти та процесами автоматичної синхронізації судових ГА (у детермінованих і стохастичних умовах експлуатації).

При практичній реалізації запропонованих рішень, здобувачем, без співавторів, визначені особливості експлуатації СТС і К з двигунами *MAN B&W-ME*, визначені вимоги до удосконалення тренажерів машинного відділення суден у системі освіти, навчання і досліджень, наведені перспективи розвитку цих тренажерів у частині експлуатації СЕЕС і установок.

У опублікованих у співавторстві наукових роботах, у дисертації використані тільки ті положення і результати, які належать авторові особисто. Це наступні роботи. [2] – загальна постановка завдання та побудова принципу управління електроенергетичною установкою судна; [3] – постановка завдання і розробка математичної моделі гвинта регульованого кроку; [7] – проведення експериментів і верифікація математичної моделі судна; [8] – розробка математичної моделі судна, її уточнення, аналіз результатів; [9] – методика приведення навантаження до куту повороту стерна судна у математичній моделі системи управління; [18] – запропоновано принцип побудови алгоритмів управління судовою енергетичною установкою, що функціонує у складному пропульсивному комплексі; [19] – постановка завдання, пропонування робастного алгоритму управління, аналіз результатів; [20] – узагальнення рекомендацій, визначення перспективних напрямків досліджень дизель-електричних суден, обладнаних азимутними двигунами; [21] – розробка і уточнення математичної моделі, аналіз результатів; [22] – розділ, присвячений експлуатації судових енергетичних установок; [24] – уточнення математичної моделі, аналіз результатів, висновки; [25] – оцінювання характеристик і вибір параметрів, що забезпечують задану якість функціонування складних багатомасових систем; [26] – методика урахування змінювання навантаження, висновки; [28] – розробка математичної моделі гребного гвинта, аналіз результатів; [30] – розділ, присвячений визначенню проблем експлуатації і

удосконаленню управління судновими двигунами; [31] – розділ, присвячений розробці рекомендацій щодо підвищення ефективності експлуатації і управління судновим електрообладнанням; [32] – розділ, присвячений аналізу принципів функціонування складних автоматизованих суднових механічних систем і комплексів; [33] – розділ, присвячений аналізу функціонування і удосконаленню суднових АСУ різного типу; [34] – розділ, присвячений розробці рекомендацій щодо підвищення ефективності експлуатації суднових двигунів; [35] – розділ, присвячений розробці рекомендацій щодо підвищення ефективності експлуатації суднового високовольтного електрообладнання; [36] – розробка математичної моделі САУ, аналіз результатів; [37] – аналіз і дослідження принципів функціонування розподільчого пристрою, побудова методики роботи з ним; [38] – загальна постановка проблеми підвищення енергетичної ефективності складних суднових технічних систем, аналіз відомих рішень, висновки; [39] – загальна постановка завдань діагностування і підвищення ефективності обслуговування суднових дизель-генераторних установок, аналіз рішень, висновки.

Апробація результатів дисертації. Основні результати і положення роботи доповідались, обговорювались, були відображені і схвалені на наступних наукових заходах: *Proceedings of the 13th International Conference on Engine Room Simulators, Odessa, NU "OMA", September 20-21, 2017*; Матеріалах 9-ї Міжнародної наук.-практ. конф. "Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування", 13-14 вересня 2018 р., Херсон, Херсонська державна морська академія; Матеріалах наук.-метод. конференції "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 5-6 грудня 2018 р. і 2019 р., Одеса, Національний університет "Одеська морська академія"; науковому семінарі "Оптимальне управління та експлуатація електроприводів спеціальних установок" Наукової Ради Інституту електродинаміки Національної академії наук України з проблеми "Наукові основи електроенергетики", Одеса, Військова академія, 2016-2020 роки; *5th International Conference "SEA-CONF 2019", "Mircea Cel Batran" Naval Academy, May 17-18, 2019, Constanta*; IV Міжн. наук.-практ. конф. "Perspectives of world science and education", 25-27 грудня 2019 року, Осака, Японія; *15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, 25-29 Feb., 2020, Slavske*.

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 39 наукових праць (з них 15 – одноосібні).

Зокрема, 26 основних публікацій у наукових профільних виданнях (з них 5 публікацій, що входять до наукометричних баз даних *Scopus* і *Web of Science* та 2 монографії), 6 навчально-наукових посібників, 7 доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій (з них 1 публікація, що входить до наукометричної бази даних *Scopus*).

Обсяг і структура роботи. Дисертація складається з анотацій, переліку умовних скорочень, вступу, семі розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи становить 350 сторінок, де, крім

основного тексту, містяться 17 таблиць і 84 рисунків. Список використаних джерел містить 331 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** визначено важливу науково-технічну проблему розробки і синтезу нових та вдосконалення існуючих систем управління технологічними процесами різноманітних складних СТС і К. Обґрунтовано актуальність теми дисертації, охарактеризовано зв'язки дослідження з національними і галузевими програмами і темами. На основі сформульованого запиту практики визначені наявні наукові протиріччя, що ускладнюють вирішення науково-технічної проблеми розробки і синтезу високоефективних СТС і К. Сформульовано мету, наукові завдання і застосовані методи дослідження, виділені об'єкт і предмет досліджень. Викладено новизну і практичне значення отриманих наукових результатів. Наведено дані про публікації і апробацію результатів роботи, охарактеризовано особистий внесок здобувача. Наведені результати про практичне впровадження основних наукових результатів.

У **першому** розділі проведено загальний аналіз стану і наведені існуючі проблеми розвитку процесів управління складними СТС і К при їх експлуатації. Визначені, засновані на прикладі управління СЕЕС, основні проблеми удосконалення, підвищення енергетичної ефективності і тенденції розвитку СТС і К. Висунута *гіпотеза* дослідження, де передбачається, що при умові застосування запропонованого методу синтезу програмно-апаратного забезпечення проблеми вдосконалення процесів управління складними СТС і К вирішуються визначенням конфігурації і структури їх систем управління. Проведено аналіз відомих способів підвищення енергетичної ефективності СЕЕС, запропоновані рівні абстрагування опису АСУ і принципи оцінювання результуючої ефективності СТС і К. Системний аналіз визначеної проблеми показав, що розв'язання головного завдання характеризується взаємозалежністю й замкнутістю процедур аналізу й синтезу. У загальному виді побудову автоматизованих СТС і К формалізовано у вигляді логічної схеми алгоритму (ЛСА):

$$S_{\Pi} \overset{1}{\downarrow} \text{ФМ.ФЗ.} x_1 \overset{1}{\uparrow} A_1 A_2 \overset{2}{\downarrow} A_3. x_2 \overset{2}{\uparrow} A_4. x_3 \overset{2}{\uparrow} \overset{3}{\downarrow} A_5. A_6. x_4 \overset{3}{\uparrow} A_7. S_K, \quad (1)$$

де S_{Π} , S_K – оператори початку й кінця ЛСА; ФМ – формулювання мети дослідження; ФЗ – формулювання головного завдання дослідження; A_1 – вибір і розробка системи основних принципів побудови і управління СТС і К; A_2 – проведення систематизованих, ергатичних і ергономічних досліджень СТС і К діючого флоту, аналіз результатів дослідження, складання техніко-ергатичних і ергономічних вимог до перспективних СТС і К; A_3 – розробка/вибір вихідної фізичної структури мікропроцесорної (МП) АСУ СТС і К й опис загальних правил функціонування на теоретико-множинному рівні абстрагування; A_4 – аналіз функціональних завдань і виконання контурної декомпозиції МП АСУ; A_5 – вибір і розробка нових способів розв'язання функціональних завдань, розробка

відсутніх пристроїв сполучення МП-комплектів з об'єктами управління; A_6 – розв'язання завдань управління, розробка алгоритмічного й програмного забезпечення; A_7 – перевірка алгоритмів методами імітаційного моделювання й експериментування, аналіз результатів; x_1 – умови відповідності мети проблеми; x_2 – умови відповідності обраної системи принципів побудови; x_3 – умови задоволення завдань цілям, вимогам і принципам; x_4 – умови задоволення частковим і загальним принципам ефективності МП-управління СТС і К.

Показано, що у (1) кожному i -му функціональному завданню може бути поставлена у відповідність окрема цільова інтегральна $\Pi(i)$ функція, що визначає ефективність його розв'язання. Повна сукупність таких приватних функцій відбиває ефективність СТС і К у цілому, але значимість окремих цільових функцій у комплексній інтегральній оцінці ефективності СТС і К не однакова. Узагальнену оцінку необхідно будувати шляхом композиції приватних цільових функцій з обліком їх внеску у загальну ефективність E СТС і К:

$$E = \sum_{ji}^n P_{ji} \Pi_{ji},$$

де P_{ji} – вагові коефіцієнти для кожного з функціональних завдань, які є загальними для всіх порівнюваних систем, причому P_{ji} і Π_{ji} зв'язані взаємно-однозначною відповідністю і які обираються окремими чином.

При розв'язанні із (1) завдань управління СТС і К використані критерії: мінімізації інтенсивності відмов; питомої витрати палива на виробництво електроенергії; часу запуску і часу перехідних процесів; максимізації забезпечення безперебійності електропостачання; швидкодії; охопту параметрів об'єкта функціями контролю й управління; граничної вірогідності вихідної інформації, необхідної для ухвалення рішення; точності процесів регулювання, ступені автоматизації; мінімізації вартості керування та інші.

Це суперечливі критерії, що ускладнюють обрання найкращого рішення, оскільки представляються функціями, які не мають явно виражених екстремумів. Тому, для оцінки синтезованих СТС і К, становить інтерес застосування показників технічної корисності (ПТК), де ефективність розглядається як апостеріорна оцінка якості системи, а "технічна корисність" є оцінкою якості системи, як засобу для досягнення поставленої мети (про досягнення мети TGT_j об'єктом OBJ_i судять із ймовірністю P_{ji}). Для досягнення мети потрібний час t_{ji} і ресурси (витрати) EXP_{ji} . При частковому досягненні мети мають місце додаткові втрати (часу, інших ресурсів) LOS_{ji} . Отже, можна визначити математичне очікування розміру ресурсів $MEX P_{ji}$, якщо ймовірність досягнення мети TGT_j на інтервалі t_{ji} становить P_{ji} :

$$MEX P_{ji} = EXP_{ji} + LOS_{ji}(1 - P_{ji}). \quad (2)$$

Імовірнісні оцінки P_{ji} визначаються, як характеристики, наприклад, надійності (імовірність безвідмовної роботи для часового інтервалу, необхідного для досягнення мети), або шляхом експертного оцінювання. Враховуючи, що

$MEX P_{ji}$ визначається як математичне очікування втрат, а математичне очікування суми випадкових величин дорівнює сумі їх математичних очікувань, при об'єднанні декількох об'єктів $OBJ(N_{OBJ})$, для досягнення однієї або декількох цілей $TGT(N_{TGT})$, загальну корисність опишемо як:

$$|MEX P(N_{OBJ} \times N_{TGT})| = \sum_{ji} MEX P(j, i) |TGT(N_{TGT})|, \quad (3)$$

Технічна корисність визначає витрати на досягнення мети, тому, як критерій, повинна мінімізуватися. Показано, що особливо ефективним є використання ПТК для порівняння конкурентоспроможних об'єктів/рішень:

$$OBJ(i)|TGT(j) > OBJ(k)|TGT(j) \leftrightarrow MEX P(j, i) < MEX P(k, j), \quad (4)$$

де ">" знак переваги. Якщо об'єкти $OBJ(i)$ і $OBJ(k)$ придатні для досягнення мети $TGT(j)$, то важливіший з них той, для якого $MEX P_{ji}$ менший.

У другому розділі наводяться використані у дослідженні методи аналізу і синтезу процесів управління СТС і К. Запропоновані принципи побудови алгоритмів управління, ергатичного і ергономічного аналізу СТС і К складної конфігурації, наведена методика оцінювання ефективності процесів експлуатації СТС і К, принципи побудови розподіленої ієрархії управління СТС і К складної конфігурації, визначена "технологія" наукового дослідження. Так, використано принцип системного аналізу, де на основі сформульованих принципів і критеріїв усі стадії синтезу якісно нових судових ТС і К ґрунтуються не стільки на евристичній інтеграції попереднього досвіду розробки й експлуатації СТС і К, скільки на єдиній методології системного підходу, основними положеннями якого є уява про цілісність, поняття зв'язку, структури, ієрархії. Наприклад, конкретна реалізація цих пропозицій стосовно САЕЕС надала можливість представити її як систему S_{CAEES} у вигляді сукупності елементів:

$$S_{CAEES} = S_{ТП} \cup S_y, S_y = S_{cy} \cup S_{фх},$$

де $S_{ТП}$ – елементи технологічного процесу виробництва електроенергії на судні; S_y і S_{cy} – елементи управління і технічної частини системи управління; $S_{фх}$ – фахівці забезпечення технічної експлуатації САЕЕС. У зазначеному підході враховується, що S_{cy} й $S_{фх}$ проявляють свої властивості як єдине ціле.

Використання принципу функціонально-структурної ієрархії дозволило для досягнення глобальної цільової функції передбачити таку організаційну ієрархію, при якій є погодженість цілей і координація підсистем нижнього рівня з боку верхнього рівня. Використано ієрархію прийняття рішень у СТС і К із застосуванням методів адаптації у багатопарових структурах управління для компенсації апіорної інформації про об'єкт управління і навколишнє середовище. Можливі зміни характеристик об'єкта у процесі експлуатації пропонується подолати введенням у підсистеми спеціального шару адаптації, що змінює

стратегію управління СТС і К. Наприклад, для САЕЕС стратегію регулювання потужності змінюють на підставі аналізу поточної інформації про якість процесів управління у цьому режимі. Згідно принципу функціонально-структурної ієрархії, функціональну схему будь-якої СТС і К, наприклад, функціональну схему САЕЕС, можна представити так, як показано на рис. 1, де позначено: X – сигнали від датчиків; X_{op} – керуючі сигнали від оператора; X_{SLC} , X_{ADP} , X_{DCS} – вхідні сигнали відповідних їм перетворювачів – шару вибору U_{SLC} , шару адаптації U_{ADP} і шару ухвалення рішень U_{DCS} , причому $X = X_{SLC} \cup X_{ADP} \cup X_{DCS}$, Y_{SLC} , Y_{ADP} – виходи відповідних перетворювачів; Y – керуючі впливи.

Перетворювач U_{SLC} визначає стан системи у поточному технологічному циклі і вибирає режим експлуатації (X_{SLC} – Y_{SLC} – алгоритми) відповідно до принципу зосередження функцій.

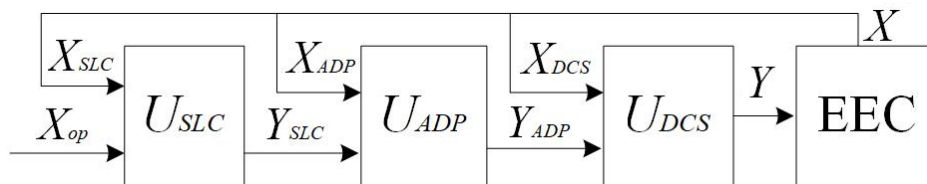


Рис. 1. Функціональна схема САЕЕС, що побудована у відповідності до визначеного принципу функціонально-структурної ієрархії

Далі, U_{ADP} , на підставі дійсних характеристик об'єктів управління і умов роботи САЕЕС у поточному режимі, визначає оптимальні шляхи переходу у наступний режим роботи САЕЕС. Нарешті, U_{DCS} розраховує впливи на ЕЕС, виводить їх на виконавчі органи і контролює їх виконання.

Показано, що для САЕЕС перспективних для будівлі суден, найбільш повно сформульованим принципам і критеріям відповідає багатомашинна МП-система з розподіленою за рівнями управління структурою (див. рис. 2).

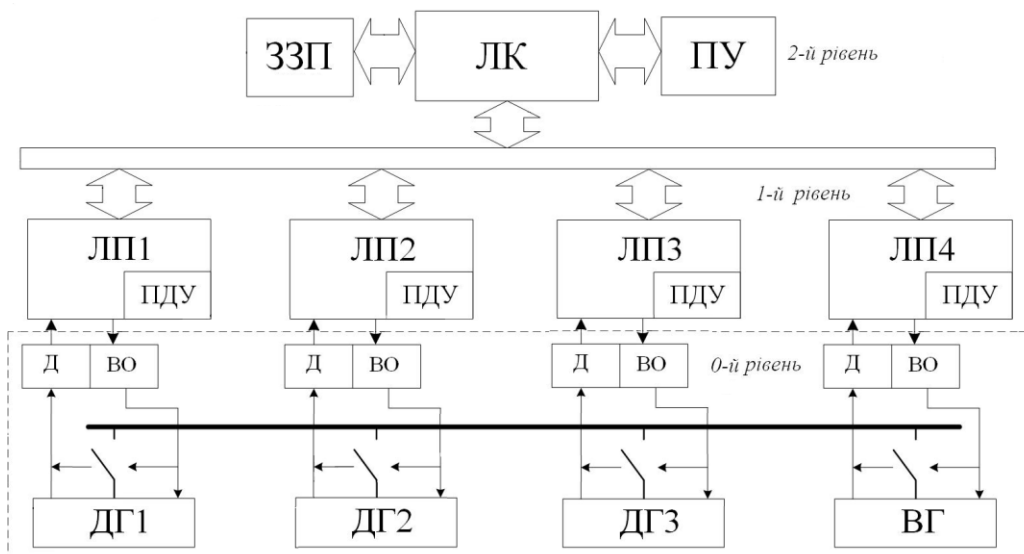


Рис. 2. Дворівнева МП-система управління САЕЕС

При декомпозиції управління СТС і К не накладено обмеження на можливі зв'язки між підсистемами, і ієрархічну структуру представлено повним графом $GR(T, R)$, де T – безліч вершин (підсистем). Вершини нульового рівня відповідають місцям установки первинних датчиків Д і виконавчих органів ВО, вершини 1-го рівня – локальним підсистемам ЛП, 2-го рівня – координаторові.

Спрощення структури запропонованого графу виконано горизонтальною декомпозицією, структуру графа GR покрито деревом $TR(T, R')$ з тією ж кількістю вершин, але із суттєво меншим числом ребер. При запропонованому підході кожна локальна підсистема $ЛП_i$, незалежно від інших ЛП 1-го рівня, управляє своїм об'єктом (на рис. 2 - дизель-генераторами $ДГ_i$, валогенератором ВГ), здійснюючи збір, обробку і аналіз даних процесу з метою визначення станів агрегату, обміну даними з координатором, керування процесами пуску, зупинки, синхронізації і т.д. Наприклад (див. рис. 3), якщо у працюючого ГА $GA(1)$ виникла критична аварія, то локальна підсистема $LS(1)$ формує сигнал $SP(1)$ на відключення $GA(1)$ з максимально припустимою за умовами технічної експлуатації затримкою τ й одночасно передає інформацію у локальний координатор LC , який запустить у хід ряд паралельних програм, спрямованих на "порятунок" системи електропостачання шляхом екстреного запуску $STQ(i)$ i -го ГА, розвантаження СЕЕС відключенням частини споживачів через пристрій контролю й захисту (ПКЗ) із повідомленням оператору $CR(1)$ – "Критична аварія ДГ № 1". Крім того, отримана інформація буде передана на вищий рівень $CHI(CEY)$ – у систему управління всією енергетичною установкою судна.

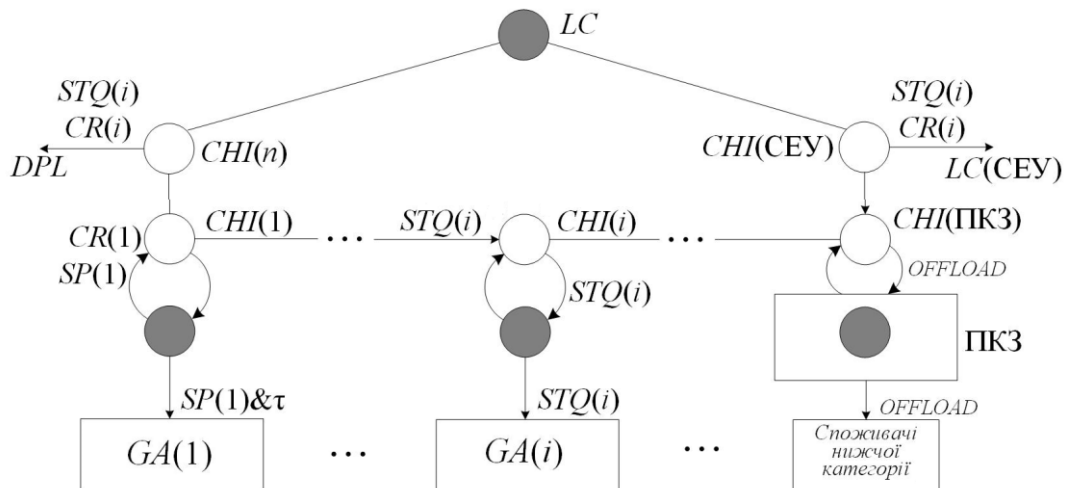


Рис. 3. Деталізований фрагмент узагальненої схеми контурної декомпозиції МП-системи управління САЕЕС

Обґрунтована доцільність використання системних принципів методології наукових досліджень у роботі і наведені: а) структурно-логічна схема побудови такого процесу наукового дослідження, метою якого є удосконалення управління складних СТС і К при функціонуванні суден у різних експлуатаційних умовах, б) особливості синтезу АСУ складних СТС і К різного призначення (див. рис. 4), в) технологічна карта-схема дослідження, що ураховує визначені головні і допоміжні завдання і наукові результати, які виносяться на захист.

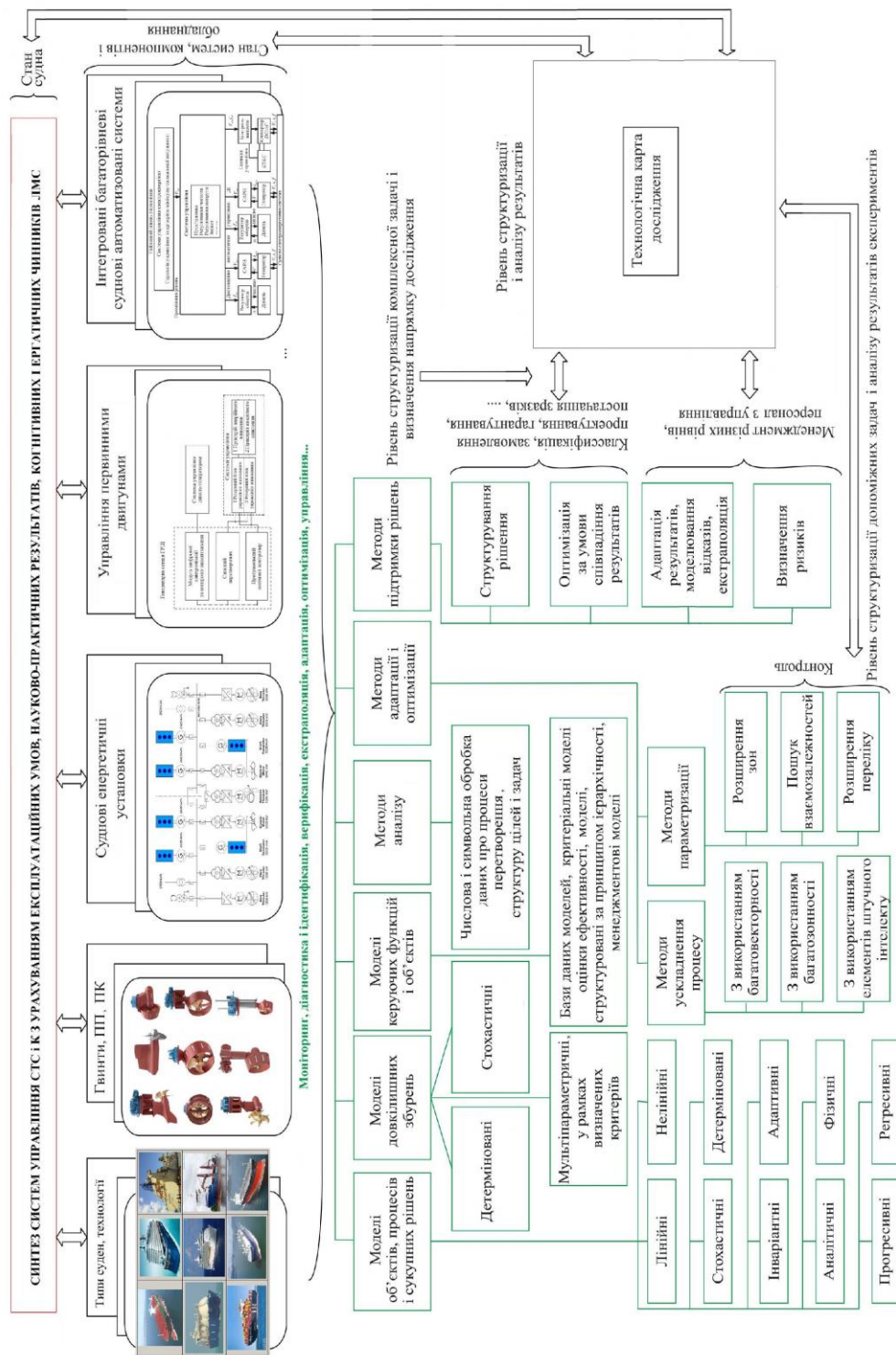


Рис. 4. Особливості синтезу АСУ складних СТС і К різного призначення

У **третьому** розділі запропоновано комплекс нових і удосконалених рішень з інформаційно-вимірювальної підтримки при реалізації процесів управління СТС і К. Зокрема, запропоновано принцип виміру і контролю навантаження САЕЕС із використанням імовірнісних характеристик збурювальних процесів, наведені удосконалені методики виміру параметрів електроенергії САЕЕС, у тому числі – на основі мультипліційної обробки вимірюваних змінних (струму, напруги, частоти тощо).

Як приклад реалізації рішень з інформаційно-вимірювальної підтримки, при вимірюванні параметрів трифазної системи електропостачання (рис. 5, а), за допомогою формувачів прямокутних імпульсів, перетворені три лінійні (AB , BC , CA) напруги і три фазних (A , B , C) струми генератора у дискретні сигнали. Послідовний, побайтний аналіз наборів станів вхідних сигналів надав можливість визначити закон управління АЦП, на вхід якого надходять нормалізовані амплітудні значення повних струмів фаз і лінійних напруг генератора.

На рис. 5, б. наведені діаграми, що пояснюють сутність запропонованого способу виміру.

Для n -фазної системи число можливих станів системи складе $C_{PLod} = 2n$ для непарного числа фаз і буде дорівнювати $C_{PLEv} = n$, якщо кількість фаз у системі парне. У свою чергу, число неможливих станів у n -фазній системі визначається виразом $C_{ILod} = 2^n - 2n$ для непарного числа фаз і $C_{ILEv} = 2^n - n$ – для парного. Однозначні набори 0–0–0 і 1–1–1 у симетричній трифазній системі неможливі.

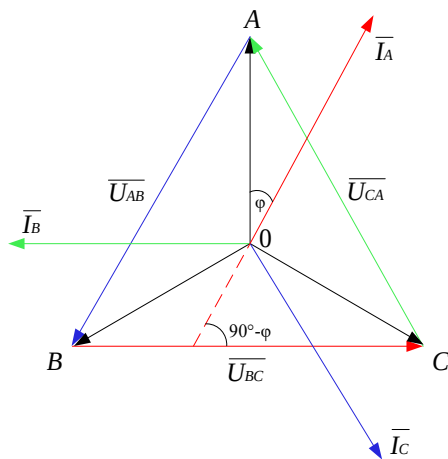


Рис. 5, а. Трикутник напруг і струмів трифазної СЕЕС

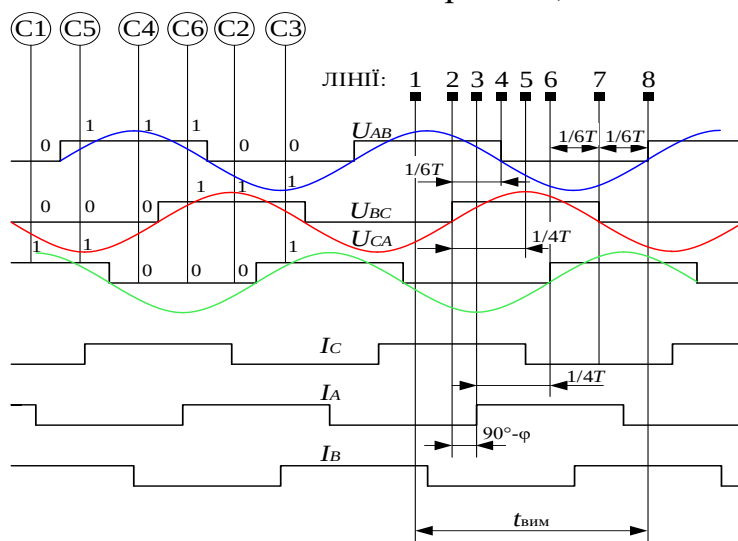


Рис. 5, б. Діаграми, що пояснюють пропонувані способ багатомірного виміру параметрів електроенергії у трифазній САЕЕС

Можливі набори станів для послідовності чергування лінійних напруг U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} позначені $C_1, \dots, C_6$ так, щоб порядковий номер стану збігався з його двійковим кодом, тобто $C_1 - 001$ ($U_{AB}=0$; $U_{BC}=0$; $U_{CA}=1$); $C_2 - 010$; $C_3 - 011$; $C_4 - 100$; $C_5 - 101$; $C_6 - 110$. Таким чином, кожний стан визначає єдиний можливий за критерієм швидкодії шлях (алгоритм) розв'язання завдання виміру параметрів. Якщо вихідний стан – C_4 (на діаграмі це позначене лінією – 1), тому найближчим за часом є зміна стану біта U_{BC} . Тому програма виміру визначає момент переходу U_{BC} з «0» у «1» (лінія 2) і записує все вихідне слово, у якому маскуються всі біти, крім U_{BC} і I_A . Наприклад, аналіз значень цих бітів дозволяє ви-

значити напрямок потужності генератора – якщо U_{BC} переходить:

від 0 до 1, а $I_A = 0$,
від 1 до 0, а $I_A = 1$ } – тоді

це генераторний режим;

від 0 до 1, а $I_A = 1$,
від 1 до 0, а $I_A = 0$ } – тоді

це руховий режим.

Отримані у такий спосіб цифрові коди, що відповідають поточним зна-

ченням I_A, I_B, I_C, U, f і φ дозволяють розрахувати активну – P , реактивну – Q і повну потужність по відомих залежностях: $P = UI \cos \varphi$, $Q = P \tan \varphi$, $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$, або $S = UI$, визначати ступінь нерівномірності їх розподілу за фазами (обрив, коротке замикання (КЗ), несиметричне навантаження і т. д.). Для підвищення швидкодії виміру активної і реактивної потужності ГА пропонується відмовитися від операцій, пов'язаних з їх розрахунками за значеннями і фазою струму. Досягається це формуванням імпульсу на вимір струму навантаження у момент зміни стану битів спеціально обраних напруг: для $I_A \rightarrow U_{BC}$; для $I_B \rightarrow U_{CA}$; для $I_C \rightarrow U_{AB}$. У цьому випадку (див. рис. 5, б), моменти виміру активних струмів будуть проводитися по лініях 2, 4, 6 відповідно для струмів I_A, I_B, I_C . Практична можливість застосування залежить від швидкодії і принципу роботи АЦП, а особливістю програмної реалізації запропонованого рішення є адаптація процесу виміру до стану параметрів електроенергії на момент введення інформації $C = \{C_1, \dots, C_n\}$ і часового інтервалу між моментом введення C_i і початком його аналізу $t = \{t_1, \dots, t_n\}$, де $n = 1, 2, 3, \dots$.

У четвертому розділі синтезуються процеси базового управління верхнього рівня складними СТС і К. Запропонована семантика опису і методика декомпозиції завдань управління, наведений і проілюстрований різними прикладами, підхід до синтезу програми супервізора координатора програми управління складними СТС і К. Як приклад, наведена послідовність розв'язання завдання координованого управління САЕЕС при змінах навантаження і пропонується удосконалення системи управління багатомашинною МП-системою з розподіленою дворівневою ієрархічною структурою (рис. 6).

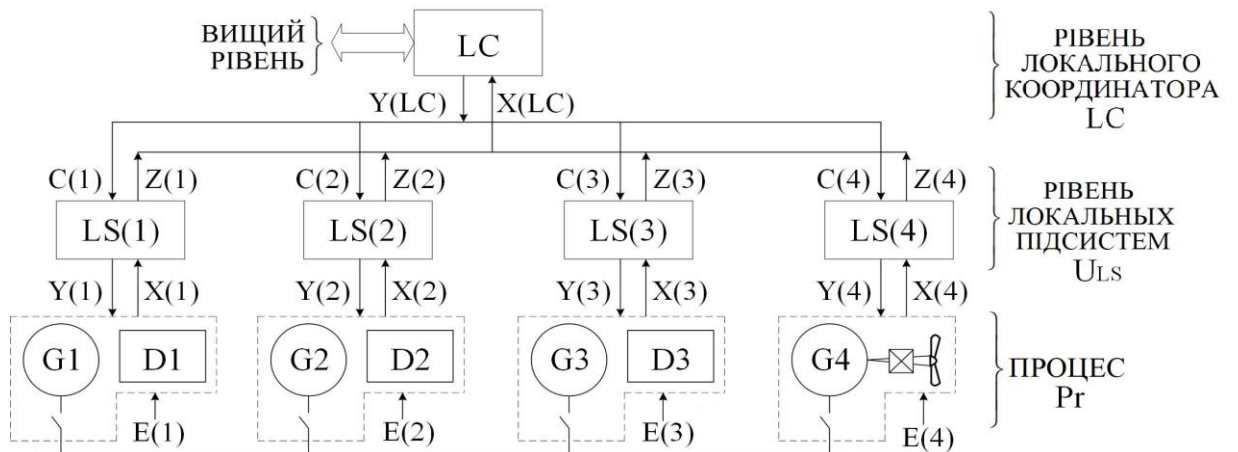


Рис. 6. Структура управління і інформаційні зв'язки багатомашинної

На нижньому рівні (рівень локальних підсистем $U_{LS}(i)$, $i \in \overline{1,4}$) у кожній $LS(i)$ підсистемі визначається розв'язання завдань: організація вибірки й введення даних процесу (INP); вимір робочих параметрів ГА і параметрів електроенергії (MS); формування аварійно-попереджувальних сигналів (EM) і відеоінформації (VD); управління "гарячим" резервом (HRS); управління процесами пуску (ST), зупинки (SP), синхронізації (SY), захистами й блокуваннями (BP)

свого ГА, виконання команди на розподіл (SH) або скидання (UNL) навантаження.

Верхньому рівню (рівень локального координатора LC) визначено завдання оптимізації процесів управління і адаптації у нормальних і аварійних режимах СЕЕС. При цьому, глобальне завдання (відповідно до принципу зосередження функцій) спрямоване на забезпечення гарантованого електропостачання найбільш можливої якості у всіх експлуатаційних режимах.

Декомпозиція й розв'язання завдання синтезу системи уніфікованих алгоритмів, визначені принципом зосередження, тому тут це завдання сформульовано у вигляді узагальненої результатної функції:

$$RF(N(a) \rightarrow N(b)) \cong R(OVL, UDL, EM, SQ, MIN, D) \rightarrow \\ \rightarrow (WR: ST(k), SP(l), SH(i, k), UNL(i, k)),$$

тобто перехід від складу $N(a)$ паралельно працюючих ГА до складу $N(b)$ визначається обчислювальною функцією R , у результаті розв'язання якої LC формує (WR – запис) таких команд, як пуск (ST) k -го, зупинка (SP) l -го ГА, розподіл навантажень $SH(i, k)$ між i -м і k -м ГА або скидання (переклад) $UNL(i, k)$ навантаження з i -го на k -й ГА. Аргументами функції R є предикати, істинність яких має місце: при досягненні навантаження СЕЕС верхньої (OVL) або нижньої (UDL) межі; при аварійному (EM) стані окремого ГА або групи ГА; послідовності (SQ) включення/відключення ГА у певному обмеженні за мінімально припустимою кількістю ГА у режимі (MIN), а також додаткових вимог (D). Так, на рис. 7 представлено граф станів СЕЕС $GR(N_{GR})$, де SFG і $GA(i)$, $GA(k)$, $GA(l)$ позначення валогенераторів (ВГ) і дизель-генераторів (ДГ) відповідно, а знаки $\sim$, $\rightarrow$, $\#$, $+$, показують процеси синхронізації SY , перекладу UNL навантаження, розподілу SH навантаження й паралельної роботи відповідно; BLC – стан знеструмленої СЕЕС. Граф $GR(N_{GR})$ є повністю заданим, оскільки його вершини пронумеровані – $N_{GR} = \overline{1.18}$.

Кожна вершина $GR(i) \in GR(N_{GR})$, $i \in N_{GR}$ зіставлена із предикативним станом $LC(i) \in LC(N_{LC})$, де N_{GR} і N_{LC} нумерації, зв'язані відповідністю $|N_{GR}| = |N_{LC}| = 18$. Наприклад, якщо у СЕЕС ВГ синхронізується до i -го ДГ, то тільки один предикат $LC(13) = I$ дійсний, а інші – хибні. Управління складом ГА при зміні навантаження здійснюється шляхом: вибору резерву $PRSEL$, формуванням команд на запуск $ST(i)$ (при досягненні навантаженням верхнього порогу $PH(l)$ завантаження для l паралельно працюючих ГА) або зупинку $SP(i)$ (при досягненні нижнього порогу $PD(l)$) резервних ГА згідно з діючою черговістю $SQ(i) \in SQ(N_{SQ})$ включення/відключення ГА, а також виконанням програм пуску $PRST$ або зупинки $PRSP$, синхронізації $PRSY$, розподілу $PRSH$ або переведення $PRUNL$ навантаження.

Програма координатора після кожного технологічного циклу T_{TC} : визначає кількість ГА, підключених до ГПЦ, тобто виконує підпрограму рахування $SBCNT$, що породжує предикат $WRK(l)=I$, якщо працюють l ГА; розраховує не-

обхідну, відповідно до завантаження, кількість ГА, тобто виконує програму *PRNRY*, що породжує предикати $NRY(l) = I$, $NRY(l+1) = I$, $NRY(l-1) = I$, якщо у САЕЕС необхідні відповідно $l-1$, l , $l+1$, паралельно працюючих ГА і вибирає резервний ГА за допомогою програми *PRSEL* для запуску *PRST* або зупинки *PRSP*. Узагальнена структура перетворювача для управління складом ГА, яка відповідає сформульованим вище вимогам, представлена на рис. 8, де $GA(NGA) = \bigcup^m GA(i)$ – безліч ГА, установлених у САЕЕС.

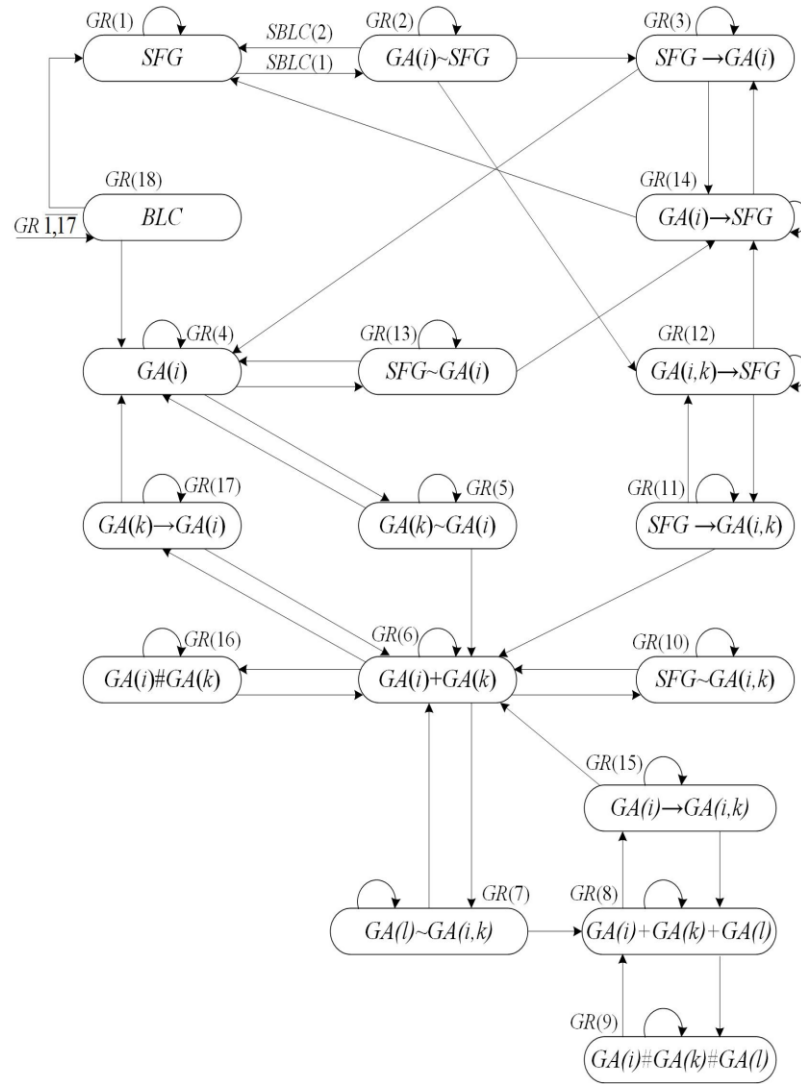


Рис. 7. Граф станів СЕЕС

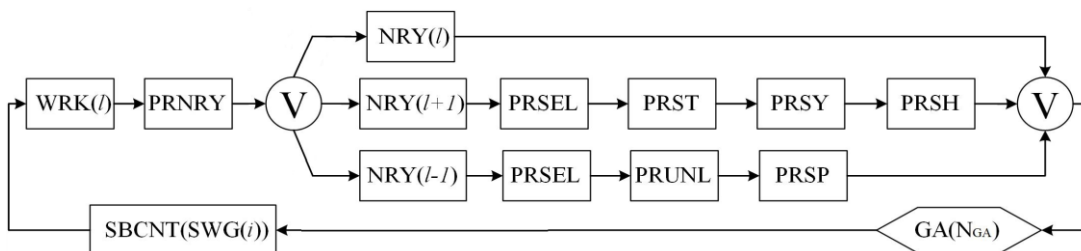


Рис. 8. Узагальнена структурна схема перетворювача

Верхні пороги завантаження ГА визначаються з розрахунку припустимого за технічними умовами навантаження P_d на один ГА і необхідного запасу генерованої потужності $v_1 P_d$, $0 < v_1 < 1$, а нижні пороги - із розрахунку доцільного з економічних міркувань запасу потужності $v_2 P_d$, $0 < v_2 < 1$. У такому випадку породження предикатів $PH(l)$, $PD(l)$ записані у вигляді правила:

$$\begin{aligned} & \text{while } PRNRY \text{ do: } \sum_{i=1}^l P_{\Gamma}(i) \text{ if } \sum_{i=1}^l P_{\Gamma}(i) \geq (\sum_{i=1}^l P_d(i) - v_1 P_d) \\ & \text{then } PH(l) \text{ else if } \sum_{i=1}^l P_{\Gamma}(i) \leq (\sum_{i=1}^l P_d(i) - v_2 P_d) \text{ then } PD(l) \text{ else fi od,} \end{aligned} \quad (5)$$

де $P_{\Gamma}(i)$ – поточне навантаження i -го ГА. Потужність $P_{\Gamma}(i)$, залежно від технічних умов, буде змінюватися у межах:

$$(1 - \frac{1 + v_2}{l}) P_d \leq P_{\Gamma}(i) \leq (1 - \frac{v_1}{l}) P_d, P_d = P_H K_{RCL}, \quad (6)$$

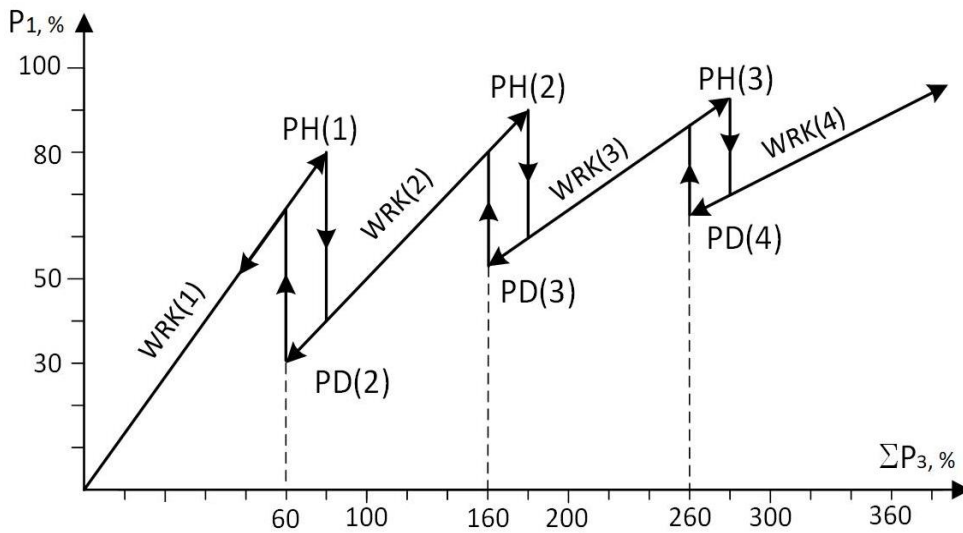


Рис. 9. Діаграма управління складом ГА за принципом "жорстких" порогів завантаження

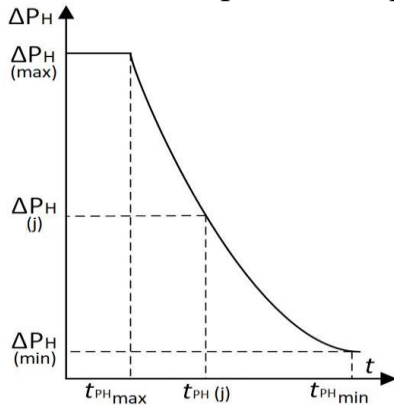


Рис. 10. Діаграма, що пояснює корегування часової затримки від потужності

де K_{RCL} – коефіцієнт перерахування потужності при зміні умов навколишнього середовища;

$(1 - \frac{1 + v_2}{l})$ – кое-

фіцієнт завантаження; P_H – номінальна потужність ГА. На рис. 9 показана діаграма управління складом ГА за принципом "жорстких" порогів за-

вантаження при $v_1=0,2$ і $v_2=0,4$, відповідно до управління 4-х агрегатною САЕЕС. З метою фільтрації нетривалих викидів навантаження, пов'язаних, наприклад, з пуском або повторно-короткочасною роботою споживачів, запропоновано спосіб часового розподілу викидів, а для узгодження перевантажувальних характеристик ГА - з часовими затримками (амплітудно-часовий поділ).

Викиди не враховуються, якщо їх тривалість менше заданого часового інтервалу $t_{PH}(min) \pm$

Δt_{PH} , де Δt_{PH} – часовий інтервал, що корегує нестабільність тривалості викиду. Якщо ж після закінчення $t_{PH}(min)$ значення викиду $PH(l) = I$, то значення другого часового інтервалу затримки обирається залежно від величини потужності ΔP_H що встановилась, відповідно до навантажувальних характеристик ГА, наприклад, як показано на рис. 10. Для відліку затримок $t_{PH}(min)$ і $t_{PH}(j)$ передбачені підпрограми таймеру $PR1TM$ і $PRTM$, що породжують відповідні їм предикати $T1PH$ і TPH . За аналогією синтезовані алгоритми оптимального управління СЕЕС за умови мінімуму витрати палива та з урахуванням метеорологічних умов плавання, а також у нормальних і аварійних режимах її роботи. Методами моделювання доведена ефективність запропонованих рішень.

У п'ятому розділі синтезуються процеси управління нижнього ієрархічного рівня розподіленої системи управління на прикладі САЕЕС. Наведені особливості синтезу програми супервізора локальних підсистем управління різних СТС і К. Як приклад, при аналізі структур розподілених САУ СТС і К, структура розподіленої системи АСУ ГА представлена об'єднанням $S = \bigcup_{i=1}^m LS(i) \cup LC$

декількох локальних підсистем (ЛП) на нижньому рівні за числом ГА (m) і одного локального координатора (ЛК) на верхньому рівні.

Вироблення впливів управління $Y(i)$ здійснюється обробкою вхідної інформації $X(i)$, що надходить від об'єктів управління і координаційних команд $C(i)$ від локального координатора LC , тобто $LS(i) : X(i) \times C(i) \rightarrow Y(i)$.

Крім того, кожна ЛП формує інформацію $Z(i)$ для передачі координаторові, тобто $LS(i) : X(i) \times C(i) \times Y(i) \rightarrow Z(i)$. Оскільки $X(i)$ й $Y(i)$ визначені раніше, то установлені тільки безлічі $Z(i)$ і $C(i)$:

$$\begin{aligned} Z(i) &= \{AUT(i), MNL(i), INH(i), REV(i), MST(i), MSTQ(i), \\ &MSP(i), MSPQ(i), MEM(i), LS(i, j)\}; \\ C(i) &= \{ST(i), STQ(i), SP(i), MSY(i), MUNL(i), MSH(i)\}, \end{aligned}$$

де $AUT(i), MNL(i), INH(i)$ – предикати автоматичного, ручного, заблокованого управління, відповідно; $REV(i) = (REV_i(0), REV_i(1), REV_i(2))$ – предикати, що характеризують пороги частоти обертання ГА (стоянка, мінімально стійкі та номінальні оберти); $MST(i), MSTQ(i), MSP(i), MSPQ(i), MEM$ – пам'ять пуску, екстреного пуску, стопу, екстреного стопу, аварії; $LS(i, j)$ – j -й стан, у якому перебуває i -й ГА на момент передачі інформації; $ST(i), STQ(i), SP(i), MSY(i), MUNL, MSH$ – команди, що посилає координатор у підсистему для виконання програм пуску $PRST$, екстреного пуску $PRSTQ$, зупинки $PRSP$, синхронізації $PRSY$, скидання навантаження $PRUNL$, розподілу навантажень $PRSH$. З урахуванням викладеного і результатів синтезу алгоритмів програм супервізора та прикладних програм координатора (розд. 3 і 4), систему програмного забезпечення (ПЗ) $SPR(MS)$ представлено дворівневою системою управління (HL – верхній, DL – нижній), рис. 11:

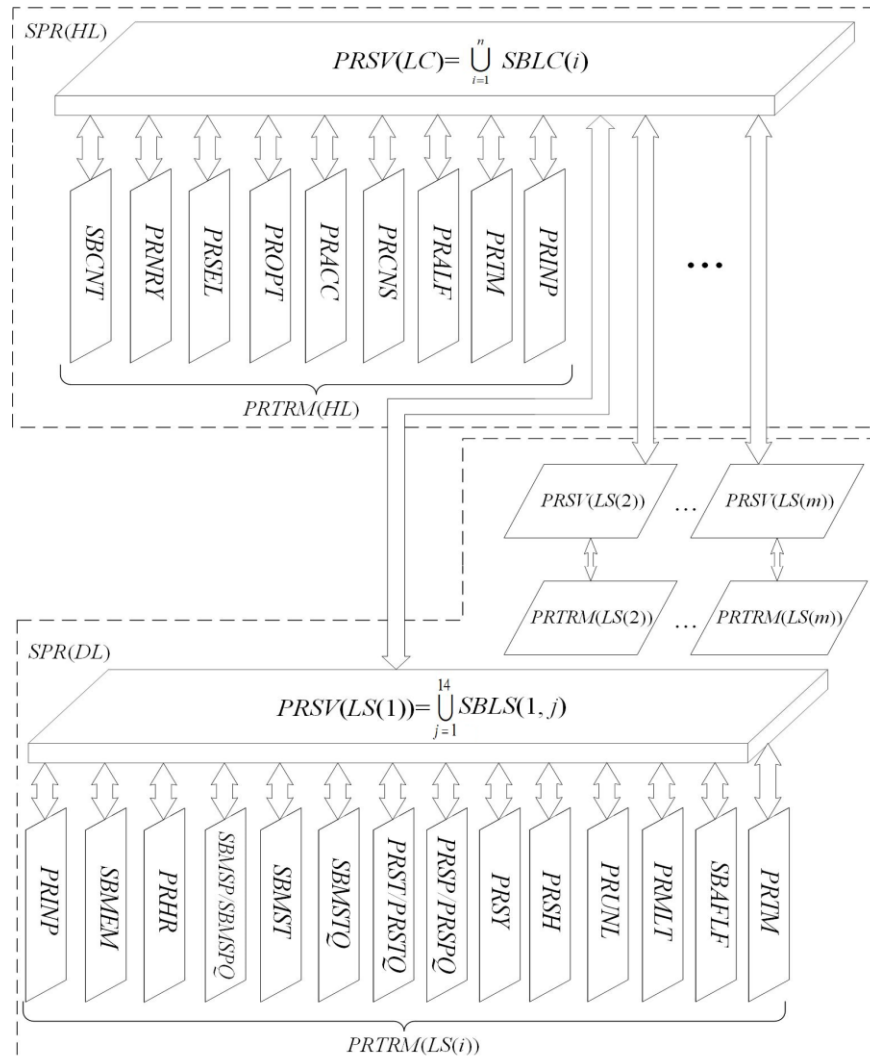


Рис. 11 Програмна структура системи управління m -агрегатною СЕЕС

Такий підхід до організації структури ПЗ відповідає принципу лабілізації й модульності, сформульованих у розд. 1 і 2 дисертації, що додає системі гнучкість при налагодженні і експлуатації, дозволяє без особливих витрат здійснювати корекцію і/або розширення функцій, розміщувати у пам'яті модулі незалежно. Особливості запропонованого синтезу алгоритмів ПЗ супервізора ЛП управління відповідають принципу функціонально-структурної ієрархії АСУ, де кожна локальна підсистема $LS(i)$ є активним елементом, для якого має місце строга періодичність вибірки даних про стан керованого об'єкта $GA(i)$ і даних, що надходять від ЛК відповідно до протоколів обміну (розд. 1 і 2). Організацію періодичного обслуговування введено у перелік завдань програми супервізора $PRSVRLS(i)$ локальної підсистеми $LS(i)$. У якості способу організації обрано спосіб переривання з періодом дискретності $T_{\text{Ц}}(LS)$, при якому супервізор у кожному новому $t+1$ такті аналізує вхідну інформацію і визначає шлях переходу об'єкту/процесу у новий, або зберігає поточний, стан.

Перший етап синтезу виконано за допомогою графів станів, один з яких наведено на рис. 12.

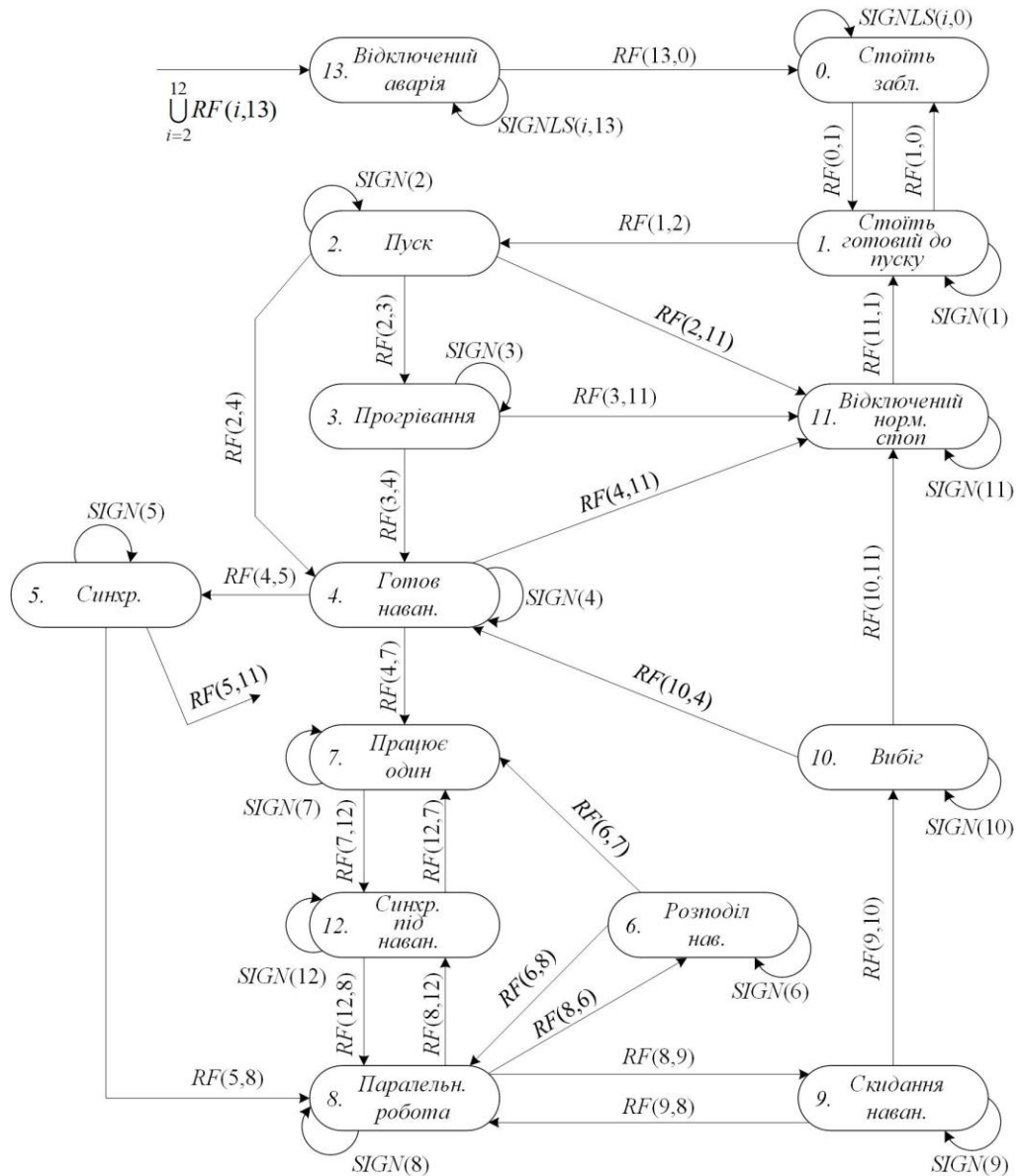


Рис. 12. Граф стану дизель-генераторної локальної підсистеми управління

Графи задані ($N_{GR}(ДГ) = \overline{0,13}$; $N_{GR}(ВГ) = \overline{0,9}$) і відносяться до класу неоднорідних, кожна вершина графів зібрана із предикативним станом $LS(i, j), i \in N_m, N_m = \overline{1,4}$, причому $j \in \overline{0,13}$ для ДГ, а $j \in \overline{0,8}$ – для валогенераторної локальної підсистеми.

Стан $LS(i, 0), i \in \overline{1,3}$ поставлено у відповідність випадку, коли i -й ДГ або заблокований $INH = I$, або обраний ручний $MNH = I$ вид управління, або зупинений у зв'язку з аварією $MEM = I$ і при кожній із цих трьох умов частота обертання ДГ дорівнює нулю $REV(0) = I$. Приклад зв'язку локальної підсистеми і об'єктів управління наведений на рис. 13.

Також, у п'ятому розділі запропонована реалізація принципів управління процесами пуску та зупинки інших розподілених систем управління СТС і К і доведена порівнянням ефективність їх використання.

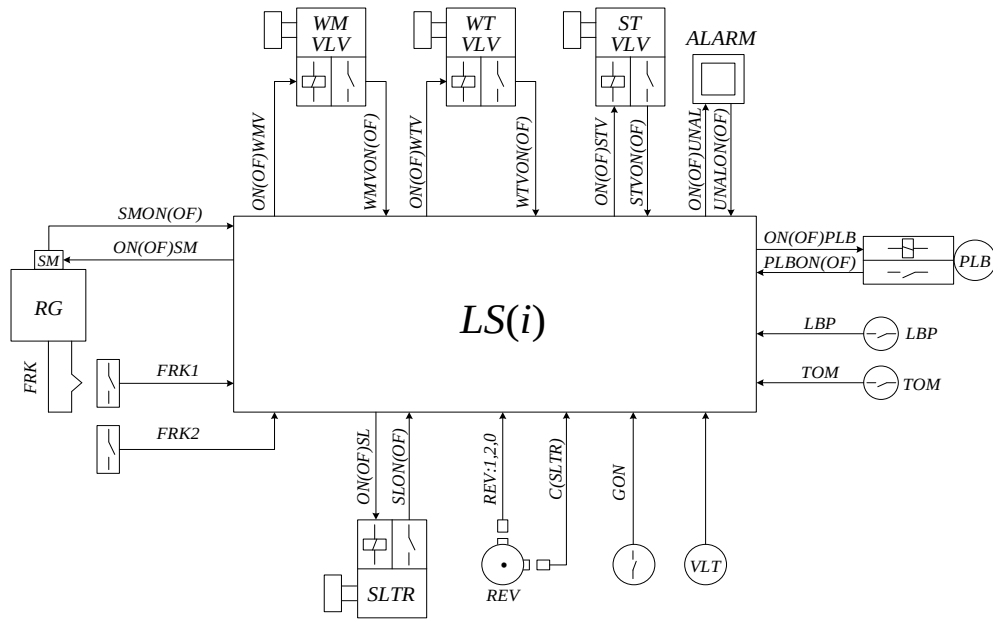


Рис. 13. Приклад зв'язків ЛП і об'єктів управління

Шостий розділ присвячений побудові принципів і синтезу методик ефективного управління процесами синхронізації ГА, що знаходяться у складі розподілених МП-систем управління складних СТС і К.

Виходячи з раніше зазначеного змісту завдань управління, визначені три види критеріїв оптимальності:

– для завдань швидкодії

$$K = \min_u T, \quad (7)$$

де T – час управління; u – параметр управління синхронізованим об'єктом;

– для завдань управління у заданий час

$$K = \min(T_{\text{зад}} - T_{\text{факт}}), \quad (8)$$

де $T_{\text{зад}}$ – заданий (пропонований) час необхідного управління, $T_{\text{факт}}$ – фактичний час, витрачене на виконання завдання управління;

– для завдань управління у заданих умовах

$$K = \min |\Delta\Pi_{\text{доп}} - \Delta\Pi_{\text{факт}}|, \quad (9)$$

де $\Delta\Pi$ – припустима величина відхилення параметру Π_i від $\Pi_{\text{доп}}$; $\Delta\Pi_{\text{факт}}$ – фактичне відхилення Π_i від $\Pi_{\text{доп}}$.

У розв'язанні завдань точної синхронізації визначальними є умови ($\Pi_{3.1}$ – $\Pi_{3.3}$) і для оцінки ефективності управління покладено у основу визначення $\Delta\Pi_{\text{доп}}$ і $\Delta\Pi_{\text{факт}}$ параметрів $D = (\Delta U_{\text{доп}}, \omega_{\text{сдоп}}, \alpha_{\text{доп}})$ і $\Phi = (\Delta U, \omega_{\text{с}}, \alpha)$, відповідно.

Враховуючи, що перевищення кожного з параметрів трійки Φ відповідного допуску із D приводить до виникнення істотного зрівняльного струму у про-

цесі синхронізації, поставимо різницю ($\Delta\Pi_{\text{доп}} - \Delta\Pi_{\text{факт}}$) у відповідність функціоналу $i_{\text{ур}}(Pi)$ і основний критерій оцінки ефективності управління процесом синхронізації має вигляд: $K = \min_u i_{\text{ур}}$. Застосувавши додатково отриману систему

стохастичних рівнянь до кожного з типів завдань оцінки ефективності, одержані наступні групи критеріїв оптимальності.

Для першого типу завдань:

$K = \min_u (P(t))$ – за швидкодії; $K = \min_u (P(T_{\text{зад}} - T_{\text{факт}}))$ – за виконанням у заданий час; $K = \min_u (P(\Pi_{\text{зад}} - \Pi_{\text{факт}}))$ – за виконанням із заданою точністю.

Для другого типу завдань:

$K = \min_u (M(T))$ – за швидкістю; $K = \min_u (M(T_{\text{зад}} - T_{\text{факт}}))$ – за виконанням у заданий час; $K = \min_u (M(\Delta\Pi_{\text{доп}} - \Delta\Pi_{\text{факт}}))$ – за виконанням із заданою точністю.

Першу групу критеріїв застосовано для оцінки якості функціонування системи при стохастичному підході до визначення моменту часу оптимуму синхронізації. Другу групу критеріїв застосовано для оцінки системи при управлінні процесом зрівняння частот синхронізованих об'єктів і визначенні моменту подачі випереджального імпульсу на включення генераторного автомату.

Якщо поставити вимогу урахувати зміну технічних характеристик об'єктів у процесі їх експлуатації, то дані завдання слід вирішувати на базі класичної теорії дуального управління Фельдбаума. З цієї теорії, синтез алгоритму управління, для частки випадків, під які підпадають останні завдання, зведено до показаного на рис. 14. У цілому, реалізація оптимальної стратегії управління процесом синхронізації, зокрема вирівнювання частот синхронізованих об'єктів і визначення моменту подачі випереджального імпульсу на включення генераторного автомату, пов'язана з розробкою ефективних способів виміру технічних показників об'єктів управління і визначення їх змін у процесі експлуатації (див. розділ 3 дисертації).

Також отримана у неявному виді результатна функція перетворювача, що розраховує тривалість імпульсу припасування $Y_{IMP}(i)$. Розв'язання поставленого завдання пов'язане із визначенням закону управління

$$PR_{IMP} : Y_{IMP}(i) \rightarrow t_{IMP}, \quad (10)$$

що дозволяє розрахувати й сформувати такі впливи t_{IMP} , реалізація яких у ланцюзі припасування $GM \rightarrow RG \rightarrow GA$ забезпечить переклад синхронізованого об'єкту на задану траєкторію руху ω_3 за мінімальний час регулювання t_p .

У структурі, наведеної на рис. 14, канал управління припасуванням частоти представлено еквівалентною схемою цифрової АСУ з вихідним сигналом ω_{SY} (див. рис. 15). Тут МП система виконує роль дискретного пристрою автоматичного управління, що працює циклічно, з інтервалом відновлення інформації $\tau = T_{\text{ТЦ}}$, а на рис. 16 наведена ілюстрація реалізації запропонованого методу дуального управління підгонкою частоти ГА.

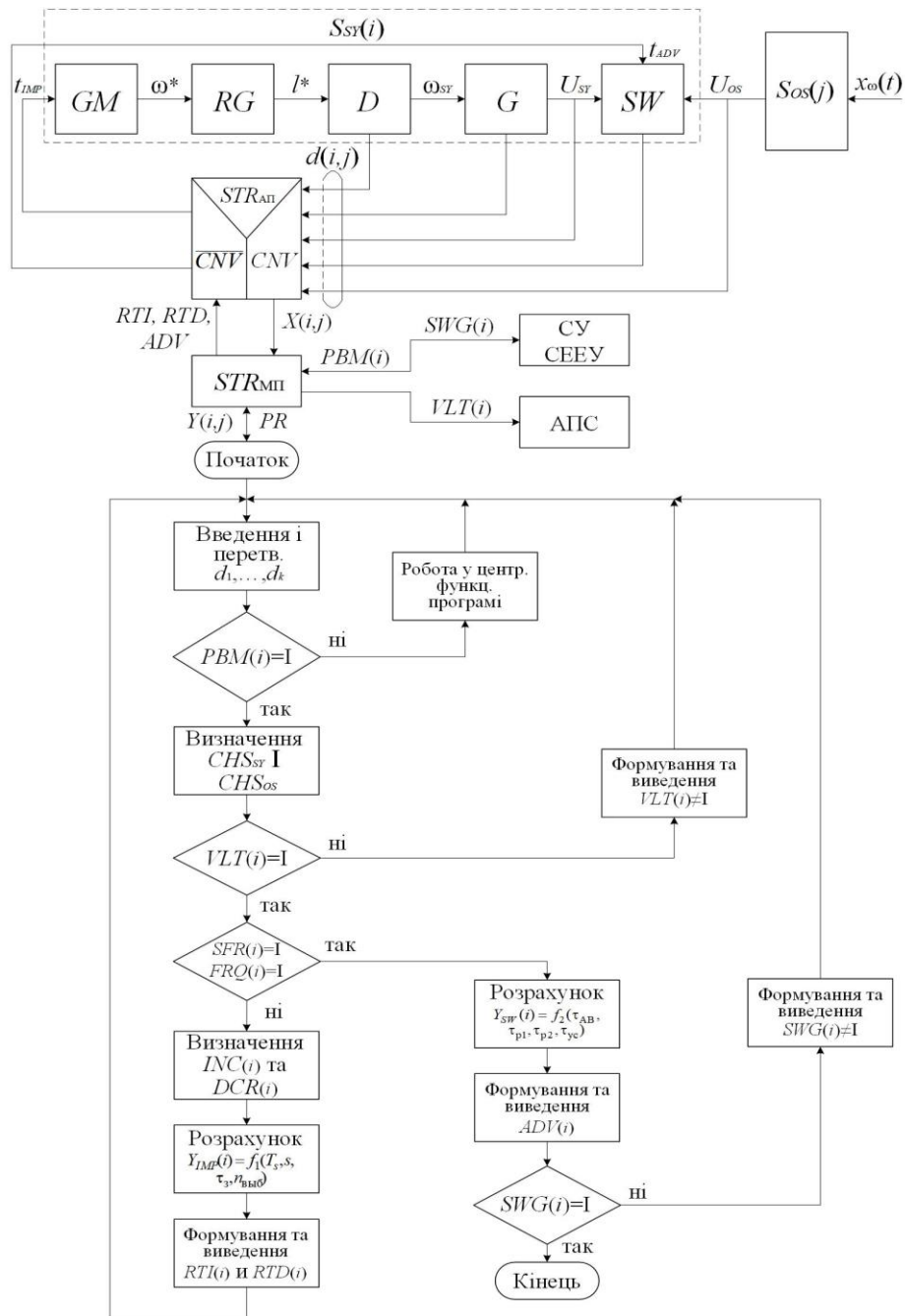


Рис. 14. Узагальнена структура управління процесом синхронізації ГА

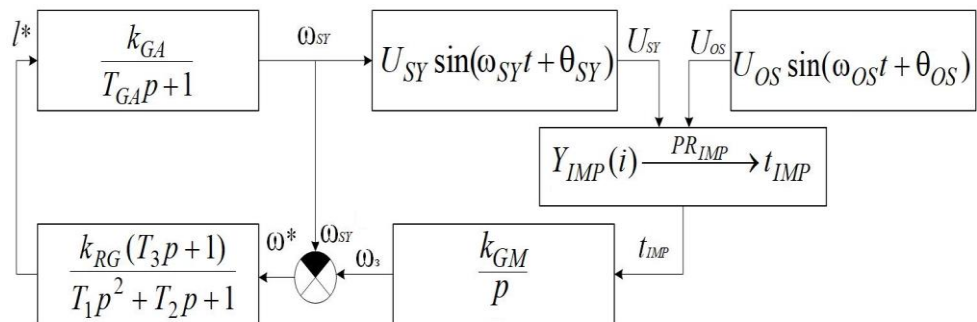


Рис. 15. Структурна схема каналу "підгонки" частоти

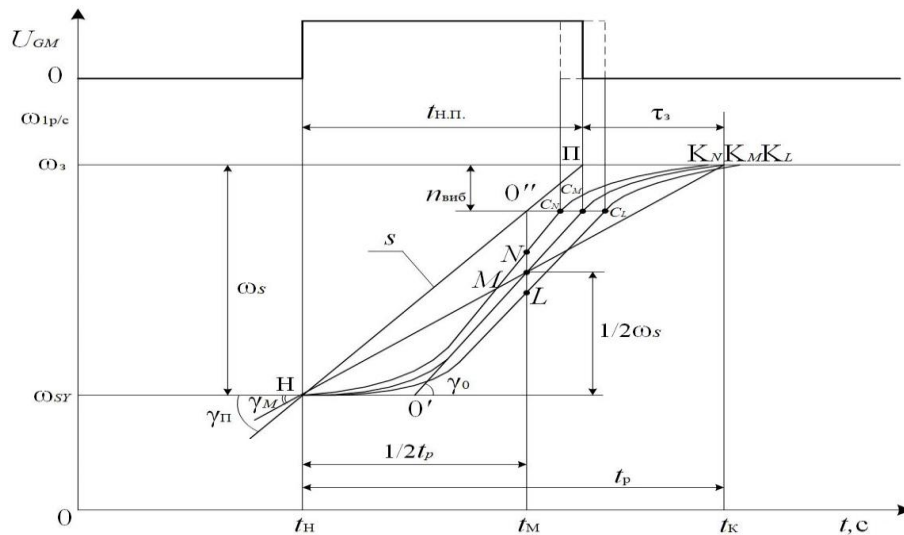


Рис. 16. Процеси при дуальному управлінні "підгонкою" частоти

З метою встановлення вірогідності запропонованих алгоритмів управління реальним фізичним процесам, створено фізичну модель САЕЕС і проведені відповідні експерименти з синхронізації суднових ГА (див. рис. 17 і рис. 18).

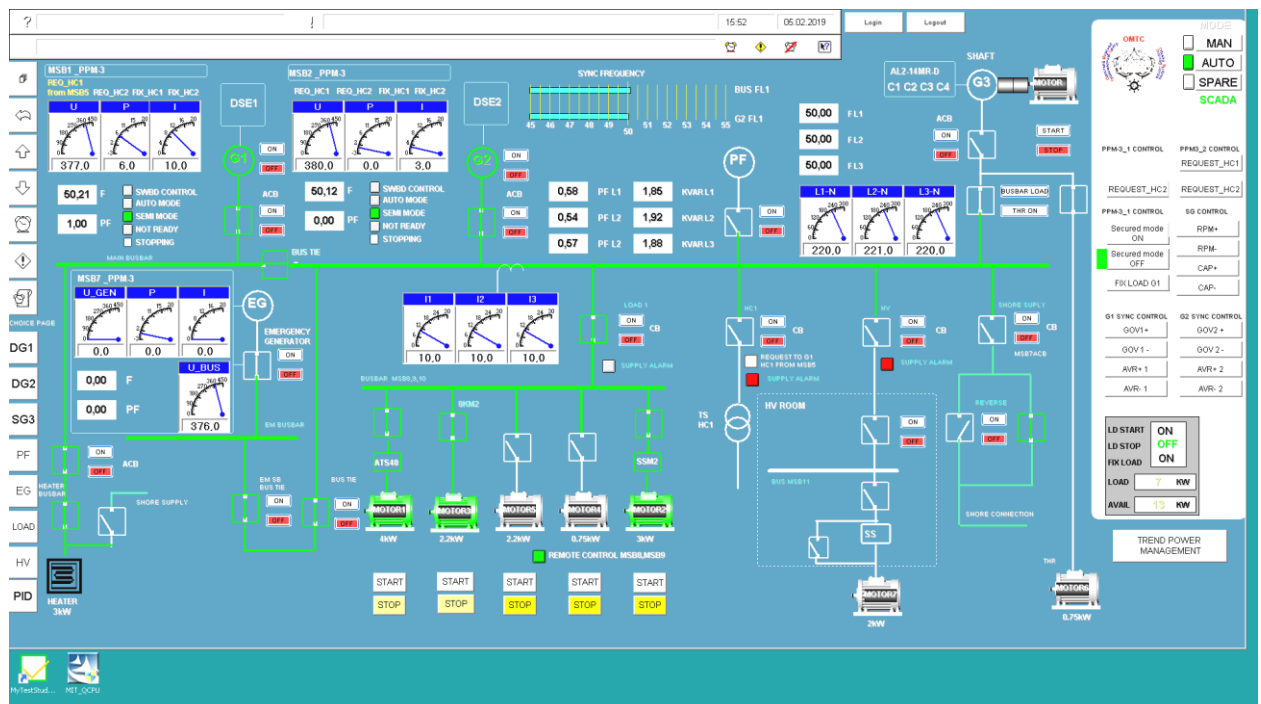


Рис. 17. Зображення SCADA Expert Vijeo Citect V7.40 на екрані головного комп'ютера фізичної моделі САЕЕС

Таким чином, поставлені завдання синхронізації ГА, побудовані моделі процесів, баз даних і визначені конфігурації систем управління. На основі використання результатних функцій запропоновано опис моделей основних перетворювачів із використанням принципу відносного руху об'єктів.

На прикладі управління ГА, проведено аналіз функціонування основних елементів управління СТС і К, запропоновано використання інтегральних критеріїв оптимізації і принципів дуального управління.



Рис. 18. Відображення на екрані головного комп'ютера експериментальних процесів синхронізації ГА (SCADA Expert Vijeo Citect V7.40)

Таким чином, є підстави вважати, що наведені практично-значущі способи управління синхронізацією ГА та розв'язано задачу швидкодіючого управління частотою синхронізованих об'єктів на основі принципів припасування. Ці технічні рішення ґрунтуються на запропонованому визначенні з упередженням часу моментів включення ГА при детермінованій і стохастичній постановці завдання синхронізації.

У цьому розділі, на прикладі управління роботою суднового автостерна, наведені можливі варіанти побудови сучасних складних СТС і К, що використовують методи ідентифікації параметрів моделей, класичного (ПД, ПІД), релейного, нейроуправління і принципів частково інваріантного до збурень управління. Проведено аналіз структури та принципу дії систем стабілізації курсом (ССК) судна в умовах періодичних збурювань. Проаналізовані осцилограми кладок стерна вантажного судна, виділені їх основні характеристики (амплітуди та періоди основних гармонік кладок стерна). Створена маневрена модель гвинтового надвеликого контейнерного судна, оснащеного напівзбалансованим лопатевим стерном. Для верифікації моделі змодельовані дані порівнювались з

даними натурних випробувань. Показано, що модельні коефіцієнти не можуть бути обчислені відомими методами і повинні бути скореговані відповідно до оброблених даних випробувань. Наведено методику верифікації коефіцієнтів зі спеціально розробленою цільовою функцією.

Так, з метою технічної реалізації ССК побудована модель управління судном, яка містить математичний опис всіх основних її елементів: регулятор, гвинто-стернову машину, судно, датчики, збурення. Верифікацію моделі здійснено співставленням з експериментальними результатами, отриманими при управлінні судном (маневри "циркуляція", "спіраль", "зігзаг", активне і пасивне гальмування для контейнеровозу "Maersk Sirac"). Запропоновано оцінювати ефективність функціонування системи стабілізації курсу (ССК) за допомогою цільової функції (ЦФ)

$$Z = \sum_{n=1}^N \left[\sum_{t=1}^T \left(\frac{\Delta\psi_t}{\max(|\Delta\psi_n(1,t)|)} \right)^2 + C_\delta \cdot \sum_{t=1}^T \left(\frac{\delta_t}{\max(|\delta_n(1,t)|)} \right)^2 \right] \quad (11)$$

де $\Delta\psi_t$ і δ_t - відхилення від заданого курсу та пера стерна від нульового положення у момент часу t , відповідно; C_δ - ваговий коефіцієнт; T - загальний час виконання маневру і стабілізації на заданому курсі. Найвища ефективність ССК досягається при мінімумі відхилень від курсу і мінімумі перекладань стерна на всьому діапазоні завдань, тому функція завдання представлена виразом:

$$\psi_z(n,t) = \frac{\Delta_\psi \cdot n}{(-1)^{n-1}}, \quad (12)$$

де $\Delta_\psi = 1,5,10,20 \dots 90$; $n \in (0, 180/\Delta_\psi)$, а n - змінна (із заданою дискретністю T).

Проведено порівняння ефективності регуляторів різних типів (ПД, ПІД, релейного, нейромережного) у ССК судна за: середньоквадратичним відхиленням кладок стерна, максимальним кутом перекладки стерна при одержуванні, значенням перерегулювання при маневрі, часу виходу на курс при маневрі. Налаштування регуляторів проводились за окремим алгоритмом. Визначені переваги і недоліки різних типів регуляторів для різних режимів управління судном.

Запропоновано використання двоканальної ССК і простий метод уведення у ССК властивостей часткової інваріантності до вітро-хвильового збурення, заснований на непрямому визначенні головного збурення $I_c(s)$, що відхиляє судно від заданого курсу за умови, що головне збурення $I_c(s)$ приведено до куту повороту стерна. Непряме вимірювання цього збурення засновано на принципі "диференційної гвиделки". При використанні запропонованої оцінки $I_c(t)$ та за допомогою встановлення додаткового каналу компенсації результуючого збурення, динаміка ССК суттєво покращується. Це ілюструється графіком 3, приведеним на рис. 19, який показує $\hat{I}_c(t)$ - оцінене значення $I_c(t)$ (практично спів-

падає з графіком 1). Графік 4 - показує змінювання курсового куту у запропонованій частково-інваріантній до збурень ССК.

З комплексного аналізу результатів математичного моделювання запропонованої частково-інваріантної до збурень ССК морського судна визначено, що нова система ефективно придушує вітро-хвильові збурення на корпус судна.

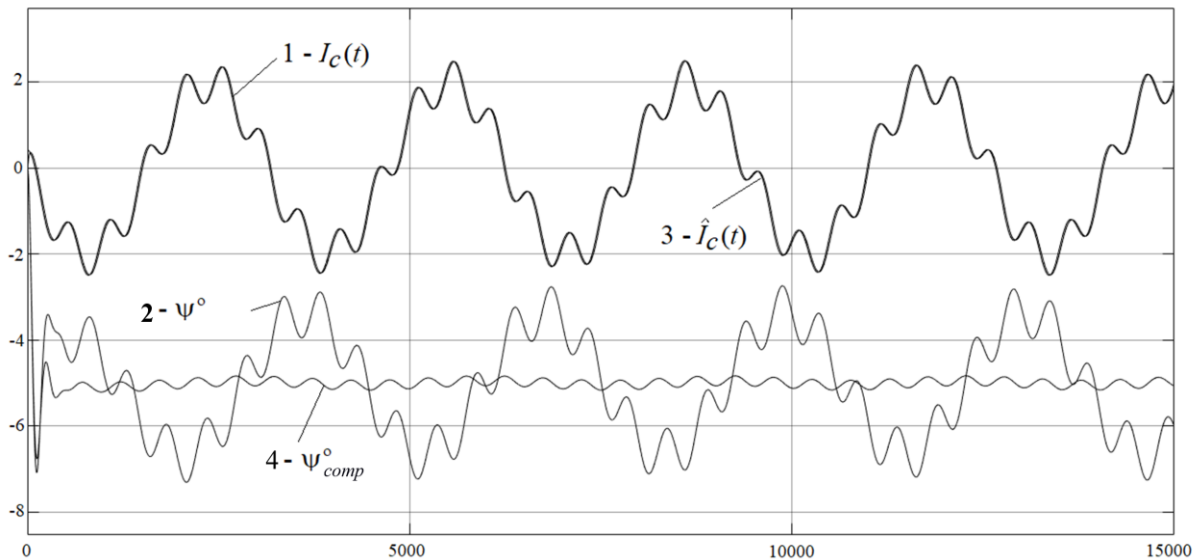


Рис. 19. Результати моделювання ССК судна з урахуванням дії компенсуючого головного збурення

Таким чином, за допомогою розрахункового прикладу, встановлено, що при умові відсутності компенсації збурення на судно і використання класичної системи стабілізації "за відхиленням" і ПД "технічно оптимального" регулятора автостерна, максимальне динамічне відхилення судна від курсу становить $\pm 2^\circ$. При аналогічних умовах, але із роботою запропонованої частково-інваріантної до збурень ССК, максимальне динамічне відхилення не перевищує $0,35^\circ$. З детального аналізу запропонованих систем визначено, що більш ефективна стабілізація курсу судна зумовлена підвищенням швидкодії автостерна за рахунок упередженої дії на стерновий пристрій судна. Визначено, що застосування запропонованих вдосконалень у ССК скорочує на 3-4 % витрати ходового часу, збільшує провізну здатність судна та знижує на 3-6 % витрати палива за рейс.

Приведена структура сучасної системи руху судна за необхідною траєкторією, проведено порівняльне моделювання цього процесу з використанням ПІД, нейромережного і нечіткого регуляторів. Наведено порівняння різних режимів руху, визначена їх ефективність. Доведено, що нейро-регулятор руху має робастні властивості. При аналізі динаміки визначено, що необхідність додаткового переналаштування регуляторів відсутня. Це досягнуто, також, за рахунок використання у алгоритмах управління запропонованої цільової функції.

З метою аналізу системи автоматичного проходження вздовж траєкторії (САПТ) із застосуванням різних типів алгоритмів управління проведено моделювання процесів управління судном при маневруванні. Модель САПТ синтезована окремо, а моделювання полягало у розрахунку таких маневрів як "Ста-

білізація” і “Плановий маневр” з урахуванням впливу збурень, а саме вітру і течії. Як об'єкт управління використана модель контейнеровозу S-175. Змодельоване збурення має параметри: напрямок вітру $\psi_w = 110^\circ$ з розкидом у 10° , швидкість вітру $v_w = 30$ вузлів з поривами до 10 вузлів; курсовий кут течії $\psi_T = 70^\circ$, швидкість течії $v_T = 2$ вузли з відповідним розрахунком сил від впливу вітру і обліку течії.

Таблиця 1 - Кількісні показники розглянутих алгоритмів управління

Параметри якості	Нейро-мережне управління	Управління з нечіткою логікою	ПІД управління
Перерегулювання під час маневру на траєкторії, м	19	135	80
Час перерегулювання (під час маневру на траєкторії під дією вітру і течії), с	82	204	197
Дисперсія кладок стерна (під час маневру на траєкторії під дією вітру і течії), град ²	70,8	72,1	141,8
Дисперсія кладок стерна (під час стабілізації на траєкторії під дією вітру і течії), град ²	1,5	58,2	11,0
Максимальний кут перекладки стерна при одержуванні (під час маневру по траєкторії), град	12	15	15
Дисперсія відхилень від траєкторії (під час стабілізації під дією вітру і течії), м	39,8	5,0	48,0

Доведено, що при управлінні судном на траєкторії, необхідно оптимізувати два паралельно працюючих закони управління: за відхиленням від заданого курсу і за відхиленням від заданої траєкторії. При цьому необхідна розробка алгоритму переходу від режиму маневрування до режиму стабілізації на курсі при роботі САПТ. Зважаючи на це, відкритою є проблема подальшої розробки САПТ на базі нейроконтролера та із застосуванням додаткового ПІД-регулятора.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі науково обґрунтовано і доведено нове концептуальне вирішення актуальної науково-технічної проблеми підвищення ефективності експлуатації морських і річкових суден, яке здійснено за рахунок використання уперше запропонованих і удосконалення існуючих, високоефективних систем управління основними судновими технічними системами і комплексами. Проблема забезпечення високоефективного функціонування суден вирішується за умови гарантування їх безпечної експлуатації і створення відповідних організаційно-конструктивних умов при проектуванні, побудові та технічної експлуатації різноманітних суднових технічних систем і комплексів. За результатами дослідження зроблені наступні основні висновки.

1. Проведено загальний аналіз стану і наведені існуючі проблеми розвитку принципів і процесів управління складними СТС і К при їх експлуатації у різних умовах і режимах, визначені основні напрямки дослідження.

2. На прикладі організації управління СЕЕС визначені, засновані із запиту практики, основні проблеми і задачі удосконалення, підвищення енергетичної ефективності і існуючі тенденції розвитку складних СТС і К.

3. Доведено, що проблеми вдосконалення функціонування складних СТС і К ефективно вирішуються визначенням конфігурації та структури їх систем управління.

4. Показано, що існуючі способи комплектації СЕЕС економічно слабо обґрунтовані і неефективні у ряді експлуатаційних режимів. Встановлено, що у найбільш загальному виді побудову сучасних автоматизованих складних СТС і К можна формалізувати апаратом логічних схем алгоритмів.

5. Визначені основні методологічні основи і принципи аналізу та синтезу процедур і процесів управління складними СТС і К (теоретичні засади, головні принципи і методи), визначена "технологія" наукового дослідження.

6. Запропоновано алгоритм синтезу систем управління складними СТС і К, який містить розв'язання завдань, пов'язаних з визначенням архітектури АСУ ТС і К з встановленням основних принципів взаємодії та визначенням особливостей обміну інформацією між частинами системи (підсистемами, апаратурою і т. ін.).

7. На прикладі АСУ СЕЕС доведено, що формування сукупності описів окремих пристроїв СТС і К формальною мовою знакових систем і описів зв'язків між ними, дозволяє визначити загальну алгоритмічну структуру СТС і К, яка є вихідною для подальшої оптимізації. З метою синтезу об'єктно-орієнтованого програмного продукту САУ СТС і К, розглянута інтеграція трьох способів опису: орієнтованих графів, результатних функцій та логічних схем алгоритмів.

8. На основі розгляду особливостей інформаційно-вимірювальної підтримки при технічній реалізації різноманітних систем управління складними СТС і К запропоновано і обґрунтовано доцільність використання принципу автоматизованого виміру і контролю навантаження у СЕЕС на основі імовірнісного підходу.

9. Запропоновано процедуру вимірювання електроенергетичних параметрів на основі мультипліційної обробки гармонійних величин. Доведено, що така обробка дає можливість за час, що не перевищує один період синусоїдальної напруги, вимірювати із заданою точністю: амплітудні значення струмів навантаження у всіх фазах, лінійну напругу, фазовий кут навантаження, частоту струму і напрямок потужності.

10. Запропоновано семантику і декомпозицію реалізованих завдань управління складними СТС і К. Запропоновано управління складом генераторних агрегатів з урахуванням передаварійних і аварійних станів СЕЕС і керуючих впливів від оператора.

11. Розв'язано завдання координованого управління СЕЕС при динамічних змінах навантаження. Наведені принципи побудови процедур управління

складом генераторних агрегатів за принципом "жорстких" і "гнучких" порогів. Доведено, що запропоноване рішення підвищує надійність роботи САЕЕС, оскільки виключені можливі аварійні режими при завданні помилкових комбінацій управління.

12. Запропоновано САУ СЕЕС за умови мінімуму витрати палива та з урахуванням метеорологічних умов плавання та синтезовані алгоритми оптимізації режимів роботи суднових дизелів.

13. Сформовані бази даних, що визначають необхідну кількість працюючих генераторних агрегатів, їх технічний стан, навантаження, витрату палива й параметри навоколишнього середовища. Визначені коефіцієнт перерахування потужності й корегування верхніх порогів завантаження з умов технічного стану й метеорологічних умов плавання.

14. На прикладі САЕЕС синтезовані процеси управління нижнього ієрархічного рівня розподіленої МП-системи. Синтезована структура програмного забезпечення САУ *m*-агрегатною САЕЕС і показані особливості синтезу алгоритмів функціонування супервізора локальних підсистем управління, визначені графи станів дизель-генераторної локальної підсистеми управління і валогенераторної підсистеми.

15. На прикладі роботи суднових генераторних агрегатів у розподілених МП-системах визначені структури і алгоритми управління, що забезпечують оптимізацію процесів пуску та зупинки окремих агрегатів. Доведено, що запропоновані структури можуть бути ефективно використані при алгоритмізації циклів управління будь-якими іншими технологічними процесами на судні, наприклад, для періодичного виклику програми розподілу активних навантажень між паралельно працюючими генераторними агрегатами.

16. На основі сформованого завдання синхронізації генераторних агрегатів з використанням запропонованих принципів припасування, розв'язано задачу швидкодіючого управління частотою агрегатів, які необхідно синхронізувати. Це дозволило з упередженням часу визначити моменти включення агрегатів при детермінованій і стохастичній постановці завдання синхронізації. Наведені результати експериментальних досліджень процесів синхронізації генераторних агрегатів і доведена ефективність запропонованих рішень.

17. Запропоновано використання стохастичного підходу при вирішенні завдань синхронізації генераторних агрегатів, що дозволило досліджувати процес синхронізації при русі об'єкту синхронізму по заданій траєкторії зі стохастичними флуктуаціями щодо його завдання під впливом зовнішніх факторів. Наведені практичні способи розв'язання завдань управління синхронізацією, показано розв'язання завдання оптимального управління припасуванням частоти синхронізованого об'єкта.

18. Запропонована і створена фізична модель САЕЕС з використанням SCADA Expert Vijeo Citect V7.40. Наведені результати експериментів з синхронізації генераторних агрегатів у різних експлуатаційних умовах. Наведені експериментально отримані процеси зміни параметрів генераторного агрегату в умовах збурень під навантаженням, проведено порівняння процесів синхронізації генераторних агрегатів з використанням стандартних алгоритмів управ-

ління синхронізатором і з використанням запропонованого дуального управління синхронізатором.

19. На прикладі управління роботою суднового автостерна, наведені варіанти побудови сучасних складних СТС і К, що використовують методи попередньої ідентифікації параметрів математичних моделей окремих елементів, удосконалені алгоритми і системи управління. Пропонується методика уточнення математичних моделей суден за результатами експериментальних випробувань.

20. Запропоновано використання двоканальних систем стабілізації курсу судна. Встановлено, що запропонована система ефективно компенсує дію вітрових збурень та зменшує витрати пального у режимах стабілізації курсу. Досліджені процеси управління маневруванням судна на основі систем автоматичного проходження вздовж траєкторії. Проведено порівняння ефективності запропонованих алгоритмів для різних експлуатаційних умов плавання.

21. Експериментально, та за допомогою методів математичного моделювання, підтверджено, що отримані у дисертації основні наукові результати можуть використатися при визначенні загальної архітектури складних СТС і К, які гарантують їх високу експлуатаційну ефективність у складних умовах плавання; визначені вимоги до удосконалення тренажерів машинного відділення суден у системі освіти, навчання, підвищенні кваліфікації і наукових дослідженнях; наведені перспективи розвитку цих тренажерів у частині експлуатації САЕЕС.

22. Основні практичні результати дослідження впроваджені у виробничу діяльність, у навчальний процес ЗВО, а також пройшли апробацію на наукових заходах міжнародного і державного рівня.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. **Шевченко В. А.** Верификация функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией / **В. А. Шевченко** // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2015. – Вип. 21. – С. 70-76.

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

3. **Шевченко В. А.** Анализ отказов и математическое моделирование ВРШ судов с системами динамического позиционирования / **В. А. Шевченко**, А. Д. Пипченко, О. А. Коваленко // Судовождение: сб. научн. трудов. – 2015. – Вип. 25. – С. 162-171.

4. **Шевченко В. А.** Проблема автоматизации оптимального маневрирования судна и пути ее решения / **В. А. Шевченко** // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. – 2015. – № 1. – С. 120-127.

5. **Шевченко В. А.** Исследование процесса перехода судна на заданный курс при различных законах управления / **В. А. Шевченко** // Науковий вісник

Херсонської державної морської академії: наук. журнал. – 2015. – Вип. 1(12). – С. 92-97.

6. **Шевченко В. А.** Анализ работы системы управления курсом судна в условиях периодических возмущений / **В. А. Шевченко** // Вісник ОНМУ: Збірник наукових праць. – 2015. – Вип. 1(43). – С. 72-76.

7. Пипченко А. Д. Уточнение математической модели ходкости контейнеровоза класса ULCS по результатам испытаний / А. Д. Пипченко, С. В. Копанский, **В. А. Шевченко** // Судноводіння: Зб. наук. праць. – 2017. – Вип. 27. – С. 169-176.

8. Пипченко А. Д. Математическое моделирование динамики контейнеровоза класса ULCS по результатам испытаний / А. Д. Пипченко, С. В. Копанский, **В. А. Шевченко** // Судноводіння: Зб. наук. праць. – 2018. – Вип. 28. – С. 141-151.

9. Волянська Я. Б. Система стабілізації курсу морського судна, частково-інваріантна до вітро-хвильових навантажень / Я. Б. Волянська, В. В. Голіков, О. М. Мазур, О. А. Онищенко, **В. А. Шевченко** // Автоматизація технологічних та бізнес-процесів: наук. журн. – 2018. – № 2. – С. 57-63.

10. **Шевченко В. А.** Алгоритм быстрой оценки параметров судовых электроэнергетических систем / **В. А. Шевченко** // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2018. – № 3(244). – С. 136-141.

11. **Шевченко В. А.** Синтез алгоритмов управления вало- и дизель-генераторными установками / **В. А. Шевченко** // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: наук. журнал. – 2018. – Вип. 2(19). – С. 103-111.

12. **Шевченко В. А.** Способ решения задач управления процессом пуска и остановки дизель-генератора в системах управления судовыми электростанциями / **В. А. Шевченко** // Наукові праці: науково-методичний журнал. Серія "Комп'ютерні технології". – 2018. – Вип. 305. – Т. 317. – Видав. ЧДУ ім. П. Могили. – С. 23-29.

13. **Шевченко В. А.** Оптимизация управления электростанцией из условия минимума расхода топлива и с учетом метеоусловий / **В. А. Шевченко** // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки". – 2018. – № 4. – С. 46-55.

14. **Шевченко В. А.** Методы измерения и контроля нагрузки электростанции с использованием вероятностных характеристик / **В. А. Шевченко** // Системные технологии. Регион. сб. науч. тр. – 2018. – Вип. 5(118). – С. 184-195.

15. **Шевченко В. А.** Метод и особенности синтеза алгоритмов верхнего уровня системы управления судовой электростанцией / **В. А. Шевченко** // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2018. – № 6(247). – С. 165-174.

16. **Шевченко В. А.** Решение задачи оптимального управления подгонкой частоты дизель-генераторов в судовых электроэнергетических установках / **В. А. Шевченко** // Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). – 2018. – № 2(10). – С. 88-92.

17. **Шевченко В. А.** Оптимизация процесса автоматической синхронизации судовых дизель-генераторов при детерминированной

постановке задачи / **В. А. Шевченко** // Автоматизація технологічних та бізнес-процесів: наук. журн. – 2018. – № 4. – С. 43-52.

18. Budashko V., **Shevchenko V.** Synthesis of the Management Strategy of the Ship Power Plant for the Combined Propulsion Complex. *IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)*, 2018, pp. 106-109. (**Scopus**)

19. Pipchenko A. D., **Shevchenko V. A.** Vessel heading robust automatic controller for varying conditions. *Marine Intellectual Technologies*, 2018, Issue 4(42), V. 4, pp. 208-214. (**Web of science**)

20. Pipchenko O., Tsymbal M., **Shevchenko V.** Recommendations for Training of Crews Working on Diesel-Electric Vessels Equipped with Azimuth Thrusters. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 2018, Vol. 12, № 3, pp. 567-571. (**Web of science**).

21. Volyanskaya Yana, Volyanskiy Serhey, Onishchenko Oleh, **Shevchenko Valerii.** Ship's course stabilization accuracy improvement by implementing dual-loop control system. *Scientific Bulletin of Naval Academy*, 2019. Vol. 22, Issue № 2, pp. 94-100. MBNA Publishing House Constanta. DOI: 10.21279/1454-864X-19-I2-011.

22. Пипченко А. Н. Эксплуатация и ремонт одно- и двухтопливных двигателей производства *Wartsila* в энергетических установках морских транспортных средств: Монография / А. Н. Пипченко, В. В. Пономаренко, **В. А. Шевченко**, И. Н. Табулинский. – Одесса: ТЭС, 2018. – 361 с. ISBN 978-617-7711-02-4.

23. Шевченко В. А. Эксплуатация судовых технических комплексов с двигателями MAN B&W-ME: Монография / **В. А. Шевченко**: под ред. проф. О. А. Онищенко. – Одесса: ТЭС, 2019. – 400 с. ISBN 978-617-7711-21-5.

24. Volyanskaya Y. B., Volyanskiy S. M., Onishchenko O. A., **Shevchenko V. A.**, Trudnev S. Yu. Research of possibilities to increase the exactness of ship stabilizing on a course. *Marine Intellectual Technologies*, 2019, Issue 3(45), V. 2, pp. 110-114. (**Web of science**).

25. Будашко В. Вдосконалення стратегії управління багатомасовою електромеханічною системою / В. Будашко, **В. Шевченко** // *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*. – 2019. – V. 9 (49), pp. 38-43.

26. Budashko V. Improvement of the operation for electromechanical system under non-permanent loading / V. Budashko, I. Hvozdeva, O. Onishchenko, **V. Shevchenko**, R. Kudelkin // *15th International Conf. on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavske*, 25-29 Feb. 2020, pp. 35-39, IEEE. <https://easychair.org/cfp/tcset-2020> (**Scopus**).

ПРАЦІ, ЯКІ ЗАСВІДЧУЮТЬ АПРОБАЦІЮ МАТЕРІАЛІВ ДИСЕРТАЦІЇ І ЯКІ ДОДАТКОВО ВІДОБРАЖАЮТЬ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

27. **Shevchenko V.** Requirements for further improvement of engine room simulators in the educational, training and research system. *Proceedings of the 13th International Conference on Engine Room Simulators, Odessa, NU "OMA", September 20-21, 2017*, pp. 102-108.

28. Будашко В. В. Ідентифікаційне маркування деградаційних ефектів на лінії гребних гвинтів / В. В. Будашко, **В. А. Шевченко**, Д. А. Агапцев // Матер. IX Міжн. наук.-практ. конф. "Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування", 13-14 вересня 2018 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія. – С. 112-117.

29. **Шевченко В. А.** Перспективы развития тренажеров машинного отделения при подготовке судовых инженеров в части эксплуатации судовых электроэнергетических установок // Матер. наук.-метод. конф. "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 5-6 грудня 2018 р. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 27-32.

30. Пипченко А. Н. Эксплуатация, обслуживание и ремонт двигателей MAN B&W-ME / А. Н. Пипченко, В. В. Пономаренко, **В. А. Шевченко**. – Одесса: ТЭС, 2014. – 325 с. ISBN 978-617-7054-76-3.

31. Пономаренко В. В. Эксплуатация судового высоковольтного электрооборудования / В. В. Пономаренко, **В. А. Шевченко**: под ред. А. Н. Пипченко. – Одесса: ТЭС, 2014. – 283 с. ISBN 978-617-7054-31-2.

32. Пипченко А. Н. Судовые автоматизированные механические установки / А. Н. Пипченко, В. В. Пономаренко, **В. А. Шевченко**. – Одесса: ТЭС, 2015. – 366 с. ISBN 978-617-7337-10-1.

33. Пипченко А. Н. Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления / А. Н. Пипченко, В. В. Пономаренко, Ю. И. Теплов, **В. А. Шевченко**. – Одесса: ТЭС, 2016. – 480 с. ISBN 978-966-2389-50-0.

34. Пипченко А. Н. Техническая эксплуатация одно- и двухтопливных двигателей *Wartsila-Sulzer* / А. Н. Пипченко, В. В. Пономаренко, **В. А. Шевченко**, И. Н. Табулинский. – Одесса: ТЭС, 2017. – 338 с. ISBN 978-617-7337-52-1.

35. Пономаренко В. В. Судовое высоковольтное оборудование / В. В. Пономаренко, **В. А. Шевченко**: под ред. А. Н. Пипченко. – Одесса: ТЭС, 2017. – 300 с. ISBN 978-617-7337-55-2.

36. Ya. Volyanskaya, S. Volyanskiy, O. Onishchenko, **V. Shevchenko**. Reserch of possibilities of increase of exactness of stabilizing of ship on a course / SEA – CONF 2019, 5th International Conference. May 17-18, 2019, Constanta. "Mircea cel batran" Naval Academy. <https://www.anmb.ro/ro/conferinte/sea-conf/arhiva/program%20sea-conf%202019.pdf>.

37. **Шевченко В. А.** Підготовка фахівців з експлуатації високовольтного обладнання з використанням розподільчого пристрою NXAIR фірми Siemens / **В. А. Шевченко**, С. Ф. Самонов, В. О. Дубовик // IX Міжн. наук.-техн. конф.

"Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика" (SEEEA-2019). 5-6 грудня 2019 р. – Одеса: НУ "ОМА". – С. 22-24.

38. **Шевченко В. А.** Проблеми удосконалення, підвищення енергетичної ефективності і тенденції розвитку складних суднових технічних систем і комплексів / **В. А. Шевченко**, О. А. Онищенко // IV Міжн. наук.-практ. конф. "Perspectives of world science and education", 25-27 грудня 2019 року, Осака, Японія, CPN Publishing Group. – С. 86-96.

39. Hvozdeva I. Problems of improving the diagnostic systems of marine diesel generator sets / I. Hvozdeva, V. Budashko, V. Myrhorod, **V. Shevchenko** // 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavske, 25-29 Feb., 2020, pp. 350-354, IEEE. <https://easychair.org/cfp/tcset-2020> (**Scopus**).

АНОТАЦІЯ

Шевченко В. А. Удосконалення управління технічними системами та комплексами при експлуатації судна. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту (271 – річковий та морський транспорт). – Національний університет "Одеська морська академія", м. Одеса, 2020.

У дисертаційній роботі науково обґрунтовано і доведено нове концептуальне вирішення актуальної науково-технічної проблеми підвищення ефективності експлуатації морських і річкових суден, яке здійснено за рахунок використання уперше запропонованих і удосконалення існуючих, високоефективних систем управління основними судновими технічними системами і комплексами (СТС і К). Проблема забезпечення високоефективного функціонування суден вирішується за умови гарантування їх безпечної експлуатації і створення відповідних організаційно-конструктивних умов при проектуванні, побудові та технічної експлуатації різноманітних СТС і К.

У роботі науково доведена практична цінність запропонованих нових рішень і методів: а) вирішення завдань управління процесами пуску і зупинки дизель-генераторів у суднових електроенергетичних системах (СЕЕС); б) вимірювання і контролю навантаження СЕЕС з використанням імовірнісних характеристик; в) синтезу алгоритмів верхнього рівня системи управління СЕЕС; г) управління "підгонкою" частоти та процесами автоматичної синхронізації суднових дизель-генераторів (у детермінованих і стохастичних умовах експлуатації). Визначені особливості експлуатації СТС і К з двигунами MAN B&W-ME, визначені вимоги до удосконалення тренажерів машинного відділення суден у системі освіти, навчання й наукових досліджень, наведені перспективи розвитку цих тренажерів у частині експлуатації СЕЕС і електроенергетичних установок. У дисертації отримані нові наукові результати, де у рамках вирішення сформульованої науково-технічної проблеми, проведено аналіз іс-

нуючого стану і вперше вирішені завдання розвитку теорії та практики забезпечення ефективного управління і експлуатації складними СТС і К.

Ключові слова: ефективність, технічна експлуатація, якість, система управління, комплекс, математичне моделювання.

АННОТАЦИЯ

Шевченко В. А. Совершенствование управления техническими системами и комплексами при эксплуатации судна. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта (271 – речной и морской транспорт). – Национальный университет "Одесская морская академия", г. Одесса, 2020.

В диссертационной работе научно обосновано и доказано новое концептуальное решение актуальной научно-технической проблемы повышения эффективности эксплуатации морских и речных судов, осуществленное за счет использования впервые предложенных и усовершенствования существующих, высокоэффективных систем управления основными судовыми техническими системами и комплексами (СТС и К). Проблема обеспечения высокоэффективного функционирования судов разрешается при условии обеспечения их безопасной эксплуатации и создания соответствующих организационно-конструктивных условий при проектировании, построении и технической эксплуатации различного типа сложных СТС и К.

Научно доказана практическая ценность предложенных новых решений и методов: а) решения задач управления процессами пуска и остановки дизель-генераторов в судовых электроэнергетических системах (СЭЭС); б) измерения и контроля нагрузки СЭЭС с использованием вероятностных характеристик; в) синтеза алгоритмов верхнего уровня системы управления СЭЭС; г) управления "подгонкой" частоты и процессами автоматической синхронизации судовых дизель-генераторов (в детерминированных и стохастических условиях эксплуатации). Определены особенности эксплуатации СТС и К с двигателями MAN B&W-ME, определены требования к совершенствованию тренажеров машинного отделения судов в системе образования, обучения и научных исследований, приведены перспективы развития этих тренажеров в части эксплуатации СЭЭС и электроэнергетических установок.

Получены новые научные результаты, где в рамках решения сформулированной научно-технической проблемы, проведен анализ существующего состояния и впервые решены актуальные задания развития теории и практики обеспечения эффективного управления и эксплуатации сложных СТС и К.

Проведен общий анализ и приведены существующие проблемы развития процессов управления сложными СТС и К при их эксплуатации. Определены, основанные на примере управления СЭЭС, основные проблемы совершенствования, повышения энергетической эффективности и тенденции развития СТС и

К. Проведен анализ известных способов повышения энергетической эффективности СЭЭС, приведены уровни абстрагирования описания АСУ и принципы оценки результирующей эффективности СТС и К. Приведены методы анализа и синтеза процессов управления СТС и К.

Предложены принципы построения алгоритмов управления, эргатического и эргономического анализа СТС и К сложной конфигурации, приведена методика оценки эффективности процессов эксплуатации СТС и К, принципы построения распределенных иерархических управления СТС и К сложной конфигурации, определена "технология" научного исследования.

Предложен комплекс информационно-измерительной поддержки процессов управления, необходимый для обеспечения их эффективного функционирования в составе АСУ СТС и К. Предложен принцип измерения и контроля нагрузки СЭЭС.

Предложена семантика описания и методика декомпозиции задач управления, приведено обоснование необходимости применения и последующий синтез супервизора координатора программы управления СТС и К сложной структуры. Приведена последовательность решения задачи координированного управления СЭЭС при изменениях нагрузки. Синтезированы алгоритмы оптимального управления СЭЭС при минимуме расхода топлива и с учетом метеорологических условий плавания в нормальных и аварийных режимах. Доказана эффективность предложенных решений.

Синтезированы процессы управления нижнего иерархического уровня распределенных АСУ СТС и К. Предложены принципы управления процессами пуска и остановки распределенных систем судовых ТС и К, доказана их эффективность. Синтезированы методики эффективного управления процессами синхронизации генераторных агрегатов (ГА), находящихся в составе распределенных АСУ сложных СТС и К, построены модели процессов, баз данных и определены необходимые конфигурации систем. Предложено описание моделей основных преобразователей на базе использования принципа относительного движения объектов. На примере ГА, проведен анализ функционирования элементов управления СТС и К, предложено использование интегральных критериев оптимизации и принципов дуального управления. Показаны практические способы управления синхронизацией ГА. Решена, на основе принципов подгонки, задача быстродействующего управления частотой синхронизируемых ГА. Приведены результаты экспериментальных исследований процессов синхронизации ГА и доказана эффективность предложенного управления ГА.

На примере управления работой судового авторулевого, приведены возможные варианты построения современных сложных СТС и К, использующих методы идентификации параметров моделей, классического (ПД, ПИД), релейного и нейро-управления, принципов частично инвариантного к возмущениям управления. Проведен анализ структуры и принципа действия систем управления курсом судна в условиях периодических возмущений. Создана маневренная модель винтового сверхбольшого контейнерного судна, проведена верификация модели сравнением с данными натурных испытаний. Приведена структура современной системы движения судна по необходимой траектории, проведено

сравнительное моделирование этого процесса с использованием ПИД-регулятора, нейро- и нечеткого регулятора. Приведено сравнение различных режимов движения, определена их эффективность. Доказано, что нейро-регулятор имеет робастные свойства и не требует дополнительной перенастройки. Из анализа результатов математического моделирования предложенной частично-инвариантной к возмущениям системы стабилизации курсового угла морского судна определено, что новая система эффективно подавляет ветро-волновые возмущения на корпус судна.

Ключевые слова: эффективность, техническая эксплуатация, качество, система управления, комплекс, математическое моделирование.

ANNOTATION

V. A. Shevchenko. An improvement of technical systems and complexes control during ship's operation. – Qualification scientific work as a manuscript.

Thesis for the doctor of technical science degree on the specialty 05.22.20 – operation and repair of the transport means (271 – river and maritime transport). – National university “Odessa maritime academy”, Odessa, 2020.

In dissertation work scientifically grounded and the new conceptual decision of scientific and technical pressing problem of marine and river ships operation efficiency improvement is well-proven, which is carried out with the use of the first time offered and improvement of existent basic ship technical systems and complexes (STSC) high-efficiency control systems. The problem of providing of high-efficient ships operation is solving on condition of guaranteeing of it safe operation and creation of the proper terms at planning, construction, and technical operation of different STSC.

It is scientifically proven in the thesis the practical value of the offered new principles and methods: *a)* diesel-generator's start and stop process tasks solving in SEPS control systems; *b)* SEPS load measurement and control using probability characteristics; *c)* SEPS control system top level control algorithms synthesis; *d)* generator frequency control adjustment and ship's diesel-generators automatic synchronization process control (in deterministic and stochastic operation conditions). STSC with MAN B&W-ME engines operation specifics were determined, engine room simulators development requirements in educational, training and research system were defined, such simulators development prospects in SEPS operation part were offered.

There were received new scientific results in the thesis, where in the frame of solving the stated scientific-technical problem was conducted an analysis of the current state and for the first time where solved theoretical and practical tasks of providing of the STSC effective control and operation.

Keywords: effectiveness, technical operation, quality, control system, complex, mathematical modelling.

Підп. до друку 10.12.2020. Формат 60х84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 2,33.
Тираж 100 пр. Зам. № И20-12-32

Національний університет «Одеська морська академія»
65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8.
Тел./факс (0482) 34-14-12
publish-r@onma.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 1292 від 20.03.2003