

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С. ПОПОВА

ПОВХЛІБ ВІКТОРІЯ СЕРГІЇВНА

УДК 621.396

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНОЮ ЦИФРОВОЮ
ТРОПОСФЕРНО-РАДІОРЕЛЕЙНОЮ СТАНЦІЄЮ

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Одеській національній академії зв'язку ім. О.С. Попова
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Почерняєв Віталій Миколайович,
Одеська національна академія зв'язку
ім. О.С.Попова, професор кафедри «Телекомунікації»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Семенко Анатолій Іларіонович,
Відкритий міжнародний університет розвитку
людини «Україна», професор кафедри
«Комп'ютерної інженерії»,
лауреат Державної премії СРСР;
кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник
Наритник Теодор Миколайович,
директор Інституту електроніки та зв'язку
Української академії наук,
лауреат Державної премії СРСР,
лауреат Державної премії України.

Захист відбудеться 17 січня 2018 р. о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.816.01 при Одеській національній академії зв'язку ім. О.С. Попова за адресою: 65029 м. Одеса, вул. Кузнечна, 1, головний корпус, ауд. 223.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова за адресою: 65029 м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.

Автореферат розісланий «___» _____ 2017 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доц.



Д.М. Степанов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Згідно інформації Міжнародної бази даних по надзвичайним подіям (The International Disaster Database, EM-DAT) в період с 1995 по 2015 роки на планеті відбулося більше 8700 стихійних лих та 5700 техногенних катастроф з загальним економічним збитком приблизно в \$ 2,4 трлн. Стихійні лиха: землетруси, виверження вулканів, цунамі, паводки, тайфуни, смерчі, урагани – найчастіше стають причиною екологічних та техногенних катастроф. У цих умовах, а також при інших позаштатних ситуаціях поряд з іншими мобільними радіосистемами НВЧ діапазону стає актуальним використання мобільних комбінованих цифрових станцій зв'язку.

При побудові польових транспортних телекомунікаційних мереж стає необхідним одночасне використання мобільних станцій як радіорелейного, так і тропосферного типу. Це обумовлено тим, що розташування станцій залежить від рельєфу місцевості та при розбудові телекомунікаційної мережі відстань між ними може коливатись у широкому інтервалі.

У дисертаційній роботі відзначено, що перспективним напрямом розвитку радіолокаційних систем є багатопозиційні радіолокаційні системи. Сучасна територіально-розподілена радіолокаційна система має рознесені приймальну і передавальну позиції з віддаленням одна від одної на відстані десятки, і майже сто і більше кілометрів. Така радіолокаційна система істотно підвищує ефективність виявлення літальних апаратів, у тому числі виготовлених за технологією "Stealth". Актуальними лініями зв'язку для даної радіолокаційної системи можуть бути ті, що базуються на радіосистемах НВЧ діапазону комбінованого типу.

Тому, створення мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції (МЦТрРРС) як комбінованої цифрової станції зв'язку з єдиною системою управління цілком виправдано. Відмінною рисою МЦТрРРС є єдина система управління для тропосферної та радіорелейної компонент. При цьому необхідна оцінка внутрішньооб'єктової електромагнітної сумісності (ЕМС) радіовипромінювальних засобів, розташованих на мобільній платформі. Особливістю МЦТрРРС є те, що серед цих радіовипромінювальних засобів розташовано передавач з неперервною вихідною потужністю ≥ 1 кВт.

Робота такої телекомунікаційної системи може здійснюватись у складній обстановці під впливом ненавмисних і навмисних завад. Тому висуваються підвищені вимоги до стійкості системи управління станцією. Технічна реалізація такої складної телекомунікаційної системи, як МЦТрРРС, вимагає наукового опрацювання цілого ряду питань, що відносяться до функціонування цієї системи.

Сигналам управління системою в складній електромагнітній обстановці найбільше відповідають сигнали, які описуються ортогональними кусково-неперервними функціями. Тому, розробка моделі системи управління та її наукове обґрунтування, пов'язане з сигналами, що описуються кусково-неперервними функціями певного класу для комбінованої телекомунікаційної системи НВЧ діапазону – МЦТрРРС є актуальною темою дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана з рішенням науково-технічних завдань, які відповідають положенням Закону України "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки" (стаття 3, п. 2) від 11 липня 2001; Закону України "Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні" (стаття 4, п. 2 і п. 7) від 5 грудня 2012; "Концепції розвитку телекомунікацій в Україні", затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України № 316-р від 7 червня 2006. В ході проведення наукового дослідження були враховані положення Закону України «Про телекомунікації», Закону України «Про використання радіочастотного ресурсу», Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України» та Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Плану використання радіочастотного ресурсу України».

Основні результати дослідження відповідають висновкам дослідно-конструкторських робіт «Розробка базової цифрової радіорелейної станції» (шифр «Марс-1») і «Модернізація станції тропосферного зв'язку Р-423-1» (шифр «Фобос-1»). Дані дослідно-конструкторські роботи виконувались на замовлення Міністерства оборони України.

Результати дисертаційного дослідження, висновки та рекомендації використані при виконанні робіт з модернізації мобільної станції радіомоніторингу MMS 01 на базі обладнання компанії Rohde & Schwarz, які проводило ТОВ «ТриА-нет» в інтересах ДП «Укрчастотнагляд», на що отримано відповідний акт реалізації.

Результати дисертаційної роботи знайшли застосування в навчальному процесі Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова та державного закладу «Київський коледж зв'язку», на що отримані відповідні акти впровадження.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розв'язання комплексу науково-технічних завдань, пов'язаних з підвищенням стійкості системи управління мобільної цифрової телекомунікаційної системи НВЧ діапазону нового типу шляхом використання ортогональних кусково-неперервних функцій як сигналів управління. При цьому вирішуються такі науково-технічні завдання:

– аналіз перспективних напрямів розвитку цифрового тропосферного та радіорелейного зв'язку, розробка науково-технічного рішення щодо створення мобільної комбінованої телекомунікаційної системи НВЧ діапазону – МЦТрРРС та наукове обґрунтування її застосування;

– оцінка внутрішньооб'єктової ЕМС радіовипромінювальних засобів такої складної комбінованої телекомунікаційної системи як МЦТрРРС і визначення основних вимог до системи управління;

– аналіз і вибір системи ортогональних кусково-неперервних функцій, виходячи з представлення функцій швидкозбіжними рядами і системи упорядкування ансамблів ортогональних кусково-неперервних функцій з вибором методу їх дослідження;

– розробка моделі єдиної системи управління МЦТрРРС;
– експериментальне дослідження, що підтверджує отримані теоретичні результати з розробкою діючого апаратно-програмного комплексу експериментального зразка пульта управління з генератором функцій Уолша-Пелі.

Об'єкт дослідження – процес управління МЦТрРРС як складною комбінованою телекомунікаційною системою НВЧ діапазону.

Предмет дослідження – модель системи управління МЦТрРРС.

Методи дослідження. У роботі застосовано математичний апарат ортогональних кусково-неперервних функцій, ряди по функціям Уолша-Пелі та матричний апарат з упорядкуванням по системі Пелі для опису сигналів управління. Як метод дослідження ансамблю функцій управління обрано метод декомпозиції, суть якого полягає в розчленуванні структури на незалежно модельовані частини.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі отримані наступні нові наукові результати:

1. Вперше запропоновано та науково обґрунтовано застосування комбінованої телекомунікаційної системи НВЧ діапазону – мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції з формуванням сигналів керування на основі ортогональних кусково-неперервних функцій Уолша-Пелі, що у порівнянні з відомими забезпечує вищу стійкість в умовах впливу різних дестабілізуючих факторів.

2. Набув подальшого розвитку метод оцінки внутрішньооб'єктової електромагнітної сумісності радіовипромінювальних засобів мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції, яка відрізняється тим, що враховує наявність передавача з неперервною потужністю ≥ 1 кВт.

3. Набула подальшого розвитку теорія функцій Уолша-Пелі з доведенням рівномірної збіжності, яка поширена на їх застосування для сигналів системи управління мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції.

4. Набув подальшого розвитку метод декомпозиції ансамблю сигналів системи управління мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції з незалежним моделюванням структурних об'єктів, що дозволяє формувати різномірні команди управління у єдиній математичній моделі.

5. Вперше запропоновано модель єдиної системи управління мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції, що містить математичний опис процесу управління як розгалуженою системою з різними за мірами важливості об'єктами з урахуванням процедури моніторингу телекомунікаційної системи.

Наукові результати дисертаційної роботи отримали підтримку Концерном «Укроборонпром», Концерном РРТ, оператором зв'язку ПАТ «Укртелеком», що підтверджується відповідними листами.

Практичне значення одержаних результатів. На базі розробленої моделі системи управління МЦТрРРС створено послідовність операцій її функціонування, яку доведено до інженерного рівня і може використовуватися для цифрових тропосферних і радіорелейних станцій інших класів. Створено

програму емуляції віртуального пульта управління як основного елементу системи управління нової телекомунікаційної системи НВЧ діапазону – МЦТрРРС, на яку отримано патент України на винахід. Створено експериментальний зразок у вигляді апаратно-програмного комплексу пульта управління з генератором функцій Уолша-Пелі, який відтворює формування керуючих сигналів системи управління МЦТрРРС та їх стійкість до впливу завад. Проведено експериментальне дослідження з використання сигналів управління, що базуються на ортогональних кусково-неперервних функціях Уолша-Пелі, при впливі на них різного типу завад. За результатами дисертаційного дослідження розроблено рекомендації щодо особливостей використання послідовності операцій функціонування та прикладної програми для системи управління МЦТрРРС, які можуть бути застосовані і для мобільних радіосистем НВЧ діапазону інших класів. Послідовність операцій функціонування та прикладна програма системи управління використані при проведенні робіт з модернізації мобільної станції радіомоніторингу MMS 01 на базі обладнання компанії Rohde & Schwarz, які проводило ТОВ «ТриА-нет» в інтересах ДП «Укрчастотнагляд», що підтверджено відповідним актом реалізації. Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі, що підтверджено актами впровадження: 1) Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова при підготовці студентів-магістрів за спеціальністю «Телекомунікації та радіотехніка» при дипломному проектуванні та проведенні лекційних занять згідно з навчальним планом закладу; 2) Державного закладу «Київський коледж зв'язку» при підготовці студентів-бакалаврів за спеціальністю «Телекомунікації та радіотехніка» при курсовому проектуванні та проведенні лекційних занять згідно з навчальним планом закладу.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Автор виконав усі теоретичні та практичні дослідження, що становить основу дисертаційної роботи. В опублікованих роботах у співавторстві здобувачу належать такі результати: [1,8,9] – запропоновано використання декількох видів режимів робіт і діапазонів частот; [2,10] – запропоновано набір основних функцій, які виконуються пультом управління МЦТрРРС; [3,11] – проведені розрахунки частот і рівнів побічних каналів прийому, значення розв'язки між антенами різних компонент станції для оцінки внутрішньооб'єктової ЕМС; [4] – досліджена збіжність рядів Уолша-Пелі, модифіковано метод декомпозиції, обґрунтовано застосування коду Грея; [5] – розроблено послідовність операцій функціонування системи управління МЦТрРРС; [6] – розроблено прикладну програму для системи управління МЦТрРРС в спеціалізованому програмному середовищі LabVIEW; [7] – запропоновано варіанти науково-технічної реалізації МЦТрРРС з єдиною системою управління для тропосферної та радіорелейної компонент, розроблена функціональна схема системи управління МЦТрРРС для проведення експериментального дослідження, отримані результати цього дослідження; [12] – запропоновані елементи єдиної системи

управління для роботи МЦТрРРС в мережі зв'язку; [13] – технічна реалізація системи управління МЦТрРРС.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на п'яти міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях.

Публікації. Основні результати дисертації опубліковано в 13 наукових працях: 1 патент України на винахід, 6 статей, які опубліковані в наукових журналах, що включені до Переліку фахових видань України, 1 стаття в періодичному науковому виданні; з них 2 статті одноосібно; 1 стаття у фаховому науковому журналі, що індексується міжнародними наукометричними базами; 5 публікацій у матеріалах міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, восьми додатків і містить 169 сторінок основного тексту, 50 рисунків, 9 таблиць, 30 сторінок додатків. Список використаних джерел містить 100 найменувань і займає 11 сторінок. Загальний обсяг роботи складає 199 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, показано зв'язок роботи з науковими темами, планами, програмами, сформульовано мету і науково-технічні завдання роботи, запропоновано методи наукового дослідження, зазначено наукову новизну, практичне значення одержаних результатів, наведено відомості про апробацію та публікації результатів.

У першому розділі – «Наукове обґрунтування застосування та науково-технічне рішення щодо розробки мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції» виконано аналітичний огляд сучасних технологій розвитку цифрового тропосферного і радіорелейного зв'язку, розроблено науково-технічного рішення щодо створення мобільної комбінованої телекомунікаційної системи НВЧ діапазону – МЦТрРРС та наукове обґрунтування її застосування, а також виконана оцінка внутрішньооб'єктової ЕМС радіовипромінювальних засобів МЦТрРРС, що розташовані на транспортній платформі.

Визначено, що у районах стихійних лих та техногенних катастроф, при виникненні надзвичайних і позаштатних ситуацій найбільш вірогідним варіантом організації наземної лінії зв'язку НВЧ діапазону може бути побудова комбінації з тропосферних і радіорелейних станцій зв'язку. В даний час, незважаючи на широке використання супутникових систем зв'язку, станції тропосферного зв'язку застосовуються як у мережах спеціального призначення, так і у відомчих і корпоративних мережах. Більш висока живучість у складній заводській обстановці є перевагою тропосферних засобів зв'язку перед іншими радіосистемами НВЧ діапазону. Тому, актуальним є науково-технічне завдання створення мобільної цифрової радіосистеми НВЧ діапазону, яка одночасно працює в 2-х режимах: заобрійного зв'язку і прямої видимості.

Дане дослідження базується на наукових працях, висновках проведених НДР та ДКР в галузі теорії і техніки тропосферного зв'язку, що створені відомими закордонними та українськими науковцями, такими як, Борисенко М.І., Гусятинський І.О., Кукк К.І., Неміровський О.С., Почерняєв В.М., Серов В.В., Скрипник Л.В., В. Barrow, P. Bello, H. Booker, S. Rice. В наш час активну роботу проводить колектив вчених під керівництвом Наритника Т.М. Такий напрям науково-технічних досліджень є досить багатограним, тому свій вклад в дану область також вносять і наукові школи Банкета В.Л., Поповського В.В., Семенко А.І.

Розглянуто сучасний стан, основні напрями і світові тенденції розвитку тропосферного та радіорелейного зв'язку. Корпорацією Raytheon створена мобільна комбінована цифрова тропосферно-космічна станція (BLOS + SATCOM) на єдиній мобільній платформі DART-T. У станції DART-T створено єдину систему управління тропосферною та супутниковою компонентами. Алгоритм управління у комбінованій станції DART-T не має чіткої лінійної структури, як і у систем управління окремих цифрових тропосферних станцій виробництва Comtech Systems, General Dynamics, Advantech Wireless. При цьому системи управління цифрових тропосферних станцій, як правило, оснащені підтримкою декількох протоколів, можливістю програмної переконфігурації кінцевих пристроїв і переналаштування антенних систем. У роботі відмічено, що створення комбінованих станцій зв'язку можна розглядати як перспективний напрям розвитку засобів зв'язку в інтересах побудови транспортних мереж зв'язку в умовах надзвичайних ситуацій та військових дій.

Аналіз розвитку цифрових радіорелейних систем показав, що важливим їх елементом є наявність додаткових сервісів в системі управління, пов'язаних з інтерфейсами Ethernet, новими можливостями телеуправління-телесигналізації, програмним керуванням і програмованої переконфігурації мережі із здійсненням віддаленого контролю, діагностики і моніторингу, динамічним управлінням трафіком.

Проведений в дисертації аналіз розвитку тропосферних і радіорелейних систем показав перспективність створення комбінованих цифрових радіосистем НВЧ діапазону. Актуальною для України комбінованою станцією, на наш погляд, є мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція. З огляду на сучасний науково-технічний потенціал України, виробництво таких комбінованих станцій може бути освоєно вітчизняною промисловістю, при тому в декількох конструктивних варіантах.

У дисертації показано, що управління МЦТрРРС здійснюється з єдиного для тропосферного та радіорелейного режимів роботи об'єкта управління - виносного та/або стаціонарного пульта управління. Функціональна схема МЦТрРРС (рис.1) містить: РРК – радіорелейна компонента; ТК – тропосферна компонента; А1, А2 РРК – антена 1, 2 РРК; АФТ 1, 2 РРК – антенно-фідерний тракт 1, 2 РРК; Прм 1, 2 РРК – приймальний тракт 1, 2 РРК; Прм 1, 2, 3, 4 ТК – приймальний тракт 1, 2, 3, 4 ТК; АХТ 1, 2 ТК – антенно-хвильовий тракт 1, 2 ТК; Прд 1, Прд 2 – передавальний тракт 1, 2.

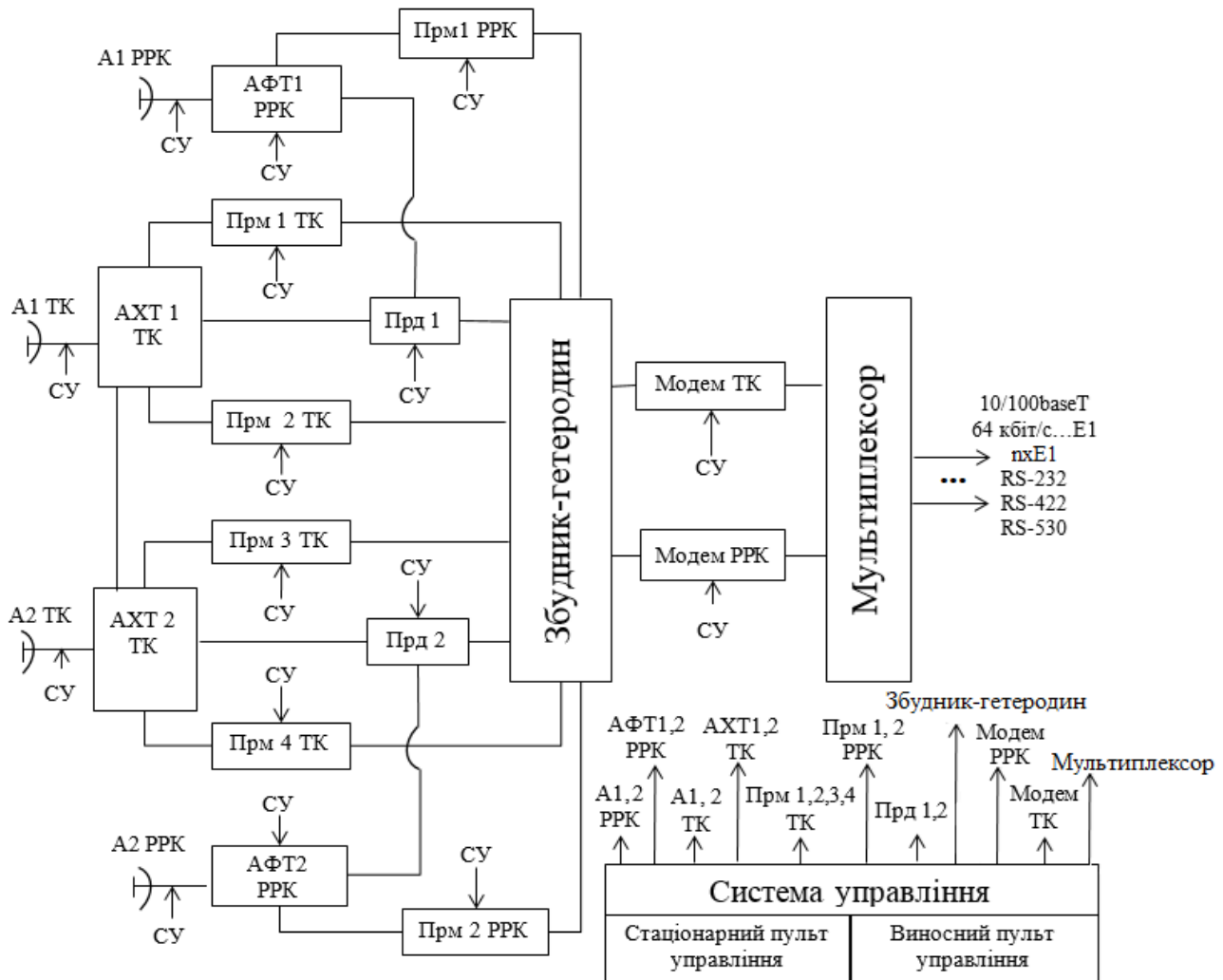


Рис. 1. Функціональна схема МЦТрРРС

У МЦТрРРС застосовується просторово-рознесений прийом, причому кожна антена тропосферної компоненти приймає як сигнал з горизонтальною поляризацією, так і сигнал з вертикальною поляризацією, а випромінює тільки сигнал з горизонтальною поляризацією або з вертикальною поляризацією. Антена радіорелейної компоненти випромінює або сигнал з горизонтальною поляризацією, або сигнал з вертикальною поляризацією. На наш погляд, розроблена МЦТрРРС не має аналогів серед мобільних цифрових телекомунікаційних систем НВЧ діапазону через суміщення на єдиній мобільній платформі тропосферної та радіорелейної компонент з єдиною системою управління та при необхідності загальним частотоформуванням та передавальним трактом. Відмітною ознакою даного технічного рішення є передача інформації на будь-яку відстань в інтервалі від одиниць до сотень кілометрів. У дисертації показана схема організації транспортної мережі, побудована на МЦТрРРС.

У дисертаційній роботі проведено оцінку внутрішньооб'єктової ЕМС, так як платформа МЦТрРРС є складною телекомунікаційною системою, що розміщена на єдиній транспортній платформі. Оцінка внутрішньооб'єктової ЕМС проведена комплексним підходом, враховуючи наступне. По-перше,

тропосферна компонента здатна (в залежності від вимог до передавача) випромінювати один кВт потужності і більше. По-друге, антени тропосферної компоненти використовують одночасно обидві лінійні поляризації. По-третє, радіорелейна компонента складається з двох напівкомплектів, кожен з яких може працювати в своєму напрямі на кореспондента, що означає, що на платформі в цьому випадку буде перебувати більше двох радіовипромінювальних засобів НВЧ діапазону. При аналізі забезпечення ЕМС радіовипромінювальних засобів, розташованих на одному об'єкті, зроблено такі оціночні розрахунки: частотний аналіз; розрахунок допустимої потужності ненавмисної завади на вході приймача; розрахунок частот і рівнів інтермодуляційних випромінювань передавача; розрахунок частот і рівнів побічних і комбінаційних каналів прийому; розрахунок розв'язок між близько розташованими антенами. У дисертаційній роботі приведені характеристики розв'язки між неосесиметричною однозеркальною антени тропосферної компоненти та осесиметричною однозеркальною антени радіорелейної компоненти. З оцінки внутрішньооб'єктової ЕМС радіовипромінювальних засобів МЦТрРРС випливає, що розробка системи управління станцією вимагає нестандартного підходу.

У другому розділі – «Аналіз ортогональних кусково-неперервних функцій для системи управління МЦТрРРС» виконано аналіз ортогональних кусково-неперервних функцій та обґрунтовано вибір відповідних функцій для системи управління МЦТрРРС. Крім цього, проаналізовані системи упорядкування ансамблів ортогональних кусково-неперервних функцій з вибором методу їх дослідження.

Основним критерієм вибору ортогональної кусково-неперервної функції при дослідженні є стійкість системи управління, під якою розуміється властивість системи зберігати працездатність в умовах впливу різних дестабілізуючих факторів. Проаналізовано, що стійкість системи управління визначається завадостійкістю, надійністю і живучістю.

З огляду на вимоги до стійкості системи управління в дисертаційній роботі визначено різновид функцій Уолша і систему розкладання, які використовуються для опису ансамблю сигналів системи управління.

Наведено математичний вираз сигналу управління у виді:

$$y(x) = \sum_{i,j=0}^{2^n-1} \rho_{ij} pal_i(x_i) pal_j(x_j), \quad (1)$$

де ρ_{ij} – вагова функція, pal – функція Уолша-Пелі. Показано, що ряд (1) – швидкозбіжний. Швидка збіжність ряду (1) з функцією Уолша-Пелі надає можливість не враховувати коефіцієнти високих ступенів і рангів вище десятого порядку.

При використанні рядів за функціями Уолша-Пелі виникають інтегральні функціонали видів:

$$\int_{l_1}^{l_2} \left[\sum_{j=1}^J \alpha_j pal(l, x_j) \right] dl, \quad \int_{l_1}^{l_2} \left[\sum_{j=1}^J \tilde{\alpha}_j pal(l, x_j) pal^*(l, x_j) \right] dl. \quad (2)$$

В дисертації доведено рівномірну збіжність рядів в підінтегральних виразах (2), так як виконується нерівність:

$$\left| \int_0^1 y(x) \text{pal}(r, x) dx \right| \leq 2^{q(r)} |y^{(r)}(x_r)|, 0 < x_r < 1, \quad (3)$$

де r — ранг функції. При записі виразу (3) у виді:

$$\left| \int_0^1 y(x) \text{pal}(r, x) dx \right| \leq \frac{|y^{(r)}(x_r)|}{2^r (r+1)!}, \quad 0 < x_r < 1, \quad (4)$$

видно, що коефіцієнти високих степенів та рангів виявляються нехтовно малими.

Використання системи Уолша-Пелі відповідно до виразу (4) та рядів функцій Уолша-Пелі, що швидко сходяться, породжує необхідність у виділенні процедури представлення ансамблю функцій або в двійковому численні або з використанням коду Грея.

В дисертаційній роботі наведено приклад з використанням кодування номера керуючого сигналу. Розглянуто випадок, коли за алгоритмом необхідно перемкнутися з сигналу з номером «3» на наступний сигнал, який має номер «4». При використанні коду Грея та двійкового позиційного коду в даному випадку можна спостерігати ряд відмінностей. У разі використання двійкового позиційного коду зміна значень відбувається одночасно у всіх трьох розрядах, що може привести як до виникнення затримок на лінії управління, так і власне помилок у самому передавальному коді. У разі коду Грея змінюється всього лише один розряд, що мінімізує як можливість виникнення помилки, так і час затримки при передачі самого сигналу.

У дисертації проаналізовані функції Уолша з точки зору їх представлення у вигляді деякої впорядкованої системи. Залежно від способу нумерації функцій розрізняють власне систему Уолша, систему Адамара і систему Пелі. Ці системи можуть бути представлені у вигляді матриць, що відрізняються розташуванням рядків. Здійснена декомпозиція матриць функцій Уолша, що описують ансамбль сигналів управління найбільш простим способом. Показано, що система Пелі є найбільш зручною для аналітичного опису системи функцій Уолша.

У дисертаційній роботі показано, якщо процедура декомпозиції матриць Уолша здійснюється з використанням декомпозиції матриць Адамара, то для цього проводиться перестановка вихідних даних з метою отримання необхідної системи розташування цих даних. Ця операція перестановки вимагає додаткових значних витрат машинного часу. Цього можна уникнути шляхом безпосередньої декомпозиції матриць Пелі.

У загальному вигляді матрицю $P^{[n]}$, яка описує ансамбль сигналів після застосування методу декомпозиції, можна представити як добуток матриць:

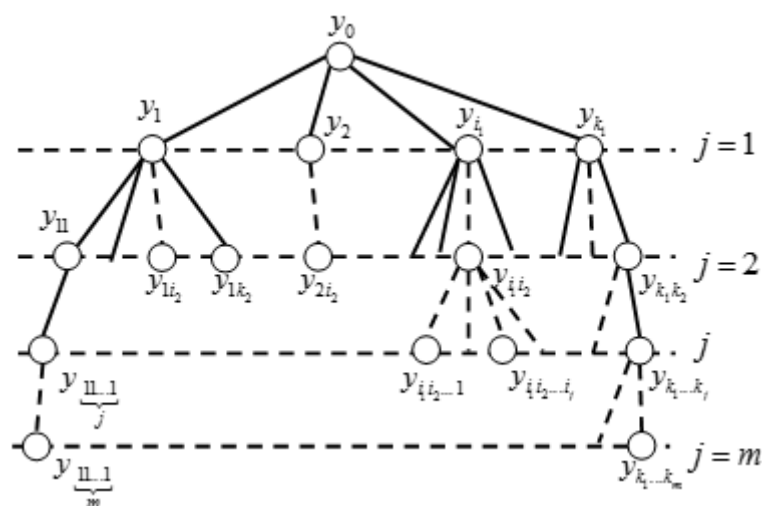


Рис. 2. Граф-дерево управління системою як розгалуженим процесом

З запропонованого математичного опису випливає, що при визначенні найбільш важливого об'єкту, який відповідає умові (7), є генератор функцій Уолша-Пелі, що формує сигнали відповідно до послідовності операцій функціонування. Тому вибір реалізації такого об'єкту є важливим етапом дослідження. Для вибору реалізації такого генератора в дисертації був проведений аналіз існуючих схем та запропоновано рішення, побудоване на базі генератора Уолша, який засновано на перетворенні функцій Уолша з функцій Радемахера та додаванням блоків, які формують впорядкування по Пелі.

Запропонована модель єдиної системи управління передбачає окрім функцій безпосереднього управління об'єктами МЦТрРРС наявність моніторингу станів цих об'єктів та стану траси. Моніторингу підлягають: компоненти МЦТрРРС, її пристрої та окремі блоки; система адаптації по потужності; система адаптації по частоті (моніторинг стану траси). Математичний опис процесу управління та моніторингу стану об'єктів та стану траси включає 6 етапів послідовності дій.

Результати моделювання єдиної системи управління дозволили перейти від математичного опису до її фізичної реалізації. У дисертаційній роботі визначено, що система управління може використовувати як командну, так і програмну інформацію для формування керуючих дій. Командна інформація – це та інформація, яка негайно виконується. Програмна інформація, яка іноді називається «числовими командами», містить числові значення будь-яких параметрів, які треба змінити в заданий час. Зазвичай така інформація спочатку запам'ятовується в оперативній пам'яті пульта управління. Розроблена послідовність операцій містить обидва типи інформації та відповідні їм сигнали управління. Розроблена послідовність операцій управління МЦТрРРС не має чітко лінійної структури, оскільки передбачає варіанти вибору різних компонентів станції, їх режимів роботи і паралельно з цим здійснює моніторинг якості зв'язку та індикацію різних параметрів станції.

Кожна з операцій Y_{i_1} , що представлена в послідовності операцій управління, містить кілька мікрооперацій $y_1, y_2, y_3 \dots y_{i_1}$, які відповідають за

компоненти та окремі пристрої обладнання станції. Умови X_i також мають кілька змінних x_1, x_2, \dots, x_j для реалізації кількох умов перевірки одночасно. Множинним умовам вибору X_i на пульті управління відповідають кнопки і ключі, використання яких виключає необхідність введення спеціальних команд у терміналі.

Початкові дії з обладнанням станції, що передбачені функціонуванням системи управління МЦТрРРС, представлені на рис. 3.

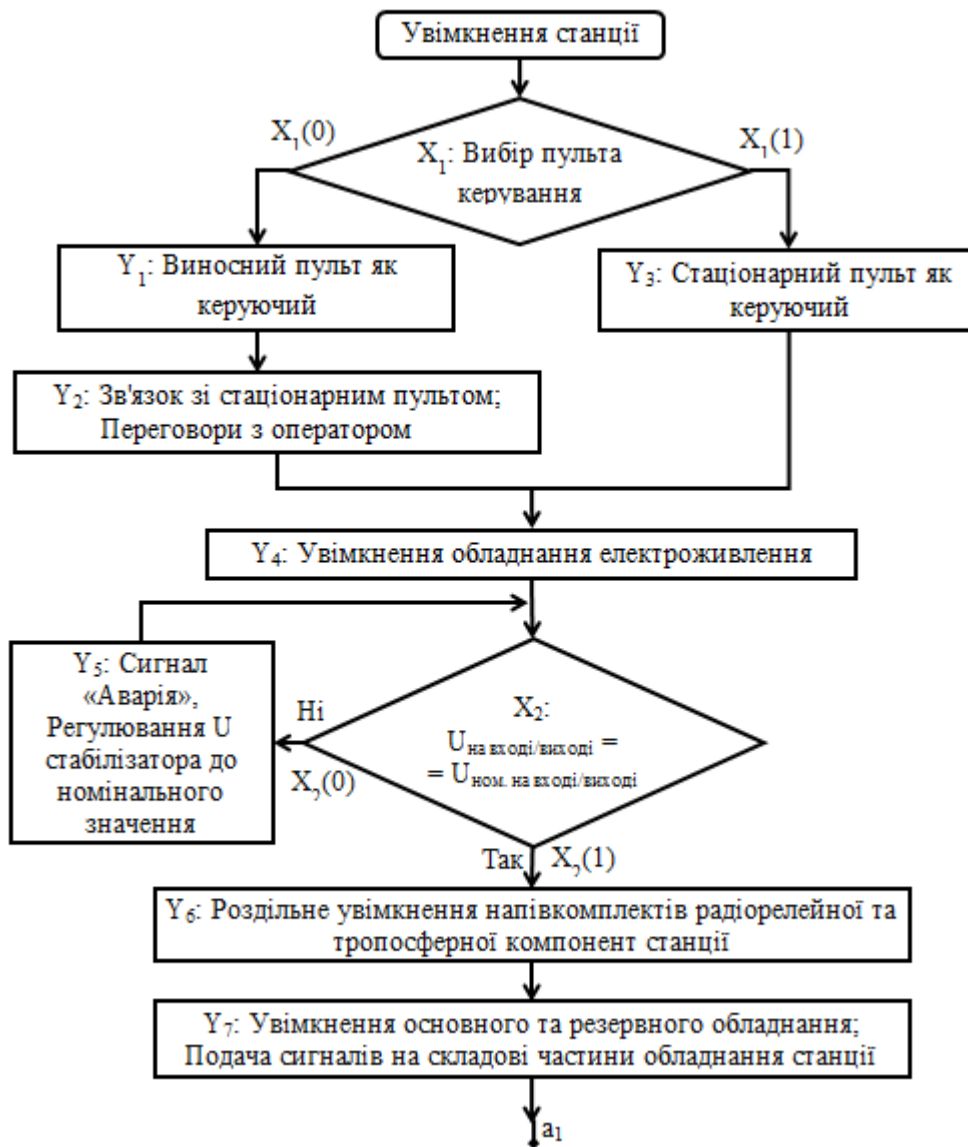


Рис. 3. Управління роботою станції (Початковий етап)

Послідовність операцій системи управління передбачає перевірку працездатності «по малому кільцю», при якій передавальний і приймальний тракти переключаються на еквіваленти антен. Фрагмент послідовності операцій, який демонструє перевірку роботи станції «по малому кільцю», представлено на рис. 4.

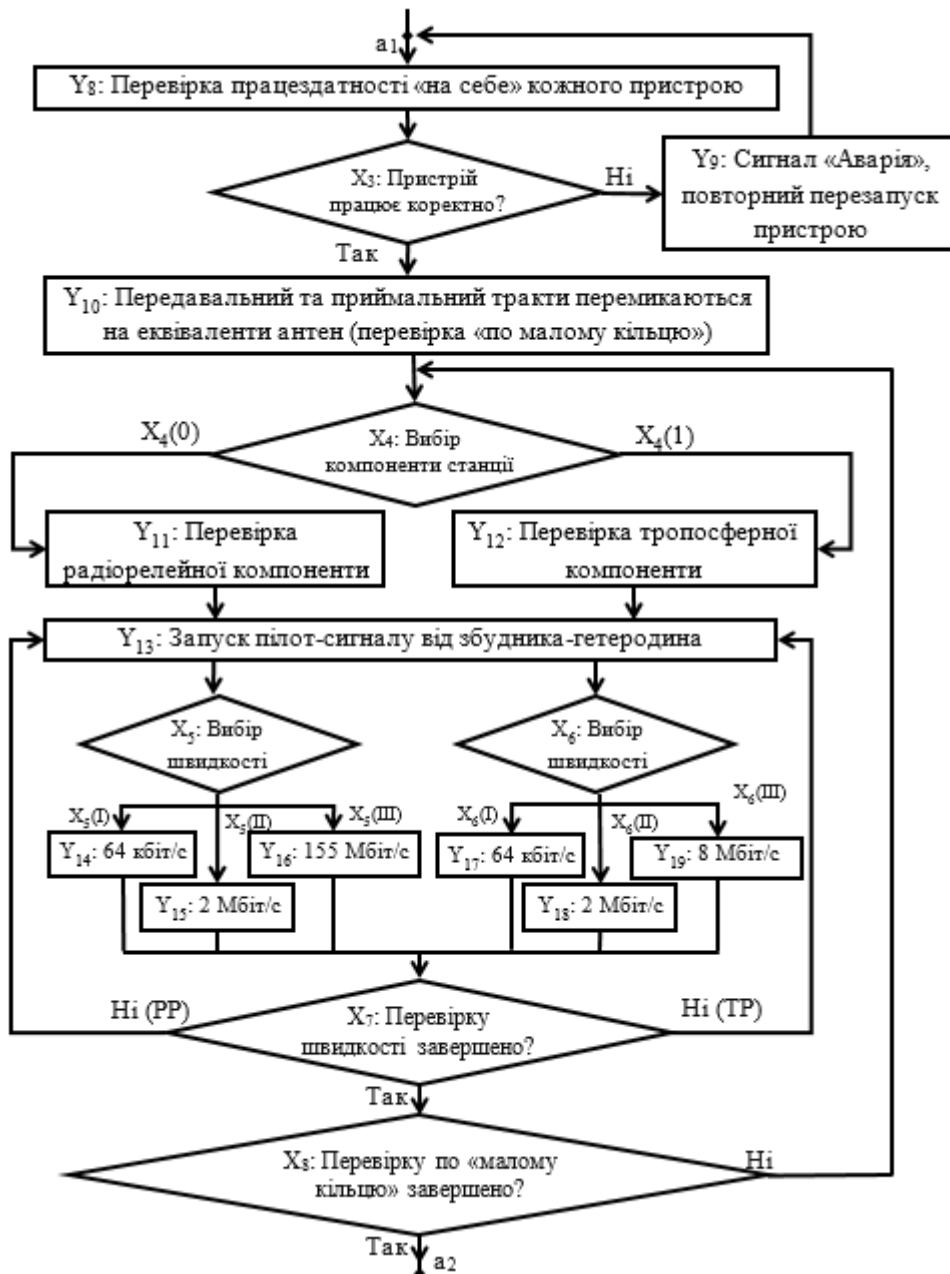


Рис. 4. Перевірки працездатності «по малому кільцю»

Для активної роботи станції в будь-якому з режимів необхідно провести юстування антен по азимуту і куту місця. Оскільки радіорелейна і тропосферна компоненти мають власні антенні системи, то їх юстування проводиться окремо, але з єдиного пульта управління.

Після завершення юстування рівень випромінювання в антенах виводиться на індикацію. Фрагмент послідовності операцій, який демонструє процес юстування антен по азимуту і куту місця, представлено на рис. 5.

Далі передбачається вибір одного з варіантів режимів функціонування станції. У дисертаційній роботі операції управління передбачають також автоматичне регулювання потужності та адаптацію по частоті, контроль основних параметрів станції, перехід на обрану частоту, зміни вихідної потужності передавачів і зміна швидкостей передачі.

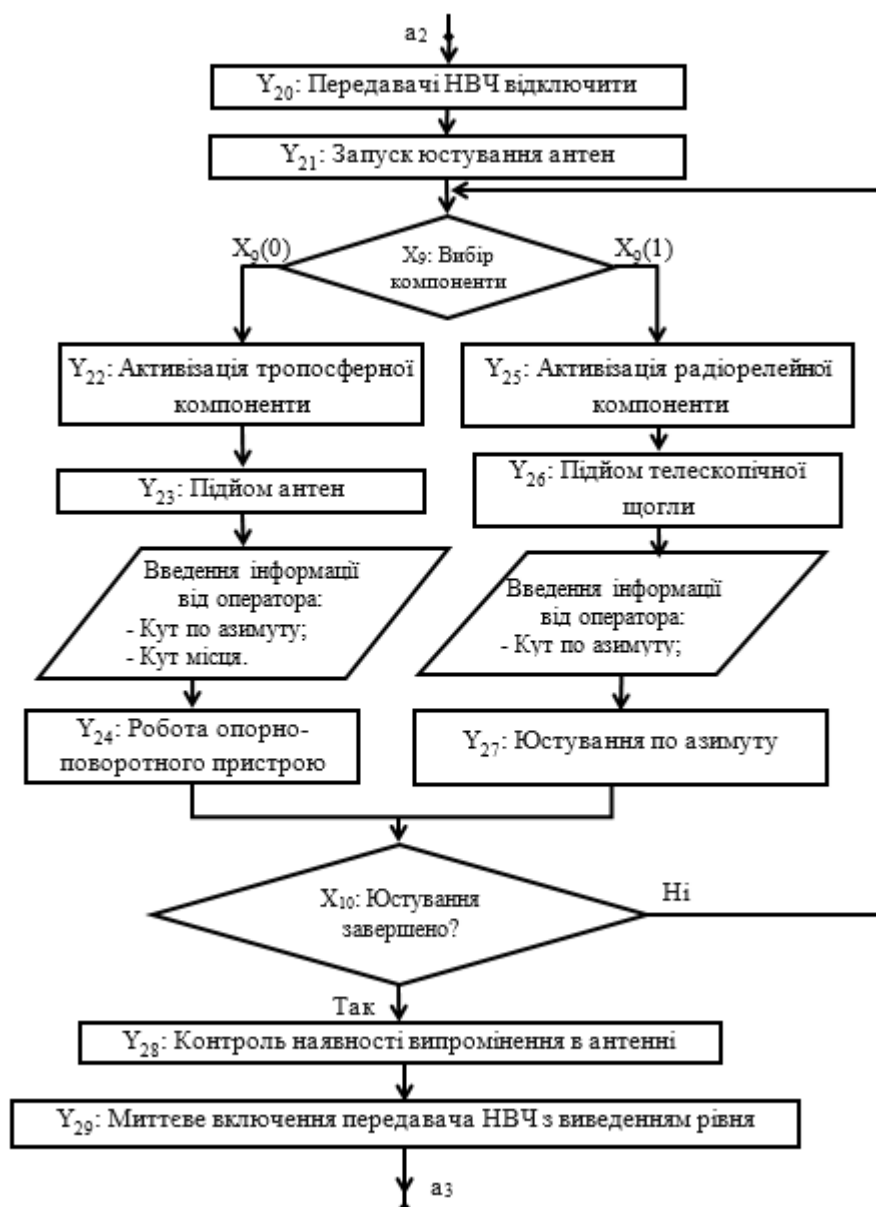


Рис. 5. Управління роботою станції
(Юстування антен для радіорелейної и тропосферної компонент)

Вибір налаштувань режимів роботи станції як для тропосферної, так і радіорелейної компонент, представлено на рис. 6.

У четвертому розділі – «Експериментальне дослідження системи управління МЦТрРРС» проведено експериментальне дослідження, яке підтвердило правильність запропонованих рішень та отриманих теоретичних результатів. Для цього був розроблений діючий апаратно-програмний комплекс експериментального зразка пульта управління з генератором функцій Уолша-Пелі.

На рис. 7 представлена функціональна схема системи управління станцією МЦТрРРС, яка відтворена в експериментальному дослідженні.

Створений апаратно-програмний комплекс експериментального зразка реалізує роботу генератора функцій Уолша-Пелі виносного та/або стаціонарного пульта, як основного елементу системи управління.

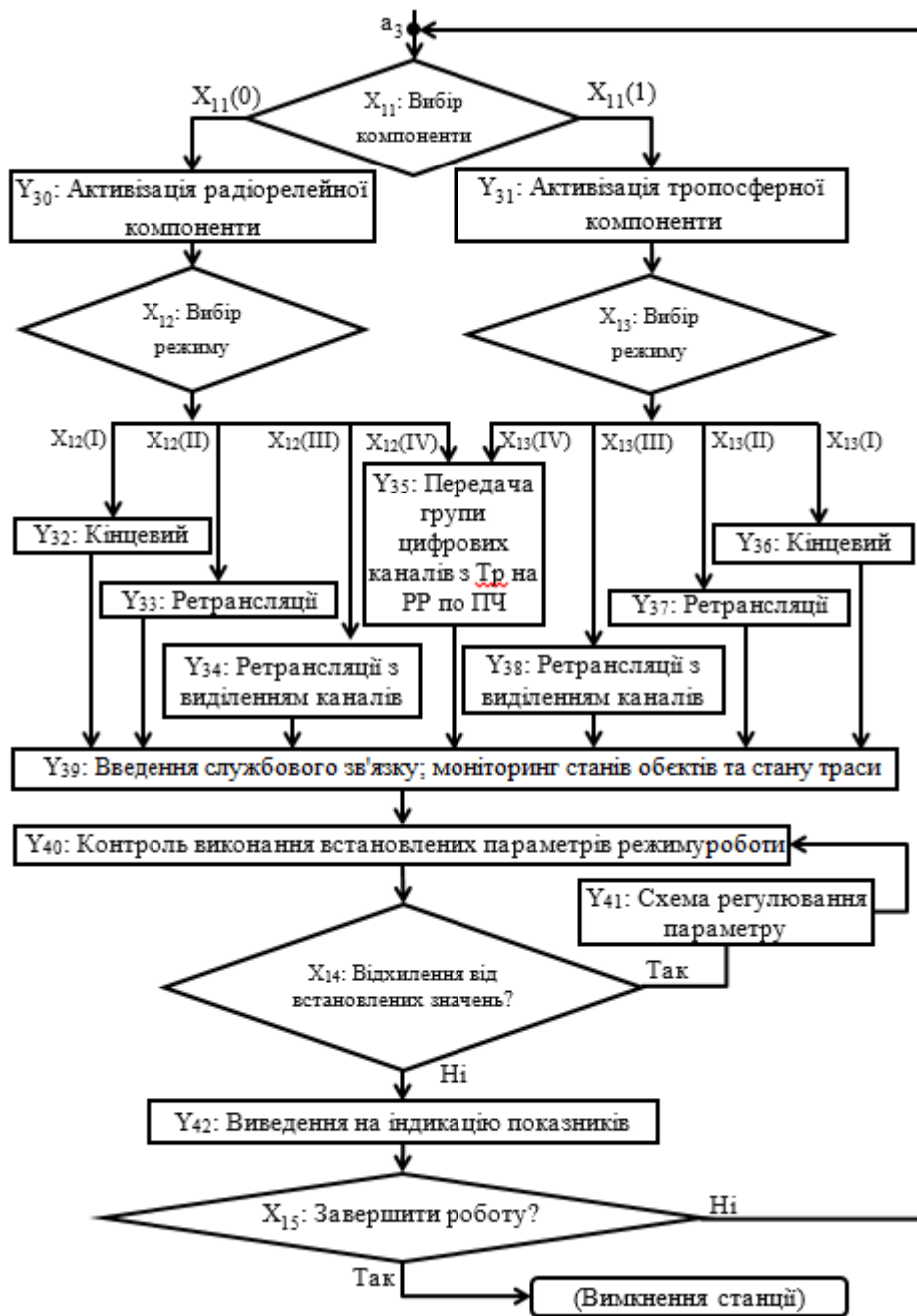


Рис. 6. Управління роботою станції (Вибір режимів роботи)



Рис. 7. Функціональна схема системи управління станцією МЦТрРРС

У програмі системи управління, розробленої в середовищі LabView, що є інтерфейсом для взаємодії оператора зі станцією, відповідно до послідовності операцій функціонування, видаються операції Y_i , які повинні далі формувати сигнали управління для обладнання обох компонент МЦТрРРС.

На рис. 8 представлена лицьова панель створеної програми системи управління МЦТрРРС.

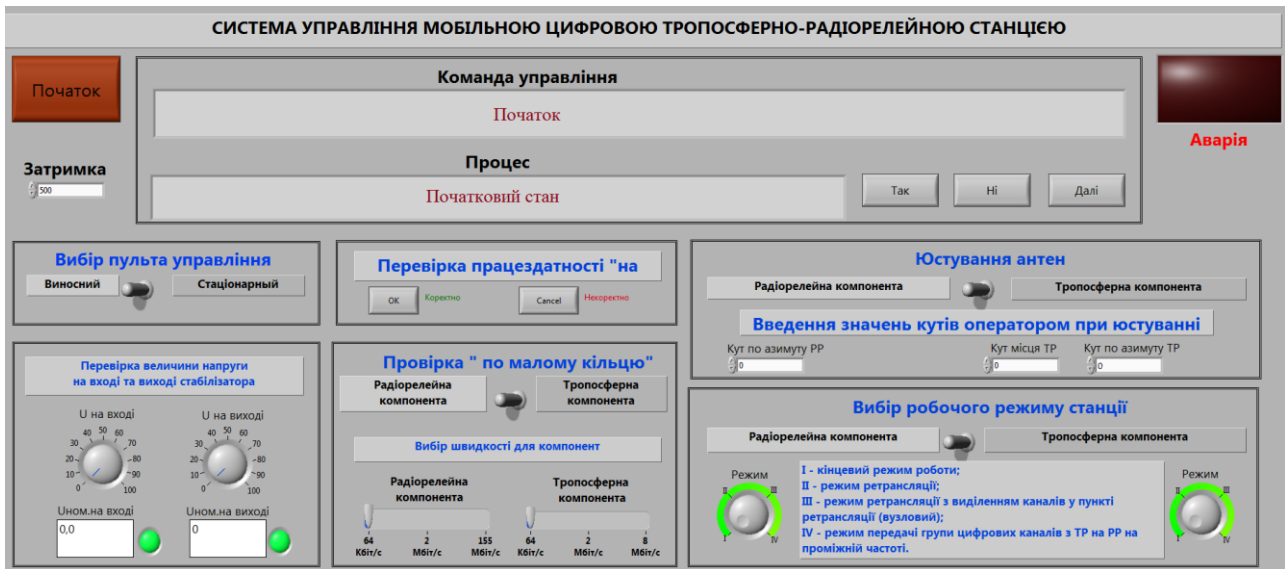


Рис. 8. Зовнішній вигляд інтерфейсу системи управління МЦТрРРС

Ключовим моментом взаємодії програми системи управління і генератора функцій Уолша-Пелі є те, що для кожної операції з послідовності управління, яка представлена в двійковому позиційному коді, відповідає «свій» номер функції з ансамблю системи Уолша-Пелі.

Структурна схема розробленого експериментального зразка пульта управління з генератором функцій Уолша-Пелі представлена на рис. 9.

Зовнішній вигляд експериментального зразка пульта управління з генератором функцій Уолша-Пелі показаний на рис. 10.

Експериментальний зразок складається з трьох основних модулів:

- панелі управління, що містить набір необхідних регуляторів, які дозволяють імітувати прийом сигналів від виносного/стаціонарного пульта управління відповідно до послідовності операцій функціонування станції;
- генератора функцій Уолша-Пелі у вигляді мікропроцесорного модуля;
- панелі індикації, що містить набір світлодіодних індикаторів, які дозволяють відобразити форми функції Уолша-Пелі різних порядків.

У ході експериментального дослідження була змодельована ситуація, коли на гармонічний сигнал і сигнал на основі функцій Уолша-Пелі впливали наступні завади: гармонійна, імпульсна з постійними параметрами, імпульсна випадкового характеру, хаотична імпульсна послідовність.

Гармонічна завада може виникати в результаті складної електромагнітної обстановки на самому об'єкті.



Рис. 9. Структурна схема діючого апаратно-програмного комплексу експериментального зразка пульта управління з генератором функцій Уолша-Пелі



Рис. 10. Зовнішній вигляд діючого експериментального зразка пульта управління з генератором функцій Уолша-Пелі

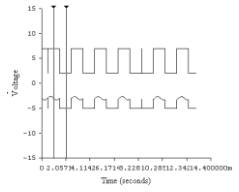
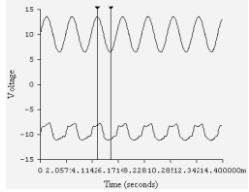
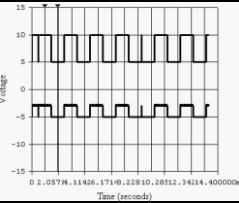
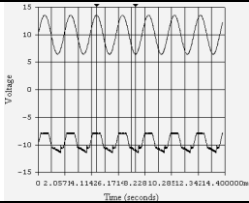
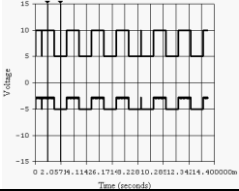
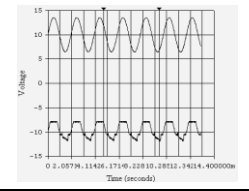
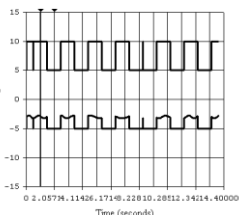

Імпульсна з постійними параметрами та імпульсна випадкового характеру можуть виникати як ненавмисні завади природного або техногенного характеру. Хаотична послідовність моделює навмисну заваду прицільного характеру. Відзначимо, що гармонічна і вищеназвані імпульсні завади також можуть мати навмисний характер. Формування типової електромагнітної обстановки при впливі різного типу завад здійснювалося відповідно до рекомендації МСЕ Р.372.

Для підтвердження теоретичних розрахунків проведено комп'ютерне моделювання в програмному середовищі Electronics Workbench. Отримані експериментальні дані підтверджують необхідність застосування ортогональних кусково-неперервних функцій як базових управління сигналів

для системи управління МЦТрРРС. Схема, що розроблена для проведення такого експерименту включає: генератор функцій Уолша-Пелі; генератор гармонічних сигналів; генератор сигналу завади; схема суміщення корисних сигналів і завад; вимірювальні прилади для аналізу отриманих результатів.

Результати експерименту з дослідження впливу різноманітних завад на гармонічні сигнали і сигнали на базі функцій Уолша-Пелі наведені в табл.1.

Таблиця 1 – Результати експерименту щодо впливу завад на корисний сигнал

Параметри сигналів завади / корисних	Форма сигналів Уолша-Пелі	Форма гармонічного сигналу
1. Завада гармонічна (ненавмисна, навмисна)		
$A_{\Pi}=0,25B$ $A_{sin}=2,5B$ $A_{sin/\Pi}=2,34B$ $A_{pal}=2,5B$ $A_{pal/\Pi}=2,35B$		
2. Імпульсна завада періодичного характеру з постійними параметрами (ненавмисна)		
$A_{\Pi}=0,25B$ $S_{\Pi}=3,23$ $A_{sin}=2,5B$ $A_{sin/\Pi}=2,24B$ $A_{pal}=2,5B$ $A_{pal/\Pi}=2,25B$		
3. Імпульсна завада зі змінними параметрами випадкового характеру (ненавмисна)		
$A_{\Pi}=0,25B$ $S_{\Pi}=1,28$ $A_{sin}=2,5B$ $A_{sin/\Pi}=2,24B$ $A_{pal}=2,5B$ $A_{pal/\Pi}=2,25B$		
4. Хаотична імпульсна послідовність завад з різними характеристиками (навмисна)		
$A_{\Pi}=0,25B$ $A_{sin}=2,5B$ $A_{sin/\Pi}=2,24B$ $A_{pal}=2,5B$ $A_{pal/\Pi}=2,25B$		

Із табл. 1 випливає, що запропоновані сигнали управління на базі функцій Уолша-Пелі більш стійкі до різноманітних зовнішніх впливів у порівнянні з гармонічними сигналами та мають кращий коефіцієнт спотворення (КС):

- гармонічна завада – КС \approx 0,813 для гармонічного сигналу, КС \approx 0,915 для сигналів Уолша-Пелі;
- імпульсна завада з постійними параметрами – КС \approx 0,655 для гармонічного сигналу, КС \approx 0,953 для сигналів Уолша-Пелі;
- імпульсна завада випадкового характеру – КС \approx 0,615 для гармонічного сигналу, КС \approx 0,965 для сигналів Уолша-Пелі;
- хаотична імпульсна послідовність – КС \approx 0,453 для гармонічного сигналу, КС \approx 0,877 для сигналів Уолша-Пелі.

Таким чином, результати порівняльного аналізу в ході експериментального дослідження показали, що запропоновані сигнали управління на базі функцій Уолша-Пелі більш стійкі до різноманітних зовнішніх впливів у порівнянні з гармонічними сигналами. Це свідчить про коректність вибору математичних методів теоретичного дослідження сигналів системи управління та правильність допущень, зроблених при математичному моделюванні.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішені науково-технічні завдання, спрямовані на підвищення стійкості системи управління нового типу мобільної цифрової телекомунікаційної системи НВЧ діапазону шляхом використання ортогональних кусково-безперервних функцій як сигналів управління.

1. Виконано наукове обґрунтування застосування мобільних комбінованих цифрових радіосистеми НВЧ діапазону та виявлено необхідність створення єдиної мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції, що функціонує в режимах загоризонтного поширення радіохвиль і прямої видимості. Здійснено аналіз сучасного стану та перспективи розвитку технологій цифрового тропосферного та радіорелейного зв'язку. На запропоноване науково-технічне рішення – мобільну цифрову тропосферно-радіорелейну станцію отримано патент України на винахід. Подібного варіанту (в англomовній термінології BLOS+LOS) серед зарубіжних мобільних цифрових засобів багатоканального радіозв'язку НВЧ діапазону на сьогоднішній день не існує.

2. Виконано оцінку внутрішньооб'єктової електромагнітної сумісності радіовипромінювальних засобів МЦТрРРС, необхідність якої викликана наявністю на одному телекомунікаційному об'єкті серед радіовипромінювальних засобів і передавального пристрою кіловатної потужності. Основні випромінюючі антени МЦТрРРС мають вузьку діаграму спрямованості, при цьому антена тропосферної компоненти працює з вертикальною та горизонтальною поляризаціями. При аналізі забезпечення ЕМС засобів, розташованих на одному об'єкті, проведений частотний аналіз рівнів випромінювань різних видів.

3. Здійснено аналіз систем ортогональних кусково-неперервних функцій. Обрана та система, функції якої представлені швидкозбіжними рядами. Показано, що такими функціями є функції Уолша-Пелі. Проведено дослідження щодо рівномірної збіжності рядів по функціям Уолша-Пелі. Запропоновано і обґрунтовано використання коду Грея для представлення функцій системи Уолша. Опис ансамблю сигналів здійснено за допомогою матриць Уолша-Пелі. Вибір системи представлення функцій управління здійснено методом декомпозиції з незалежним моделюванням структурних об'єктів дозволив сформулювати єдину математичну модель системи управління та спростив опис ансамблю керуючих сигналів.

4. Створено математичну модель єдиної системи управління МЦТрРРС, що містить математичний опис: управління системою як розгалуженим процесом; системи управління з різними за мірами важливості об'єктами; процесу моніторингу стану об'єктів та стану траси.

5. Представлено математичний опис управління системою як розгалуженим процесом з визначенням функцій, якої покладено на пульти управління МЦТрРРС.

6. Наведено математичний опис моделі системи управління, що містить різні за мірами важливості об'єкти, серед яких виділяється генератор функцій Уолша-Пелі. Проаналізовано функціональні схеми генераторів ортогональних кусково-неперервних функцій і запропоновано варіант побудови генератора функцій Уолша-Пелі, заснованого на роботі мікроконтролера з використанням даних, збережених на пристрої.

7. Представлено математичний опис процесу моніторингу стану об'єктів та стану траси, на якому базується послідовність операцій функціонування системи управління. Запропоновано послідовність операцій функціонування системи управління МЦТрРРС, яку доведено до інженерного рівня і може бути використана для мобільних цифрових тропосферних і радіорелейних станцій інших класів (мобільні станції класів BLOS і LOS).

8. Розроблено програму в середовищі LabView для віртуального пульта згідно моделі єдиної системи управління. Створений інтерфейс програми містить всі необхідні елементи для роботи МЦТрРРС відповідно до послідовності операцій функціонування системи управління з підтримкою всіх робочих режимів станції.

9. Створено діючий апаратно-програмний комплекс експериментального зразка пульта управління з генератором функцій Уолша-Пелі, який демонструє формування керуючих сигналів на основі функцій Уолша-Пелі для системи управління МЦТрРРС.

10. Проведене експериментальне дослідження з використанням спеціалізованих програмних засобів і експериментального зразка пульта управління з генератором функцій Уолша-Пелі показало стійкість сигналів на основі функцій Уолша-Пелі до зовнішнього впливу як гармонійної завади, так і імпульсної завади з постійними параметрами, імпульсної завади випадкового характеру, а також хаотичної імпульсної послідовності, що фактично включає і дію навмисних завад.

11. Розроблено набір науково обґрунтованих рекомендацій по використанню єдиної системи управління на базі ортогональних кусково-неперервних функцій та її складових для мобільних цифрових радіосистем НВЧ діапазону інших класів. Показана можливість досить гнучкої зміни обсягу керуючих сигналів, які формуються генератором функцій Уолша-Пелі як найбільш важливим елементом моделі єдиної системи управління.

Згідно розробленої моделі єдиної системи управління МЦТрРРС на основі наукового аналізу та опрацювання можливих варіантів реалізації

створено набір рекомендацій інженерного рівня щодо її практичного застосування для мобільних радіосистем НВЧ діапазону інших класів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Почерняєв В.М. Мобільна цифрова станція НВЧ діапазону подвійного призначення / В.М. Почерняєв, В.С. Повхліб // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С.Попова – 2014. – №2 – С.76-82.

2. Почерняєв В.М. Управління мобільною цифровою тропосферно-радіорелейною станцією / В.М. Почерняєв, В.С. Повхліб // Науково-виробничий збірник “Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв’язку” – 2014. – №6(34) – С. 27-32.

3. Почерняєв В.М. Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція: Оцінка ЕМС та стійкість системи управління / В.М. Почерняєв, В.С. Повхліб // Цифрові технології. – 2016. – №19. – С. 110-116.

4. Почерняєв В.М. Функції Уолша-Пелі для системи управління мобільною цифровою тропосферно-радіорелейною станцією / В.М. Почерняєв, В.С. Повхліб // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова – 2016. – №2 – С. 107-113.

5. Повхліб В.С. Алгоритм функціонування системи управління мобільною цифровою тропосферно-радіорелейною станцією / В.С. Повхліб // Науковий журнал «Телекомунікаційні та інформаційні технології» – Київ: Державний університет телекомунікацій – 2016. – №4(53)– С. 83-91.

6. Повхліб В.С. Моделювання системи управління мобільної цифрової тропосферного-радіорелейної станції / В.С. Повхліб // Науковий журнал «Телекомунікаційні та інформаційні технології» – Київ: Державний університет телекомунікацій – 2017. – №1(54) – С. 94-103.

7. Почерняєв В.М. Експериментальне дослідження стійкості системи управління мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції при дії різних сигналів завад / В.М. Почерняєв, В.С. Повхліб, В.В. Зайченко // Системи управління, навігації та зв’язку – 2017. – №5. – С. 146-153.

8. Pochernyaev V. Managing of microwave antennas of digital combined radiorelay-troposcatter station / V. Pochernyaev, V. Povhlib // Proceedings of the IX International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT), 16-20 September 2013 – Odessa, P. 544-545.

9. Почерняєв В.М. Мобільна цифрова станція зв’язку для наземних сил антитерористичного угруповання / В.М. Почерняєв, В.С. Повхліб // Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: Тези доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції (17-19 вересня 2014, Запоріжжя) – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. – С. 19-21.

10. Почерняєв В.М. Управління мобільною цифровою радіостанцією НВЧ, призначеною для роботи в особливих умовах та надзвичайних ситуаціях / В.М. Почерняєв, В.С. Повхліб // Інфокомунікації – сучасність та майбутнє:

тезиси доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції (30-31 жовтня 2014 року, м. Одеса) – Одеса, 2014. – С.74-77.

11. Почерняєв В.М. Оцінка електромагнітної сумісності радіовипромінювальних засобів мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції / В.М. Почерняєв, В.С. Повхліб // Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: Тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції (21-23 вересня 2016, Запоріжжя). – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – С. 16-22.

12. Pochernyaev V.N. Analysis of the frequency parameters of the new combined microwave radio system / V.N. Pochernyaev, V.S. Povhleb // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) (May 29 – June 2, 2017) – Kyiv, 2017.

13. Патент 112217 Україна, С2. Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція / Почерняєв В.М., Повхліб В.С. Заявник і патентовласник Почерняєв В.М., Повхліб В.С.; заявл. 12.09.2014; опубл. 10.08.2016 // Бюл. № 15.

АНОТАЦІЯ

Повхліб В.С. Система управління мобільною цифровою тропосферно-радіорелейною станцією. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2017.

У дисертаційній роботі досліджена актуальна тема, яка передбачає підвищення стійкості системи управління цифрової телекомунікаційної системи НВЧ діапазону нового типу шляхом використання ортогональних кусково-неперервних функцій як сигналів управління. Виконано аналітичний огляд сучасних технологій розвитку цифрового тропосферного і радіорелейного зв'язку, запропоновано науково-технічне рішення щодо створення мобільної комбінованої телекомунікаційної системи НВЧ діапазону – МЦТрРРС та наукове обґрунтування її застосування, а також виконана оцінка внутрішньооб'єктової ЕМС радіовипромінювальних засобів МЦТрРРС, що розташовані на єдиній транспортній платформі.

Проведено аналіз ортогональних кусково-неперервних функцій та обґрунтовано вибір відповідних функцій для системи управління МЦТрРРС. Досліджено збіжність рядів Уолша-Пелі. Застосовано метод декомпозиції до ансамблю управління сигналів, що базуються на функціях Уолша-Пелі.

У дисертаційній роботі розроблено модель єдиної системи управління, що містить математичний опис процесу управління як розгалуженою системою з різними за мірами важливості об'єктами з урахуванням процедури моніторингу телекомунікаційної системи. Розроблено послідовність операцій функціонування системи управління МЦТрРРС. Створено програму в середовищі LabView для віртуального пульта як елемента системи управління, інтерфейс якого містить всі необхідні елементи для роботи МЦТрРРС за

розробленою послідовністю операцій функціонування системи управління з підтримкою всіх робочих режимів станції. Проведено експериментальне дослідження, яке підтвердило правильність запропонованих рішень та отриманих теоретичних результатів. За результатами виконаного дослідження зроблено висновки та рекомендації з використання єдиної моделі системи управління МЦТрРРС.

Ключові слова: мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція, система управління, ортогональні кусково-неперервні функції, функції Уолша-Пелі, сигнали управління.

АННОТАЦІЯ

Повхлеб В.С. Система управления мобильной цифровой тропосферно-радиорелейной станцией. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова Министерства образования и науки Украины, Одесса, 2017.

В диссертационной работе исследована актуальная тема, которая предусматривает повышение устойчивости системы управления мобильной цифровой телекоммуникационной системой СВЧ диапазона нового типа путем использования ортогональных кусочно-непрерывных функций в качестве сигналов управления. Выполнен аналитический обзор современных технологий развития цифровой тропосферной и радиорелейной связи, предложено научно-техническое решение по созданию мобильной комбинированной телекоммуникационной системы СВЧ диапазона – мобильной цифровой тропосферно-радиорелейной станции (МЦТрРРС) и научное обоснование ее применения, а также выполнена оценка внутриобъектовой ЭМС радиоизлучающих средств МЦТрРРС, что расположены на единой транспортной платформе.

Проведен анализ ортогональных кусочно-непрерывных функций и обоснован выбор соответствующих функций для системы управления МЦТрРРС. Исследована сходимость рядов Уолша-Пели. Применен метод декомпозиции к ансамблю управляющих сигналов, основанных на функциях Уолша-Пели.

В диссертационной работе разработана модель единой системы управления МЦТрРРС, которая содержит математическое описание процесса управления как разветвленной системой с различными по мерам важности объектами с учетом процедуры мониторинга телекоммуникационной системы. Разработана последовательность операций функционирования системы управления МЦТрРРС. Создана программа в среде LabView для виртуального пульта как элемента системы управления, интерфейс которого содержит все необходимые элементы для работы МЦТрРРС по разработанной последовательности операций функционирования системы управления с поддержкой всех рабочих режимов станции. Проведено экспериментальное исследование, которое подтверждает правильность предложенных решений и

полученных теоретических результатов. По результатам выполненного исследования сделаны выводы и рекомендации по использованию единой модели системы управления МЦТрРРС.

Ключевые слова: мобильная цифровая тропосферно-радиорелейная станция, система управления, ортогональные кусочно-непрерывные функции, функции Уолша-Пели, сигналы управления.

SUMMARY

Povhlib V.S. The control system of mobile digital troposcatter-radio relay station. – Manuscript copyright.

Thesis for obtaining the candidate of technical science degree on specialty 05.12.02 – telecommunication systems and networks. – Odessa National A.S. Popov Academy of Telecommunications, MES Ukraine, Odessa, 2017.

In the dissertation an actual theme, which provides for increasing the sustainability of the management system of a new type of mobile digital telecommunication microwave system by using orthogonal piecewise continuous functions as control signals has been study. An analytical review of modern technologies for the development of digital troposcatter and radiorelay communication is make. A scientific and technical decision on the creation of a new type of mobile combined telecommunication system of microwave band – the mobile digital troposcatter-radiorelay station (MDTRRS) and scientific substantiation of its application are make. In addition, an evaluation of the internal object EMC of radiofrequency means of the MDTRRS, which located on the transport platform been done.

The analysis of orthogonal piecewise-continuous functions is carry out and the choice of the corresponding functions for the control system of the MDTRRS is justified. The convergence of Walsh-Paley series is investigate. The method of decomposition to the ensemble of control signals based on Walsh-Paley functions is applied.

In the thesis the model of the unified control system for the MDTRRS, which contains a mathematical description of the control process as an extended system with different objects according to the degree of importance of the telecommunication system monitoring procedure was proposed. A program is created in LabView for a virtual console as an element of the control system, the interface of which contains all the necessary components and elements for the operate of the MDTRRS according to the developed control system operation algorithm supporting all operating modes of the station. Experimental studies have been carry out, which confirmed the correctness of the proposed solutions and the obtained theoretical results. According to the results of the conducted research, conclusions and recommendations for using a single model of the control system of the MDTRRS are make.

Keywords: Mobile digital troposcatter-radiorelay station, control system, orthogonal piecewise continuous functions, Walsh-Paley functions, control signals.

Підписано до друку 12.11.2017 р.
Формат 60/88/16. Обсяг 0,9 др. арк.
Тираж 86 прим. Зам. № 6146.

Віддруковано у редакційно-видавничому відділі ОНАЗ ім. О.С. Попова
м. Одеса, вул. Ковалевського, 5

тел. 70-50-494
© **ОНАЗ, 2017**

