



**МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА
АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ
ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ**

03035, м. Київ-35, вул. Митрополита Василя
Липківського, 35, т./ф. (044) 206-31-87,
e-mail: dei2005@ukr.net

**MINISTRY OF ENERGY AND
ENVIRONMENTAL PROTECTION OF
UKRAINE
STATE ECOLOGICAL ACADEMY OF
POST-GRADUATE EDUCATION AND
MANAGEMENT**

35, Metropolitan Vasil Lypkivskyi str., Kyiv, 03035,
Ukraine, tel./fax (044) 206-31-87,
e-mail: dei2005@ukr.net

**Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.110.01 Державного університету
інфраструктури та технологій МОН
України**

Вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071

ВІДГУК

офіційного опонента,

проректора з наукової роботи

Державної академії післядипломної освіти та управління,

Міністерства екології та природних ресурсів України,

доктора технічних наук, професора *МАШКОВА Олега Альбертовича*

на дисертацію

ДАКІ Олени Анатоліївни

за темою: «ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ

ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту»

Актуальність теми дисертації.

У теперішній час технічна експлуатація засобів водного транспорту розглядається як комплекс технічних і організаційних заходів, що реалізуються для утримання технічних пристроїв засобів у цілому в постійній готовності ефективно виконувати своє функціональне призначення протягом усього терміну експлуатації: від будівництва до утилізації. При цьому до основних завдань технічної експлуатації засобів водного транспорту відносяться: збільшення робочого періоду об'єктів водно-транспортної системи за рахунок

скорочення їх простоїв з технічних причин; підвищення надійності та довготривалої експлуатації; раціональне використання техніки, витратних матеріалів, палива та мастильних матеріалів; зниження витрат на технічну експлуатацію та ремонт; широке поширення передових методів технічної експлуатації.

Технічна експлуатація має за мету, удосконалення системи технічного обслуговування засобів водного транспорту для підвищення ефективності їх використання та здійснюється за трьома напрямками: на технічне використання, технічне обслуговування та управління технічною експлуатацією.

Аналіз експлуатації засобів водного транспорту свідчить про наявність протиріч, яке складається, з одного боку, в необхідності підвищення технічної готовності суднового устаткування до використання за призначенням і безвідмовності його функціонування. Для цього необхідним є здійснення постійного контролю над його функціонуванням і виконання цілого комплексу періодичних перевірок і діагностик.

Разом з тим такий підхід суттєво підвищує вартість експлуатації обладнання і зменшує загальну рентабельність флоту. З іншого боку, спроби максимального здешевлення морських транспортних перевезень, призводить до зменшення кількості контрольних заходів, спрощення їх процедури (регламентів) з перекладанням максимального числа функцій діагностики на технічні засоби.

В такому аспекті, розробка нових методів технічної експлуатації обладнання, на основі застосування сучасних автоматизованих процедур визначення періодичності і обсягу діагностування є актуальним.

Проведений аналіз свідчить, що застосування сучасних систем і комплексів навігації для управління рухом засобів водного транспорту дозволило забезпечити судноводіїв повною й достовірною інформацією про обстановку навколо такого засобу. Це стало можливим за допомогою автоматизованих ідентифікаційних систем і комплексів автоматизованої радіолокаційної прокладки маршруту, що в свою чергу дозволило приймати

грамотні рішення щодо безпечного судноплавства. Сучасні глобальні навігаційні супутникові системи, радіонавігаційні комплекси при роботі в спеціальних режимах здійснили багатовікову мрію всіх судноводіїв у високоточному визначенні поточного місця судна за будь-яких погодних умов плавання.

Навігаційне забезпечення сучасних та перспективних засобів водного транспорту призначено для оперативного вирішення завдань управління рухомими об'єктами на новому якісному рівні. При цьому слід враховувати, що правильна робота засобів навігаційного забезпечення – радіонавігаційних комплексів – при експлуатації засобів водного транспорту залежить від їх технічного стану. Так, наявність у складі радіонавігаційних комплексів великої кількості електронних елементів і радіоканалів й агресивне середовище їх експлуатації (велика вологість, постійний рух (качання), солоня вода тощо) підвищують роль методів і приладів контролю та діагностування технічного стану радіонавігаційних комплексів під час експлуатації для забезпечення безаварійного функціонування засобів водного транспорту.

При визначенні технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту виникає відоме у практиці контролю складних систем протиріччя: забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту потребує збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик з одного боку, з іншого – відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них для цього. У рамках зазначеного протиріччя актуальною науковою проблемою є розробка методів синтезу вимірювальних сигналів і обробки відгуків на них для підвищення достовірності та оперативності автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

У теперішній час застосування сучасних систем і комплексів навігації для управління рухом засобів водного транспорту дозволило забезпечити

судноводіїв повною й достовірною інформацією про обстановку навколо такого засобу. Це здійснюється за допомогою автоматизованих ідентифікаційних систем і комплексів автоматизованої радіолокаційної прокладки маршруту, дозволило приймати грамотні рішення щодо безпечного судноплавства.

Глобальні навігаційні супутникові системи, перспективні радіонавігаційні комплекси при роботі в спеціальних режимах здійснили багатовікову мрію всіх судноводіїв у високоточному визначенні поточного місця судна за будь-яких погодних умов плавання. Отже, навігаційне забезпечення засобів водного транспорту призначено для оперативного вирішення завдань управління рухомими об'єктами на новому якісному рівні. При цьому правильна робота засобів навігаційного забезпечення – радіонавігаційних комплексів – залежить від їх технічного стану.

Наявність у складі радіонавігаційних комплексів великої кількості електронних елементів і радіоканалів й агресивне середовище їх експлуатації підвищують роль методів і приладів контролю та діагностування технічного стану радіонавігаційних комплексів під час експлуатації для забезпечення безаварійного функціонування засобів водного транспорту.

Проведений аналіз свідчить, що відомі моделі контролю та діагностування технічних об'єктів при експлуатації не завжди враховують особливості операцій технічного обслуговування та діагностування складових частин і елементів засобів водного транспорту.

Актуальність дослідження, проведеного у статті, обумовлена зростанням ролі та значення засобів контролю сучасних і перспективних радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту у підтриманні їх готовності до функціонування за призначенням та загальною тенденцією підвищення вимог до своєчасного виявлення відмов за рахунок автоматизації (підвищення точності та оперативності контролю) контрольно-діагностичних робіт при експлуатації радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

У теперішній час при проведенні контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту процес автоматизації обмежується використанням вимірювальних сигналів прямокутної, трикутної та трапецеїдальної форм. Ці сигнали передбачають використання аналізаторів для визначення параметрів радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, які потребують обов'язкового втручання оператора.

Відсутність автоматизованих високоточних засобів контролю для вимірювання параметрів сигналів прямокутної, трикутної та трапецеїдальної форм (присутність оператора) збільшує час і зменшує достовірність контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту. При цьому виникає відоме у практиці контролю технічного стану складних систем протиріччя: забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту потребує збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик з одного боку, з іншого – відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них для цього. У відповідності до протиріччя наукова проблема, що буде розв'язуватися у подальших дослідженнях, полягає в розробленні методів синтезу вимірювальних сигналів і обробленню відгуків на них для підвищення достовірності та оперативності автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

Використання глобальних супутникових навігаційних систем знаходить все більше можливостей у застосуванні для визначення місцеположення в системах відслідковування рухомих об'єктів. Стрімкий розвиток та розповсюдження сучасних систем супутникового моніторингу тісно пов'язані з підвищенням достовірності та точності отримуваних навігаційних даних. Тема застосування глобальних систем супутникової навігації є актуальною та перспективною в області моніторингу місцезнаходження рухомих об'єктів. Навігаційні системи мають досить широкий спектр застосування у будь-якій

області корисній для користувача. Використання засобів обробки навігаційних даних в складних моніторингових системах дозволяє зменшити обсяг інформації, що передається, та підвищити точність позиціонування. Фільтрація даних полягає у позбавленні від надлишкових даних, що не надають корисної інформації про становище рухомого об'єкта, а також у відсіві викидів, що призводять до спотворень даних.

Провідними закордонними фахівцями Ван Схонвелд, Ван Оудер, А. Томпсон, І. Коллар, Т. Уілсон, а також відомими вітчизняними вченими, такими як М.Я. Мінц, Д.В. Корольков, Ю.М. Парійський, Ю.Ф. Павленко, В.К. Волосюк, В.М. Чинков, П.А. Шпаньон В.Г. Алексишин, Л.А. Козырь, С.В. Симоненко Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал та ін. розроблено ряд робіт, які доказують можливість використання складних вимірювальних сигналів, окрім періодичних синусоїдних і прямокутних, для контролю технічного стану технічних систем.

Проте лише оглядово розглянуто методи синтезу вимірювальних сигналів складної форми для контролю технічного стану радіотехнічних систем. Це пов'язано з відсутністю на той час технічної можливості створити відповідні моделі для перевірки синтезованих сигналів складної форми. Тому, подолання зазначеного протиріччя з метою розв'язання сформульованої наукової проблеми може бути здійснено шляхом розроблення комплексу заходів, спрямованих на забезпечення потрібної точності вимірювань параметрів радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту при проведенні контролю їх технічного стану за фіксований або зменшений інтервал часу. З цією метою в сучасних засобах контролю широко застосовуються такі технічні рішення, як розроблення методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них. Таким чином є актуальним є розроблення методу синтезу вимірювальних сигналів з потрібним спектром для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту та проведення експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів і

розроблення рекомендації щодо їх впровадження для автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

Проведений аналіз свідчить, що застосування сучасних систем і комплексів навігації для управління рухом засобів водного транспорту дозволяє забезпечити безпечне судноплавство. При цьому правильна робота засобів навігаційного забезпечення – радіонавігаційних комплексів – залежить від їх технічного стану. Так, наявність у складі радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту великої кількості електронних елементів і радіоканалів й агресивне середовище їх експлуатації підвищують роль методів і приладів контролю та діагностування технічного стану радіонавігаційних комплексів під час експлуатації для забезпечення безаварійного функціонування засобів водного транспорту.

При визначенні технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту виникає відоме у практиці контролю складних систем протиріччя: забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту потребує збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик з одного боку, з іншого – відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них для цього.

У рамках зазначеного протиріччя актуальною науковою проблемою є розробка методів синтезу вимірювальних сигналів і обробки відгуків на них для підвищення достовірності та оперативності автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

Тому перспективним є розробка методу розрахунку функції розподілу параметрів контролю радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, обґрунтування характеристик вимірювальних сигналів контролю радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту при експлуатації.

Незважаючи на істотні досягнення в теорії автоматизованого контролю

технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, існує клас радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, для яких постановка задач, методи та алгоритми підвищення достовірності та оперативності контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту за рахунок розробки методів синтезу та обробки тестових сигналів складної форми і алгоритмів їх розв'язання розроблені не повною мірою.

Дисертація присвячена вирішенню проблеми здійсненні контролю технічного стану складних систем: забезпечення заданої достовірності та оперативності отримання інформації про технічний стан радіо-навігаційного комплексу засобів водного транспорту в умовах збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик, а також відсутності методів автоматизації цих процесів.

Тому тема дисертаційної роботи Дакі Олени Анатоліївни, яка присвячена рішення цієї наукової проблеми є актуальною.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Автор добре розуміє специфіку задачі, що розглядається у дисертації та коректно формулює її постанову.

Аналіз методів і способів формування тестових сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, визначення загальних характеристик контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, аналіз тестових сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, аналіз методів синтезу тестових сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, аналіз вимірювальної техніки для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, які виконано досить кваліфіковано, склали основу пошуку рішень проблеми підвищення достовірності та оперативності контролю технічного стану радіо-навігаційних

комплексів засобів водного транспорту за рахунок розробки методів синтезу та обробки тестових сигналів складної форми.

Для вирішення поставлених у дисертаційній роботі завдань використано: методи системного підходу при розробленні теоретичних основ синтезу тестових сигналів і обробки відгуків на них, теорія чутливості динамічних систем, теорія контролю технічних систем, методи варіаційного числення, теорія оптимізації функцій і теорія матриць, методи математичного моделювання.

Під час проведення досліджень автор спирається на відомі факти та наукові досягнення в обраній сфері, які отримані з використанням апробованого математичного апарату, який є адекватним інформаційним технологіям автоматизації контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту.

Розроблені автором практичні рекомендації ґрунтуються на розробленому ним науково-методичному апараті, який є достатньо чутливим для відповідних змін вихідних даних.

Відмічаю, що наукові положення та рекомендації, які сформульовані у висновках по шесті розділах (стор. 78-79, 115-117, 159-160, 201-203, 241-242, 291-292, 325-327) та загальних висновках (стор. 293-298) зроблено науково обґрунтовано і логічно за результатами аналізу, узагальнення відомих та отриманих результатів, теоретичних досліджень, а також експериментальної перевірки на замовлення у Комітеті з питань транспорту Верховної Ради України, ПрАТ «Дунайсудноремонт», ДП «Ізмаїльський морський торговельний порт», ТОВ «Учбово-тренажерний центр «Альфа-трейнінг», Державному університеті інфраструктури та технологій.

Достовірність одержаних результатів.

Достовірність наукових положень, які захищаються здобувачем, висновків і рекомендацій підтверджується їх відповідністю методології дослідження поставленої проблеми; повнотою розгляду на теоретичному і експериментальному рівнях об'єкту дослідження, що охоплюють його

змістовні і процесуальні характеристики; застосуванням комплексу методів, адекватних предмету дослідження; тривалістю практичної роботи і можливістю її відтворення збігом певних часткових результатів дисертації з висновками, отриманими в попередніх працях дослідників; коректним використанням адекватного математичного апарата для розв'язання часткових задач, поставлених у роботі.

Достовірність і обґрунтованість результатів дисертації ґрунтуються на:

- початкових посилках і допущеннях, які виходять із існуючого стану робіт у цій області та не суперечать відомим положенням і результатам досліджень, наведеним у літературі.

- використанні логічних процедур синтезу тестових сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту;

- узгодженістю з наявними результатами інших авторів, які надруковано у вітчизняній та зарубіжній літературі;

- даних про успішне практичне застосування цифрових автоматичних приладів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту.

Наукова новизна та важливість результатів, які одержані автором в дисертації, полягають в наступному:

У результаті проведених досліджень вирішена науково-прикладна проблема підвищення достовірності та оперативності контролю технічного стану РНК засобів водного транспорту за рахунок розробки методів синтезу та обробки тестових сигналів складної форми.

Метою роботи визначено підвищення достовірності та оперативності контролю технічного стану РНК засобів водного транспорту за рахунок розробки методів синтезу та обробки тестових сигналів складної форми.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі автором поставлено та вирішено наступні задачі:

Проведено аналіз відомих методів синтезу тестових сигналів для контролю технічного стану РНК засобів водного транспорту.

Удосконалено метод обґрунтування критеріїв (кількісних оцінок) оптимальності синтезу тестових сигналів для автоматичного контролю технічного стану РНК засобів водного транспорту.

Розроблено методи синтезу тестових сигналів для контролю технічного стану РНК засобів водного транспорту, які працюють при пасивній і активній радіонавігації.

Удосконалено метод обробки відгуку тестового сигналу (вихідного сигналу) РНК засобів водного транспорту.

Удосконалено метод визначення технічного стану раді-навігаційних комплексів засобів водного транспорту при їх автоматичному контролі.

Розроблено метод синтезу тестових сигналів з потрібним спектром для контролю технічного стану РНК засобів водного транспорту.

Проведено перевірку отриманих теоретичних результатів і розробити рекомендації щодо їх впровадження для автоматичного контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту.

Для вирішення зазначених задач в роботі послідовно проведені наступні дослідження.

Обґрунтовано необхідність впровадження для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту приладів синтезу (калібраторів) тестових сигналів з поліпшеними характеристиками. Серед певної низки переваг від використання таких сигналів найбільш суттєвими є значне скорочення часу, що виділяється на проведення вимірювання параметрів, тобто контролю технічного стану комплексів, збільшення міжконтрольних інтервалів, підвищення точності відтворення форми сигналу, підвищення завадостійкості та точності визначення параметрів радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, що контролюються, тобто підвищення достовірності контролю їх технічного стану.

Розглянуто основні галузі застосування різних видів тестових сигналів для контролю динамічних характеристик радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту. Показано, що найбільш поширеними є гармонійні сигнали, які мають певні недоліки. Обґрунтовано, що більш ефективно використовувати при контролі технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту тестові сигнали складної форми.

Проведено аналіз існуючих методів синтезу тестових сигналів. Показано, що розповсюдження таких методів обумовлено простотою технічної реалізації синтезованих тестових сигналів. Однак розглянуті методи мають низьку точність і завадозахищеність, складні для автоматизації, що обмежує їх використання в автоматизованих приладах вимірювання та контролю. Тому пропонується використання тестових сигналів складної форми для автоматизації процесу контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту.

Обґрунтований напрям і сформульовані часткові задачі наукового дослідження. Для розв'язання поставлених часткових завдань у дисертації пропонується використовувати теорію чутливості динамічних систем, методи варіаційного числення та динамічного програмування, теорію оптимізації функцій і теорію матриць.

В роботі визначено, що максимально повну інформацію про результати контролю містить умовна апостеріорна функція розподілу. Ця функція, з одного боку, дозволяє отримати максимально можливу при даному вихідному сигналі інформацію про технічний стан радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту. З іншого боку, умовна апостеріорна функція розподілу дозволяє визначити кількісні оцінки завадозахищеності контролю. При нормальному законі розподілу завади всі кількісні оцінки контролю можуть бути отримані через елементи кореляційної матриці умовної апостеріорної функції розподілу.

Встановлено, що власні числа кореляційної матриці умовної апостеріорної функції розподілу повністю визначають геометричні розміри та

форму апостеріорної області, в якій знаходяться параметри комплексу після контролю.

Різні кількісні оцінки (чутливість, точність і кількість інформації контролю) визначаються різними геометричними характеристиками апостеріорної області, зв'язаної з кореляційною матрицею.

В роботі введено поняття «інваріантної оцінки». Величина інваріантної оцінки не змінюється при переході від початкової систем параметрів до іншої ортонормованої системи параметрів. Це дозволяє вважати інваріантні оцінки об'єктивними характеристиками методу контролю. Максимально повною характеристикою методу контролю є вся сукупність інваріантних оцінок. Точність, чутливість і кількість інформації є інваріантними оцінками.

Обґрунтовано, що усі інваріантні оцінки є функціоналами, які залежать від вхідного сигналу. Оскільки вигляд цих функціоналів відомий, то кожна з цих оцінок дозволяє сформулювати задачу про визначення вхідного сигналу, який оптимізує контроль з точки зору даної оцінки, наприклад, визначити вхідний сигнал, який забезпечує максимальну точність, або максимальну чутливість, або максимальну кількість інформації.

В роботі визначено, що оскільки вигляд функціоналів, які визначають показники оптимізації, різний, то вхідні сигнали, які є оптимальними за різними показниками, також є різними. Так, вхідний сигнал, який забезпечує максимальну чутливість контролю, може не забезпечувати максимальну точність. Показано, що при значному рівні завади або незначній тривалості контролю, усі варіаційні характеристики еквівалентні та вхідний сигнал, який є оптимальним за одним з показників, одночасно є оптимальним й за іншими показниками. Наведене дозволяє при всіх випадках, за винятком особливого, використовувати для визначення оптимального вхідного сигналу будь-яку з інваріантних оцінок. Із них найпростіше використовувати показник чутливості контролю, оскільки, з одного боку, цей показник є квадратичним за вхідним сигналом функціоналом, а, з іншого боку, розрахований за допомогою цього показника вхідний сигнал не залежить від рівня завади.

При синтезі складного тестового сигналу шляхом розв'язання варіаційної задачі пропонується використовувати метод варіаційного числення, який полягає у складанні та розв'язанні системи диференціальних рівнянь. Цей метод застосовується як до лінійних, так і нелінійних об'єктів контролю.

Автором встановлено, що частковим випадком визначення тестового сигналу для лінійних об'єктів контролю є розв'язання однорідного інтегрального рівняння. При цьому тестовий сигнал є власною функцією, яка дорівнює максимальному власному значенню. Знайдено вигляд власних функцій вказаного інтегрального рівняння, отримане трансцендентне рівняння, яке визначає власні значення. Оптимальний тестовий сигнал дорівнює власній функції, відповідній максимальному кореню цього трансцендентного рівняння. Знайдені умови, при яких оптимальний сигнал є знаковмінним.

При знаходженні параметрів контролю біля границь області допустимих відхилень для синтезу складного тестового сигналу запропоновано використовувати методи динамічного програмування. Ці методи застосовуються як до лінійних, так і нелінійних об'єктів контролю. Недоліком цих методів є неоднозначність отриманого розв'язку, так що ці розв'язки потребують подальшої перевірки на максимум.

Для лінійних систем розраховане нелінійне інтегральне рівняння, яке визначає характеристики тестового сигналу. Розв'язанням отриманого рівняння є кусково-постійна функція з можливими «точками перемикання». Отримане рівняння використовується для визначення «точок перемикання» методом послідовних ітерацій. Доказана збіжність процесу ітерації, яка визначає максимальне значення чутливості. Обґрунтований процес вибору початкового кроку ітерації. Показана швидка збіжність процесу ітерації.

Отримана кількісна оцінка чутливості контролю радіонавігаційних комплексів при використанні складного тестового сигналу. Значення цієї оцінки дозволяє оцінити похибку, яка отримана при заміні оптимального тестового сигналу квазіоптимальним, який є першим кроком процесу ітерації. У тих випадках, коли похибка незначна, можна, замість оптимального

тестового сигналу використовувати квазіоптимальний, тим самим, обійтись без процесу ітерації.

В роботі показано, що в практиці контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту достатньо знати тільки найбільш суттєві числові характеристики функції розподілу: положення максимуму, який визначає середні значення параметрів, і ширини, яка визначає похибку вимірювання параметрів. Алгоритми роботи аналізатора, який визначає наведені вище числові характеристики, у ряді випадків настільки спрощуються, що доцільно створювати автономні аналізатори, які поєднують функцію вимірювання вихідної реакції об'єкта контролю та подальшої обробки отриманих даних з метою визначення числових оцінок параметрів комплексів, що контролюються.

Автором обґрунтовано, що при нормальному законі розподілу завади визначення параметрів контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту полягає у розв'язанні системи рівнянь.

Так при незначних відхиленнях параметрів від номінальних значень система рівнянь є лінійною, а її розв'язання може бути отримане в явному вигляді. При цьому, значення параметрів комплексу, що контролюються, отримуються лінійним перетворенням миттєвих значень вихідної реакції на вхідний тестовий сигнал. Матриця цього лінійного перетворення не залежить від значень вихідної реакції й може бути обчислена заздалегідь. Обробка відгуку (вихідного сигналу) полягає у виконанні операцій множення та додавання й може бути технічно реалізована за допомогою цифрового аналізатора. Величина похибки не залежить від значення відгуку та також може бути обчислена заздалегідь. Для отримання числового значення виходу параметрів за границі допуску у випадку, коли ці виходи є значними, можна використовувати алгоритм обробки, заснований на ітераційному методі. Технічна реалізація цього методу обробки може бути спрощена при використанні циклічного алгоритму. На кожному кроку ітерації обробка є лінійною, а вказаний модель обробки грає роль початкового кроку ітерації.

В роботі встановлено, що при незначних відхиленнях параметрів від номінальних значень отримані за допомогою лінійної обробки відгуку значення параметрів не будуть співпадати з істинними їх значеннями. У цьому випадку лінійна обробка відгуку (при достатньо великій кількості параметрів контролю) дозволяє встановити факт виходу параметрів за границі допусків, але не дає можливості встановити числову величину цих виходів. Оскільки виходи параметрів за границі допуску свідчать про несправності комплексу, що контролюється, то лінійна обробка відгуку дозволяє встановити факт такої несправності.

Обґрунтовано, що суттєве спрощення алгоритму обробки відгуку при одночасному збереженні високої заводо захищеності може бути отримане за допомогою методу визначення технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту без використання максимальної інформації, що міститься в сукупності миттєвих значень відгуку. У цих методах для оцінки значень параметрів контролю використовується не вся сукупність миттєвих значень відгуку а усереднені значення відгуку – середнє за часом контролю значення сигналу неузгодження. Апаратура аналізатора представляє собою вольтметр середніх або дійсних значень й може бути реалізована за допомогою цифрової апаратури.

Розрахунок похибок вимірювання запропонованими методами показав, що вони мають гарну заводо захищеність, оскільки величина похибки може бути малою (незначною) при досить великій кількості відліків вихідного сигналу, навіть якщо завада у вихідному сигналі велика.

Автор визначає, що прилади контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту за своїм функціональним призначенням складаються з апаратури генератора вхідних тестових впливів та апаратури, яка призначена для аналізу відгуку (вихідного сигналу) об'єкта контролю. При цьому обґрунтована доцільність і можливість побудови такої апаратури на базі цифрової дискретної техніки.

В роботі обґрунтовано, що застосування цифрової дискретної апаратури контролю дозволяє реалізувати оптимальні методи контролю, забезпечує високу швидкодію та точність контролю. Застосування такої апаратури дозволяє автоматизувати процес контролю.

Принципи побудови та створені на основі цих принципів генератори вхідних сигналів дозволили автору формувати вхідний сигнал потрібної форми з необхідним ступенем точності. Експериментальні дослідження та дослідна експлуатація генераторів показали їх гарну працездатність та надійність.

В роботі розглянуті принципи побудови та різні варіанти конструкції, які реалізують оптимальний алгоритм обробки вихідного сигналу об'єкта контролю. При синусоїдній формі вхідного сигналу автомат контролю може бути виконаний на базі аналізатора частотних характеристик.

Автором розглянуто варіанти побудови автомата контролю, в яких проводиться обробка вихідного сигналу на основі спрощених алгоритмів, що дозволяють суттєво спростити апаратуру аналізатора при одночасному збереженні достатньо високого захисту від завад.

Обґрунтовано, що автомат контролю, в якому спрощений алгоритм обробки вихідного сигналу зводиться до обчислення середнього значення, дозволяє визначити різницю відносно номінального значення кожного з параметрів об'єкта контролю. Технічна реалізація такого автомата контролю може бути виконана на базі цифрового вольтметра середніх значень.

При цьому автомат контролю, в якому спрощений алгоритм обробки вихідного сигналу зводиться до обчислення середньоквадратичного значення неузгодженості вихідного сигналу, дозволяє визначити сумарну середньоквадратичну різницю відносно номінальних значень всіх параметрів контролю та може бути використаний для інтегральної оцінки технічного стану. Технічна реалізація такого автомата контролю може бути виконана на базі цифрового вольтметра діючих значень.

В роботі встановлено, що з метою підвищення оперативності контролю може бути використаний комбінований метод, при якому для визначення

відхилень невеликої кількості найбільш суттєвих (значимих) параметрів застосовується оптимальний метод обробки вихідного сигналу, або, який використовує визначення середнього значення вихідного сигналу, а для інтегральної оцінки уходів всіх інших параметрів – метод, заснований на визначенні середньоквадратичного значення неузгодженості вихідного сигналу.

Автором удосконалено метод визначення похибок координат засобів водного транспорту залежно від процедур контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів. Цей метод дозволяє оптимізувати час контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів при збереженні достовірності за рахунок врахування функції втрат і автоматизації процедур контролю.

В роботі запропоновано та досліджено метод оптимізації параметрів складних тестових сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту зі складним законом модуляції тривалості імпульсів, що дозволяє більш гнучко керувати спектральним складом та отримувати тестові сигнали з наперед заданими параметрами.

Автором поставлена та розв'язана задача знаходження аналітичного апарату, що пов'язує амплітудний спектр складного сигналу, що має довільний закон модуляції тривалості імпульсів, з набором значень точок перемикання. Причому, амплітуди гармонік першої та вищих однозначно визначаються вектором точок перемикань і значенням рівня сигналу, а обчислення постійної складової вимагає, крім цього, додаткового знання про знак сигналу на першому інтервалі аналізу (знаку першого імпульсу).

Новим є синтезований тестовий сигнал для контролю технічного стану аперіодичного ланцюга радіонавігаційного комплексу, проведено дослідження його характеристик. Застосування запропонованих тестових сигналів порівняно з відомим синусоїдним надає вигреш у чутливості до 20% (при незначному часі контролю) і до 10% при збільшенні часу контролю. Порівняно з відомими прямокутними сигналами вигреш від застосування запропонованих

сигналів є ще більшим: до 40% при незначному часі контролю та до 20% при підвищенні часу контролю.

Вважаю, що у дисертаційній роботі запропоновано розв'язання протиріччя, яке виникає при здійсненні контролю технічного стану складних систем: забезпечення заданої достовірності та оперативності отримання інформації про технічний стан РНК засобів водного транспорту потребує збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик з одного боку, а з іншого - відсутність методів автоматизації процесів контролю технічного стану РНК засобів водного транспорту.

Таким чином, вважаю, що основні результати дисертаційної роботи полягають у наступному.

Проведено системний аналіз методів і засобів формування тестових сигналів для контролю радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, виділено переваги та недоліки кожного з методів. Результати проведеного аналізу дозволили обґрунтувати актуальність наукової проблеми, визначити часткові завдання дослідження та запропонувати методи проведення дослідження.

У дисертації наведено системне теоретичне узагальнення та нове розв'язання наукової проблеми розроблення методів синтезу тестових сигналів і обробки відгуків на них для підвищення достовірності та оперативності контролю технічного стану РНК засобів водного транспорту. Ця проблема розв'язується на базі розробки методів синтезу та обробки тестових сигналів і обґрунтування варіантів створення гнучких програмно-керованих калібраторів сигналів з нормованими характеристиками для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту.

У рамках поставленої проблеми послідовно розв'язані часткові завдання. По-перше, проведено аналіз відомих методів синтезу тестових сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту. На основі цього аналізу вдосконалено метод обґрунтування критеріїв (кількісних оцінок) оптимальності синтезу тестових

сигналів для автоматичного контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту; розроблено методи синтезу тестових сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, які працюють при пасивній і активній радіонавігації; вдосконалено метод обробки відгуку тестового сигналу (вихідного сигналу) радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту; вдосконалено метод визначення технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту при їх автоматичному контролі; розроблено метод синтезу тестових сигналів з потрібним спектром для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту; проведено перевірку отриманих теоретичних результатів і розроблено рекомендації щодо їх впровадження для автоматичного контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту.

Запропоновані в роботі теоретичні основи і практичні методи синтезу тестових сигналів дозволили розробити алгоритми генерування тестових сигналів складної форми і обробки відгуків на них залежно від процедур контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту.

Результати імітаційного моделювання отриманих результатів показали, що для підвищення показників контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту (чутливості та достовірності контролю) необхідно використовувати сумарний синусоїдний сигнал, який складається з декількох гармонік (складний за формою сигнал). Кількість гармонік такого сигналу дорівнює половині параметрів, що контролюються. Наприклад, для аперіодичного ланцюга радіонавігаційних комплексів застосування запропонованих тестових сигналів порівняно з відомим синусоїдним надає вигоду у чутливості до 20% при незначному часі контролю і до 10% при збільшенні часу контролю. За рахунок підвищення чутливості збільшується достовірність контролю. Порівняно з відомими прямокутними сигналами вигода за оперативністю контролю від застосування запропонованих сигналів

є ще більшим: до 40% при незначному часі контролю та до 20% при збільшенні часу контролю.

Показано, що збільшення чутливості контролю дозволяє підвищити достовірність контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту до (10...15)% при незначному часі контролю та до (5...10)% при значному часі контролю. Це свідчить також про підвищення оперативності контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту при використанні розроблених тестових сигналів (підвищенні коефіцієнта готовності радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту до функціонування за призначенням). Крім того, отримані тестові сигнали за рахунок автоматизації операцій контролю підвищують кількість інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, що контролюються. Це дозволяє зменшити імовірності помилок першого та другого роду, тобто підвищити достовірність контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів.

Отже, мета роботи, направлена на підвищення достовірності та оперативності контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту за рахунок розробки методів синтезу та обробки тестових сигналів складної форми, досягнута.

На основі виконаних розрахунків та проведених досліджень отримано такі нові результати.

ВПЕРШЕ:

Запропоновано методи синтезу вхідних тестових сигналів, які дозволяють підвищити ефективність контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту за рахунок використання методів варіаційного числення і застосування в умовах пасивної та активної радіонавігації.

УДОСКОНАЛЕНО:

Метод обґрунтування критеріїв оптимальності синтезу вимірювальних сигналів, який відрізняється від відомих запропонованою реалізацією умовної

апостеріорної функції розподілу параметрів контролю технічного стану РНК засобів водного транспорту та дозволяє автоматизувати наявні процедури контролю їх технічного стану за рахунок врахування радіоелектронних завад.

УДОСКОНАЛЕНО:

Технологію оперативної діяльності в умовах ризику і нечіткості даних на підставі використання когнітивної теорії, що дало змогу сформувати когнітивну функціональну структуру професійної діяльності оперативного персоналу та розробити логіко-когнітивні моделі для розв'язання слабо формалізованих задач управління та формування управлінських рішень на підставі інформаційної технології обробки даних;

ОТРИМАЛИ ПОДАЛЬШИЙ РОЗВИТОК:

1. Методи обробки відгуку тестового сигналу для РНК засобів водного транспорту, які відрізняються від існуючих урахуванням характеристик розробленої апостеріорної функції розподілу параметрів контролю і вхідних вимірювальних сигналів та дозволяють автоматизувати процес визначення технічного стану РНК.

2. Метод синтезу тестових сигналів з потрібним спектром з використанням функції Лагранжа, який відрізняється від відомих оптимальним формуванням спектрального складу тестового сигналу та дозволяє забезпечити ефективний контроль технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту.

3. Метод визначення похибок координат засобів водного транспорту залежно від технічного стану радіонавігаційних комплексів, який, на відміну від відомих, враховує функції втрат від помилок у визначені маршруту руху і дозволяє оптимізувати час контролю при необхідному рівні достовірності та спростити процедуру для автоматичного контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів.

Аргументування та критичне оцінювання порівняно з відомими рішеннями запропонованих автором нових рішень.

У теперішній час супутникові системи стають частиною нашого повсякденного життя і суттєвим елементом комерційної та суспільної інфраструктури. Зокрема, вони знайшли широке застосування в області дистанційного зондування природних ресурсів, розвитку інфраструктури та контролю міського господарства, у сільському господарстві та соціальних науках. Інтенсивний розвиток космічної навігації дозволив створити супутникові методи точного визначення координат рухомих в просторі об'єктів. При цьому використовується сузір'я супутників, координати яких ідентифікуються в будь-який момент часу з метою визначення навігаційних даних рухомих різнотипних об'єктів наземного, морського і повітряного базування. В даний час існує ряд світових супутникових навігаційних систем GNSS (Global Navigation Satellite System): американська NAVSTAR/GPS (NAVigation System with Time And Ranging; Global Positioning System); російська ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система – ГНСС); європейська супутникова система Галілео; китайська навігаційна система Бейдоу; японська регіональна навігаційна система QZSS тощо. Найбільш розповсюдженими з вищенаведеного списку є системи ГЛОНАСС і GPS, які першопочатково використовувалися при вирішенні навігаційних задач переважно для військово-оборонних цілей і флоту. Поступово відкрилася можливість їх успішного застосування в інших сферах людської діяльності, в тому числі у прецизійному землеробстві, тобто для точного визначення просторових координат сільськогосподарської техніки у реальному часі. В області точного землеробства для прийняття управлінських рішень з мінімальними витратами при розв'язанні ряду прикладних задач назріла гостра необхідність високоточного визначення місцезнаходження кожного підконтрольного рухомого об'єкта за допомогою глобальної системи позиціонування.

На території України в основному функціонують навігаційні системи з використанням сигналів GPS і ГЛОНАСС, які дозволяють в режимі реального

часу і з відносно високою точністю визначати місцеположення необхідного об'єкта.

Успіх у розвитку радіонавігаційних систем і в їх широкомасштабному використанні повністю полягає у революції, яку справило впровадження великих інтегральних схем. Це зробило навігаційні приймачі легкими, компактними і на порядок дешевше. Винятковим досягненням виявилась розробка перманентної станції, що генерує поправки, які вносять зміни в кодові та фазові вимірювання на рухомому приймачі, в результаті чого досягається підвищена точність позиціонування.

За останні десятиріччя вироблено декілька поколінь приймачів, що базуються на нових технологіях – DGPS (Differential Global Positioning System), RTK (Real Time Kinematics), RTX (Real Time eXtended). Вміст програмно-апаратного забезпечення як DGPS, так і RTK й RTX, є комерційною таємницею їхніх розробників, що ускладнює їх удосконалення при застосуванні у вітчизняних розробках подібного класу. Альтернативою технології RTK, яка дає точність у плані 2,5 см, є RTX з точністю на рівні 3,8 см. Коригувальний RTX-сигнал доступний, наприклад, для користувачів інтегрованих дисплеїв та приймачів лінійки Trimble, що свідчить про технічну перевагу закордонних розробників в порівнянні з вітчизняними, які вимушені купувати іноземне обладнання та відповідне програмне забезпечення для створення дієвих систем, орієнтованих на аграрний сектор.

Проведений аналіз свідчать, що робота сучасних систем опрацювання сигналів в режимі реального часу має певні особливості, які пов'язані, насамперед, із складністю алгоритмів, високими вимогами до швидкодії, такту надходження вхідних даних, великими обсягами оброблюваної інформації, складністю використаної елементної бази та умовами експлуатації. Внаслідок цього під час роботи таких систем виникає певна група відмов, які не є характерними для системи процесорів інших типів. На пошук і виявлення несправностей в системах опрацювання сигналів впливають такі фактори:

- накопичення помилок при переході від одного етапу обчислень до іншого;

- складність визначення моменту і місця виникнення несправності (зумовлені, насамперед, високою швидкістю і великим обсягом інформації, яка надходить);

- складність спряження реальних потоків даних і виникнення завад у лініях зв'язку (швидко-діючі системи можуть бути несправними і при працюючих складових частинах).

Враховуючи, що для більшості керуючих комплексів, до складу яких входять СОС, навіть випадкові збої та помилки можуть привести до фатальних наслідків, проблема діагностики і контролю таких систем є актуальною задачею. Хоча більшість алгоритмів опрацювання сигналів можна подати у формалізованому вигляді, сьогодні не існує однотипних підходів щодо діагностики і контролю відповідних структур. Дослідниками Jun-Fu Li, Shyue-Kung Lu, Shih-Arn Hwang, Cheng-Wen Lu здебільшого розглядаються задачі контролю і діагностики тільки окремих груп алгоритмів і їх апаратної реалізації. Оскільки при опрацюванні сигналів алгоритм швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) використовується досить часто, і підходи до контролю та діагностики ШПФ-схем можна використати для реалізації схем інших ортогональних перетворень, доцільно розглянути цей клас алгоритмів та схем.

Сучасні методи контролю і діагностики ШПФ-схем. Відомо, що для контролю і діагностики вузлів цифрової обробки використовуються апаратні та програмні засоби, внутрішній контроль та зовнішня контрольна-діагностична апаратура. Причому кожен з методів має певні особливості і свою сферу застосувань, головними завданнями при їх використанні в системах опрацювання сигналів є:

- забезпечення контролю і діагностики в режимі реального часу;
- введення мінімальних додаткових діагностичних і контролюючих апаратних засобів;

- забезпечення перевірки вхідних та вихідних сигналів;
- забезпечення контролю і діагностики апаратури у важких (промислових) умовах експлуатації.

При цьому для перевірки ШПФ-схем у складі систем необхідно використовувати поєднання різних методів, а саме вбудованого апаратного контролю, зовнішньої тестової діагностики як самих ШПФ-схем, так і ШПФ-схем у складі системи.

Питанням розробки моделей автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у теперішній час присвячено багато праць.

Забезпечення навігаційної безпеки плавання розглянуто в працях В.Г. Алексишина, Л.А. Козиря С.В. Симоненка, В.І. Богом'я В.І., В.С. Давидова, В.В. Дороніна, Д.П. Пашкова, І.В. Тіхонова, Г.Л. Баранова.

Обґрунтування застосування сигналів з нормованим спектром для контролю технічного стану радіонавігаційних приладів засобів водного транспорту здійснили Павліков В.В., Тимощук О. М., Дакі О. А.

Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації суднового обладнання розглядали Богом'я В. І., Павленко М. А., Тимочко О. І., Тимощук О.М.

Процедури вбудованого контролю вузлів ШПФ ґрунтуються на введенні додаткових апаратних вузлів всередину схеми, реалізованої на ІС високого ступеня інтеграції, або у програмовану НВІС, на якій реалізована схема ШПФ. У більшості випадків ці схеми контролю забезпечують 100 % здатність виявлення помилки при значних додаткових апаратних затратах. Тому ці методи використовуються тільки для виконання задач спеціального призначення у відмовостійких системах. Для більшості систем використовуються методи (автори Oh C.G., Youn H.Y., and R.aj. V.K.), які ґрунтуються на генерації кодових послідовностей, наприклад, на генеруванні контрольної суми.

В працях Yamashita K., Kanasugi A., and Goto G розроблено великий клас алгоритмів тестування, які базуються на псевдовипадковій стратегії, але

не можуть забезпечити 100 % виявлення помилок. Автономний псевдовичерпний підхід (Antola A., Sami M.G., Sciuto D.) забезпечує виявлення всіх помилок; при контролі результатів тестування зовнішнім пристроєм. Перспективними є методи автономного визначення помилок, які базуються на підході “проектування для забезпечення тестування”. В одних з них тестуються тільки функціональні арифметичні пристрої, але не перевіряються шляхи передачі даних.

Інші методи базуються на підході тестування повторювальними логічними масивами, що вимагає додаткових затрат апаратури. Як показує аналіз, наведені вище методи здебільшого орієнтовані на покращання надійності схем ШПФ на найнижчому ієрархічному рівні (“метелик”, окремі вузли схеми) без врахування особливостей реалізації алгоритму ШПФ і структури системи опрацювання. Необхідно відзначити, що при контролі схем ШПФ бажано не змінювати конфігурації архітектури графу ШПФ. У цьому аспекті доцільно порівняти ефективність використання алгоритму генерації тестових послідовностей.

Питання забезпечення навігаційної безпеки плавання розглядали В.Г. Алексишин, Л.А. Козырь, С.В. Симоненко, А.М. Байрашевский, А.В. Жерлаков, П.А. Бакулев П.А.

В працях Баранова Г.Л., Тихонова І.В. запропонована аналітична модель траєкторії електронного курсу транспортного засобу у зонах з підвищеним ризиком плавання, знайдено аналітичний зв'язок навігаційних параметрів стану і сигналів адаптивного управління на програмних траєкторіях руху високошвидкісних транспортних засобів, розглянуто питання узгодження точності навігації та прогнозування параметрів траєкторії руху транспортних засобів на водних шляхах, оцінки ефективності інтелектуалізації інтегрованих систем навігації і управління рухомими транспортними засобами.

В працях Беляєвського Л.С. розглянуто теоретичні основи радіонавігації та радіонавігаційних систем, глобальні супутникові системи навігації та зв'язку на транспорті.

В працях Богом'ї В.І. здійснено аналіз методів синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту, проаналізовано вимірювальні сигнали для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту, розглянуто теоретичні основи синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

Радіонавігаційні системи, суднові навігаційні радіолокаційні станції розглянуто в працях Власова П.П., Воробей В.І., Дороніна В.В., Роднянського Р.А..

Електронні картографічні системи в сучасному судноводінні розглянуто в працях Д.А. Гагарського, Дороніна В.В.

Питання надійності засобів метрологічної вимірювальної техніки розглядали С.В. Герасимов, В.Є. Козлов, Ю.П. Шамаєв.

В працях Герасимова С.В., М.Ю. Яковлева здійснено синтез полігармонійного вимірювального сигналу з будь-якою кількістю точок перемикування, сформульовано вимоги до генераторів сигналів для контролю технічного стану радіоелектронного обладнання, розглянуто калібратори полігармонічних сигналів для контролю технічного стану радіотехнічних систем.

Питання діагностування динамічних систем у реальному часі розглянуто в працях А.К. Дмитриєва, П.А. Мальцева, В.Г. Довбні, Б.І. Доценка, А.Н. Маринича, І.Г. Проценка, Ю.М. Устинова, Н.А. Махутова, В.Н. Пермякова, А.А. Мусорина, А.П. Наукменка.

В працях Тимошук О.М. запропоновано структурний синтез просторово-розподілених надширокосмугових радіометричних комплексів, розглянуто прикладні аспекти застосування пасивних радіотехнічних комплексів для вирішення задач контролю водних акваторій, запропоновано критерій оптимальності процесу технічного обслуговування суднових комплексів, обґрунтовано застосування сигналів з нормованим спектром для

контролю технічного стану радіонавігаційних приладів засобів водного транспорту, запропоновано метод оптимізації параметрів вимірювального полігармонійного сигналу з використанням функції Лагранжа, а також метод синтезу вимірювального сигналу з будь-якою кількістю точок перемикавання.

В працях Тихонова І.В., Баранова Г.Л., Банішевського С.А. запропонована аналітична модель інформаційної технології підвищення безпеки руху на внутрішніх водних шляхах, обґрунтована методика підвищення ефективності навігаційного забезпечення плавання на внутрішніх водних шляхах.

В працях В.М. Чинкова, Ю.О. Крихтіна здійснено аналіз сучасного стану та визначено перспективні напрямки синтезу оптимальних полігармонічних сигналів з нормованим спектром для контролю технічного стану зразків озброєння та військової техніки, запропоновано адаптивний метод знаходження модуля амплітудного значення полігармонічного сигналу, розроблено варіаційний метод і методики синтезу оптимального вимірювального сигналу для контролю технічного стану системи автоматичного управління, здійснено синтез бінарного сигналу з рівномірним спектром за критерієм мінімуму розкиду амплітуд корисних гармонік методом послідовного квадратичного програмування.

Проведений аналіз літературних джерел підтверджує, що проблема здійснення контролю технічного стану складних систем: забезпечення заданої достовірності та оперативності отримання інформації про технічний стан радіо-навігаційного комплексу засобів водного транспорту в умовах збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик, а також відсутності методів автоматизації цих процесів вимагає комплексного системного дослідження з використанням методів системного підходу. Порівняльний аналіз з відомими рішеннями запропонованих автором нових рішень дозволяє визначити нові підходи до створення та застосування інформаційних технологій автоматизації контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту.

Усі вище зазначені чинники визначають аргументування та критичне оцінювання запропонованих автором нових рішень порівняно з відомими рішеннями.

Практична значимість та важливість для галузі полягає в тому, що автором методи синтезу та обробки, а також алгоритми роботи калібраторів і аналізаторів розроблених тестових сигналів рекомендовано застосовувати при створенні автоматичних приладів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту. Це дозволить скоротити витрати часу на проведення контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту та підвищити його достовірність, скоротити витрати на експлуатацію таких засобів. Запропоновані у роботі методи синтезу та обробки, а також алгоритми роботи калібраторів (мір) і аналізаторів розроблених тестових сигналів можуть бути застосовані при створенні автоматичних приладів для перспективних інформаційних вимірювальних систем (комплексів).

Автоматизація процедур контролю технічного стану за рахунок розроблених методів синтезу тестових сигналів та обробки відгуків дозволяє підвищити достовірність контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту до (10...15)% при незначному часі контролю та до (5...10)% при значному часі контролю; вигащ за оперативністю контролю складає до 40% при незначному часі контролю та до 20% при підвищенні часу контролю.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в Комітеті з питань транспорту Верховної Ради України, ПрАТ «Дунайсудноремонт», ДП «Ізмаїльський морський торговельний порт», ТОВ «Учбово-тренажерний центр «Альфа-трейнінг», Державному університеті інфраструктури та технологій.

Дані про впровадження підтверджено відповідними документами.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації вимогам, затвердженим МОН України.

У *вступі* обґрунтовано актуальність дослідження, сформульовано мету та наукову проблему дисертації, показано зв'язок роботи з науковими темами та програмами, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію щодо кількості публікацій, апробацію та впровадження основних результатів дослідження, виділено особистий внесок здобувачки в опублікованих працях зі співавторами.

У *першому розділі* «Аналіз методів і способів формування тестових сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту» наведено загальні характеристики контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, здійснено Аналіз тестових сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, аналіз методів синтезу тестових сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту. Обґрунтовано роль контролю технічного стану в підтриманні потрібного коефіцієнту готовності радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту та здійснено аналіз вимірювальної техніки для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту. Це дозволило обґрунтувати напрями дослідження дисертаційної роботи та методи розв'язання часткових завдань дисертаційного дослідження.

У *другому розділі* «Удосконалення показників ефективності контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту» здійснено постановку задачі обґрунтування критеріїв оптимальності синтезу тестових сигналів для контролю радіонавігаційних комплексів, розрахунок функції розподілу параметрів контролю радіонавігаційних комплексів, розрахунок критерію точності контролю радіонавігаційних комплексів, розрахунок критерію інформативності про технічний стан радіонавігаційних комплексів, розрахунок критерію чутливості контролю радіонавігаційних комплексів.

У *розділі 3* «Методи синтезу тестових сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту» розглянуто

питання застосування методу варіаційного числення до задачі синтезу тестового сигналу, запропоновано метод розв'язання задачі синтезу тестового сигналу для контролю радіонавігаційних комплексів. Обґрунтовано застосування методу динамічного програмування до задачі синтезу тестового сигналу.

Четвертий розділ «Методи обробки відгуку на тестовий сигнал радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту» присвячено узагальненню методу обробки відгуку на тестовий сигнал радіонавігаційних комплексів, обґрунтуванню методу обробки відгуку сигналу за нормальних законах розподілу завади та параметрів контролю, методу контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів без використання максимальної інформації про відгук.

У *п'ятому розділі* «Принципи побудови цифрових автоматичних приладів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту» запропоновано основи побудови генераторів тестових сигналів складної форми, здійснено розробку генератору тестових сигналів складної форми, формалізовано принципи побудови та елементи функціональної схеми аналізатора відгуку на тестовий сигнал, запропоновано функціональну схему автомата контролю лінійних і нелінійних радіонавігаційних комплексів, функціональні схеми автомата контролю лінійних та лінеаризованих радіонавігаційних комплексів при синусоїдному сигналі, функціональні схеми автомата контролю лінійних та лінеаризованих радіонавігаційних комплексів при синусоїдному сигналі.

У *розділі 6* «Практична реалізація запропонованих методів синтезу складних тестових сигналів» запропоновано метод визначення похибок координат засобів водного транспорту залежно від технічного стану радіонавігаційних комплексів, здійснено синтез складного тестового сигналу з використанням функції Лагранжа, запропоновано метод синтезу тестового сигналу з будь-якою кількістю точок перемикання, методи синтезу тестових

сигналів з нормованим спектром, здійснено синтез тестового сигналу для контролю передавача радіонавігаційного комплексу.

У **висновках** відтворено основні результати дисертаційного дослідження, що відображають інформаційної технології підготовки оперативного персоналу для роботи в умовах надзвичайних ситуацій.

У **додатках** наведено: акти впровадження результатів дослідження, перелік параметрів контролю при технічному обслуговуванні та діагностуванні радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, критерії оптимізації характеристик тестового сигналу та співвідношення між ними, список опублікованих праць за темою дисертації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел (222 найменування) та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 338 сторінок, із них 275 сторінка основного тексту, 48 рисунків та 2 таблиці.

Оцінка мови та стилю викладення дисертації і автореферату. Мова та стиль дисертації та автореферату свідчать про вміння автора аргументовано викладати свої думки та, у цілому, відповідають вимогам МОН України. Сформульовані у дисертаційній роботі основні положення, висновки та рекомендації викладені у логічній послідовності та доказовій формі, що значно сприяє усвідомленню думок автора. Всі розділи дисертації мають внутрішню єдність і завершеність. Змістовне наповнення підрозділів роботи відповідає змісту визначених розділів.

Отримані підсумкові результати дисертації співпадають із загальною метою і конкретними науковими завданнями, сформульованими у вступі. В цілому, дисертаційна робота сприймається як кваліфікаційна закінчена наукова праця, що містить нові наукові результати.

Підтвердження повноти викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях. Наукова новизна безсумнівна та достатня для докторської дисертації. Основні наукові і практичні результати, що отримані в ході дисертаційного дослідження, опубліковано з необхідною повнотою після

захисту кандидатської дисертації у 29 наукових статтях: 1 стаття у вигляді розділу колективної монографії, 24 статті (6 з яких написано одноосібно) у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України в галузі технічних наук та до міжнародних наукометричних баз даних, 4 статті у журналах, що входять до наукометричної бази даних Scopus. Крім того, за матеріалами дисертації опубліковано 11 тез доповідей на конференціях. Матеріали дослідження ввійшли до звіту про науково-дослідну роботу «Розробка комплексного показника якості пасажирських круїзних суден змішаного плавання в системі безпересадкових круїзних перевезень між портами Дніпра, Чорного моря та Дунаю» (номер держреєстрації 0116U03946).

Інформація про отримані результати у кандидатській дисертації здобувача не використовувалась при підготовці докторської дисертації.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації і дає повне уявлення про отримані результати дослідження та їх наукову новизну та практичну значимість.

Відмічаю в цілому науково-коректний стиль викладення матеріалів дисертації. Назва роботи відповідає суті роботи, яка відповідає паспорту спеціальності 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту».

Недоліки

У якості недоліків у роботі потрібно відмітити наступні.

1. Метою дисертаційної роботи є «є підвищення достовірності та оперативності контролю технічного стану РНК засобів водного транспорту за рахунок розробки методів синтезу та обробки тестових сигналів складної форми» (достовірність підвищено на 5%, а оперативність на 10%). Це завдання потребує вирішування оптимізаційної роботи (знаходження компромісних рішень в умовах обмежень ресурсів). Такій підхід передбачає застосування або багатокритеріальної оптимізації, або здійснення згортання критеріїв з відповідними ваговими коефіцієнтами (Парето оптимальність). При цьому в роботі відсутня математична формалізація завдання дослідження.

2. На мій погляд, незважаючи на те що робота цілком відповідає назві, бажано було визначити запланований результат, на досягнення якого спрямоване дослідження, наприклад: зменшення похибок 1 та 2 роду, терміни скорочення часу контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, економічні показники здійснення контролю. Вважаю, що автору бажано було більше уваги приділити питанню здійснення контролю в процесі виконання функціональних завдань в періоди тактових пауз в роботі радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту з подальшою корекцією алгоритмів функціонування самих комплексів. Такій підхід забезпечить функціональну стійкість радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту в умовах можливих нештатних (аварійних) ситуацій, що суттєво підвищить практичну значимість запропонованих наукових результатів.

3. Робота спрямована на функціонування сучасних радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту:

– наземні радіонавігаційні системи (РНС), наприклад:

а) РНС «ДЕККА» (Система «Декка» є різниця-дальномірною РНС з синхронізацією фази сигналів, що передаються опорними наземними передаючими станціями);

б) РНС «Лоран-С» (Система «Лоран-С» являє собою імпульсно-фазовою різниця-дальномірною РНС із синхронізацією моментів випромінювання та фази імпульсних сигналів, випромінюваних опорними наземними передаючими ретранслюючими станціями);

– супутникові радіонавігаційні системи (СРНС), наприклад:

а) СРНС «NAVSTAR» (GPS) (США);

б) СРНС «ГЛОНАСС» (Росія).

Тому бажано було надати рекомендацій щодо кількості параметрів контролю перспективних комплексів на стадії розробки самодіагностіруємих систем з урахуванням особливостей водного транспорту: річні, морські судна, та умови їх функціонування:

– атмосферні завади, обумовлені грозовими розрядами та мінливістю фізичних властивостей атмосфери, агресивного середовища (підвищена вологість і сіль, різні кліматичні зони експлуатації);

– індустриальні (технічні) завади, пов'язані з експлуатацією електроустановок і радіоелектронної апаратури різного призначення;

– міжсистемні завади, що створюються сторонніми радіотехнічними установками;

– навмисні завади, що умисне випромінюються об'єктами, протидіючими тій або іншій радіотехнічній системі.

4. Робота перевантажена відомим теоретичним матеріалом, наприклад:

- 1.1 Загальні характеристики контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту;

- 1.2 Аналіз тестових сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту;

- 2.2 Розрахунок функції розподілу параметрів контролю радіонавігаційних комплексів;

- 3.1 Застосування методу варіаційного числення до задачі синтезу тестового сигналу;

- 4.1 Узагальнений метод обробки відгуку на тестовий сигнал радіонавігаційних комплексів;

- 5.1 Основи побудови генераторів тестових сигналів складної форми;

- 5.3 Принципи побудови та елементи функціональної схеми аналізатора відгуку на тестовий сигнал.

5. У розділі 2 (стор.81) «2.1 Постановка задачі обґрунтування критеріїв оптимальності синтезу тестових сигналів для контролю радіонавігаційних комплексів» відсутня математична формалізація в умовах внутрішніх та зовнішніх завад (збурень). Зроблена оптимізація процедури (методики) контролю з інформаційної точки зору (стор.109) полягає, таким чином, у знаходженні вхідного сигналу $u_{\text{опт}}(t)$, який при заданому рівні завади σ_{ξ}^2 і заданому часі спостереження T (або кількості відліків s) відгуку забезпечував

би максимальне значення величини $I(z/y)$. Крім того, запропонований метод обґрунтування критеріїв оптимальності тестових сигналів дозволяє передбачає здійснювати синтез вхідних сигналів: знайти такий вхідний складний тестовий сигнал $u(t)$, при якому за час контролю T функція апіорної щільності розподілу параметрів контролю ρ переходить з початкового стану ρ_1 у той, при якому $\rho \rightarrow \min$, тобто в запропонований стан ρ_3 . При цьому питання кореляції апостеріорної ентропії та апіорної щільності розподілу параметрів контролю з конкретними відмовами (похибками) не розглядаються.

6. У розділі «3 Методи синтезу тестових сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту» автором стверджується, що на відміну від метода варіаційного числення, принцип максимуму та метод динамічного програмування дозволяють отримати розв'язок задачі тоді, коли тестовий сигнал $u(t)$ знаходиться на границі допустимої області. При цьому, вважаю, недостатньо обґрунтовано зроблено висновок, що хоча в методі динамічного програмування на кожному етапі необхідно розраховувати та запам'ятовувати тільки одну функцію $u_{\text{опт}}(\zeta_\gamma)$, при значній кількості параметрів контролю та достатньо складному радіонавігаційному комплексі) об'єм розрахунків може бути великим.

7. У розділі 4 «Методи обробки відгуку на тестовий сигнал радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту» розглядаються методи обробки відгуків на запропоновані вхідні складні тестові сигнали – методи обробки відгуку. Отримані результати цього розділу встановлюють принципи побудови та алгоритми роботи апаратури аналізатора відгуку (вихідного сигналу) та стверджується (стор. 182) , що «розглянуті методи є завадозахищеними і, відповідно, оптимальними». Вважаю що завадозахищеність та оптимальність це різні властивості.

8. При обґрунтуванні запропонованих принципів побудови цифрових автоматичних приладів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту на основі розроблених методів синтезу

тестових сигналів і обробки відгуків на них (розділ 5), автор розглядає: принципову схему одного із варіантів дільника частоти (рис.5.2, стор. 208), структурну схему перетворювача код в аналог (рис. 5.3, стор. 209), еквівалентну схему перетворювача код в аналог (рис. 5.4, стор.209). Вважаю, що бажано було зосередитися на математичному опису генератору тестових сигналів складної форми, особливостях апаратного та програмного забезпечення в умовах експлуатації та ремонт засобів водного транспорту.

9. При розгляді (підрозділ 6.1) методу визначення похибок координат засобів водного транспорту залежно від технічного стану радіонавігаційних комплексів бажано було функціонал цілі контролю Φ залежно від параметрів q конкретизувати окремо як для існуючих аналогових радіонавігаційних комплексів (аналогова формалізація), так й перспективних цифрових (дискретна формалізація).

10. Запропонований метод (за висновком автора, стор.255) дозволяє проводити діагностування технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту, так як за його допомогою можливо прогнозувати час між проведенням періодичного контролю під час експлуатації. Однак питання технології цього діагностування (визначення часу початку діагностування, характеристики та кількості контрольних сигналів та діагностуються параметрів, що діагностуються) для радіонавігаційних комплексів водного транспорту залишилися не розглянутими. Потребують обґрунтування висновки: (стор. 255) що «Раціональний *інтервал проведення періодичного контролю* (міжконтрольний інтервал) під час експлуатації радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту дозволить *збільшити достовірність* їх справного стану»; та «Збільшення *достовірності експлуатації* справних радіонавігаційних комплексів дозволяє підвищити *ефективність експлуатації* засобів водного транспорту».

11. Автор стверджує (стор. 291), що «аналіз рисунку 6.13 і *діаграми* (рис. 6.14) доводить *перевагу синтезованого сигналу* у зменшенні часу контролю, тобто підвищення оперативності. Цей висновок бажано було

конкретизувати для конкретних радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту.

12. В роботі мають місце окремі стилістичні похибки, наприклад:

- стор. 43, - «формалізуємо схему, зображену на рисунку 1.2.»;

- стор. 64, викликає сумніву твердження автора «Отже, контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту є *єдиним* засобом підтримання їх у справному стані та істотно впливає на ефективність виконання ними поставлених завдань»;

- стор. 65, має місце тривіальний висновок, - «Отже, за рахунок зменшення часу контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів засобів водного транспорту може бути забезпечене підвищення коефіцієнта готовності»;

- стор. 81, - «лапласовське зображення передатної функції ОК»;

- стор. 85, - «визначення оптимальної методики контролю», що оптимізується: оптимальна методика або методика оптимального контролю?

- стор. 98, - «Докажемо це зауваження»;

- стор.174, - «Запишемо величину $y_0(t, q)$ у вигляді», - математична некоректність, це не величина, а функція;

- стор.287, - «Рисунок 6.11 – Графічне розв'язання рівняння (6.65)», однак в рівнянні (6.65) у явній формі відсутні параметри абсциси та ординати рис.6.11;

- має місце застосування вже не сучасних літературних джерел, наприклад:

4. Байрашевский А.М. Судовая радиоэлектроника и радионавигацион-ные приборы / А.М. Байрашевский, А.В. Жерлаков. – М.: Транспорт, 1988. – 271 с.

10. Баранов Ю.К. Использование радиотехнических средств в морской навигации / Ю.К. Баранов. – М.: Транспорт, 1988. – 208 с.

12. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Е.Ю. Барзилович. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.

33. Власов П.П. Радионавигационные системы / П.П. Власов. – Мурманск, 1994. – 37 с.

72. Доценко Б.И. Диагностирование динамических систем / Б.И. Доценко. – К.: Техніка, 1983. – 159 с.

93. Крыштын Л.К. Техническая эксплуатация танкера / Л.К. Крыштын, О. И. Тимченко. – М.: Транспорт, 1980. – 206 с.

136. Пярнпуу А.А. Программирование на современных алгоритмических языках / А.А. Пярнпуу. – М.: Наука, 1990. – 384 с.;

137. Радионавигационные приборы и системы / В.А. Василенко, Б.С. Розен, В.В. Серегин. – М.: Агропромиздат, 1986. – 319 с.

Висновок.

Вивчення дисертаційної роботи, автореферату та опублікованих здобувачем наукових праць дозволяє стверджувати, що дисертаційна робота виконана на актуальну тему, представляє собою логічне завершене наукове дослідження, що містить нові обґрунтовані наукові результати, які в сукупності є вирішенням сформульованої вище наукової проблеми, та відповідає вимогам п. 9, 10, 12-14 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо докторських дисертацій, а здобувач *Дакі Олена Анатоліївна* заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту».

Офіційний опонент -
проректор з наукової роботи,
доктор технічних наук, професор,
Заслужений діяч науки і техніки України

Олександр
15 березня 2020 р.



О.А. Машков