



Представлено  
**Національною академією СБ України**

1. **ЧЕРНЯК Андрій Миколайович** – д.ю.н., доцент, ректор Національної академії СБ України

2. **ГЛАДКИХ Валерій Миколайович** – к.т.н., завідувач кафедри безпеки інформаційно-комунікаційних систем Національної академії СБ України

3. **ПОЧЕРНЯЄВ Віталій Миколайович** – д.т.н., професор, професор кафедри безпеки інформаційно-комунікаційних систем центру кібербезпеки Навчально-наукового інституту інформаційної безпеки та стратегічних комунікацій Національної академії СБ України

4. **СИВКОВА Наталія Максимівна** – доктор філософії, доцент кафедри безпеки інформаційно-комунікаційних систем центру кібербезпеки Навчально-наукового інституту інформаційної безпеки та стратегічних комунікацій Національної академії СБ України

5. **ЛУТЧАК Олексій Віталійович** – провідний інженер-електронік спеціалізованого конструкторського бюро з розробки НВЧ приладів та типових елементів заміни ДП «Укроборонсервіс»

6. **РУДАКОВ Володимир Іванович** – д.т.н., професор, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку засобів зв'язку та технічного захисту інформації Управління розвитку озброєння та військової техніки спеціальних військ Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України

7. **САЙКО Володимир Григорович** – д.т.н., професор, професор кафедри телекомунікаційних систем та мереж Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

8. **ТИМЧЕНКО Павло Борисович** – головний інженер підприємства ТОВ "ВАТ Олімп"

## ВСТУП

Одним із обов'язків СБ України є сприяння забезпеченню режиму воєнного та надзвичайного стану в разі їх оголошення, а також ліквідації наслідків стихійного лиха, значних аварій, катастроф та інших надзвичайних ситуацій згідно ст.24 Закону України «Про Службу безпеки України». Це може бути забезпечено використанням мобільних цифрових комбінованих телекомунікаційних систем, таких як: тропосферно-радіорелейні, тропосферно-космічні та тропосферно-іоносферні. Такі системи є системами подвійного призначення. Вони дозволяють забезпечувати стійкий та надійний зв'язок через території, які тимчасово окуповані, а також використовуватися в бойових умовах військових дій та в умовах надзвичайних ситуацій.

Відомі також ситуації, коли військові формування і спецпідрозділи не контролюють повністю всю зону проведення бойових дій. Оскільки польові вузли зв'язку пунктів управління знаходяться на певному віддаленні від стаціонарних вузлів зв'язку пунктів управління або інших польових вузлів зв'язку пунктів управління, то виникає задача встановлення зв'язку через райони, які не контролюються нашими військовими формуваннями.

За відсутності національної системи супутникового зв'язку та військової системи космічного зв'язку Україна може «перевідкрити» еру тропосферного зв'язку, ґрунтуючись на науково-технічному, технологічному та виробничому потенціалі, що зберігся в нашій державі.

За сукупністю тактико-технічних характеристик (мобільність, пропускна спроможність, дальність зв'язку, завадозахищеність, можливість встановлення зв'язку через «голову супротивника») тропосферний зв'язок має незаперечні переваги перед іншими типами зв'язку, а за відсутності супутникового зв'язку розумної альтернативи тропосферному зв'язку в Україні не існує.

Особливістю таких систем є єдина система управління, контролю та діагностики і частотоформування для обох компонент. Наприклад, мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна система дозволяє, в умовах бойових дій, збройних конфліктів або



надзвичайних ситуацій, з'єднати зв'язком двох кореспондентів, що знаходяться у різних умовах (природних, техногенних) на будь-якій відстані від сотень метрів до 450 км (один інтервал - дві станції), умовно 0,1-450 км.

У ході бойових дій мобільна цифрова тропосферно-іоносферна система, яка використовує ефект штучної іонізованої неоднорідності може виконувати такі завдання: організація передачі циркулярних повідомлень на великі території, у тому числі за територією, яка не підконтрольна нашим військовим формуванням; встановлення радіозв'язку з  $N$  кореспондентами без залучення ресурсів супутникового зв'язку; створення завад на великих територіях радіовипромінюючим засобам різного призначення та організація системи радіоелектронного подавлення; збирання розвідданих від радіозасобів, що розташованих на великих території; передача даних диверсійно-розвідувальним групам, розподілених на значних за віддаленістю ділянках місцевості; трансляція TV-програм на території, які тимчасово не контролювані державою.

Все це дозволяє на базі мобільних комбінованих телекомунікаційних систем з використанням тропосферних засобів електронних комунікацій побудувати польову опорну мережу військової системи зв'язку. Така мережа радіозв'язку може охоплювати територію України без використання штучних супутників Землі.

**Метою роботи** є збільшення стійкості, надійності, пропускної здатності, завадозахищеності та багатодіапазонності мобільних засобів зв'язку спеціального призначення на основі створення мобільних комбінованих телекомунікаційних систем з використанням тропосферних засобів електронних комунікацій.

**Наукова новизна:** 1) вперше в світовій практиці створена теорія частково заповнених хвилеводів з діелектриком, що не торкається стінок, власні векторні функції яких знайдені в явному виді та запропонована теорія побудови пристроїв на частково заповнених діелектриком хвилеводах, зокрема з нелінійними елементами із застосуванням апарату спеціальних функцій математичної фізики: гіпергеометричні функції Гаусса, функції Мат'є, вироджені гіпергеометричні функції, функції Бесселя,  $G$ -функції Мейєра, функції Ейрі, функції Лежандра, еліптичні функції, ортогональні багаточлени; 2) вперше в Україні запропоновано спосіб побудови фільтруючих пристроїв із підвищеною частотною вибірковістю на основі використання метаматеріалів; 3) розвинуто методи боротьби з

міжсимвольною інтерференцією в багатопробієвих каналах із завмираннями через їх опис повними еліптичними інтегралами та тета-функціями; 4) удосконалено спосіб автоматичного регулювання потужності передавача НВЧ та розвинуто спосіб завадостійкого прийому багатопозиційних сигналів на основі методу регуляризації по Тихонову; 5) запропоновано підвищення розвідзахищеності створених в роботі систем на основі методу виявлення атак на мультимедійний трафік та його захист від несанкціонованої зміни змісту.

**Технологічна новизна** МЦКТС заключається в тому, що в Україні вперше запропоновано частково заповнені діелектриком прямокутні хвилеводи в якості хвилеводних трактів для передачі великих потужностей НВЧ, впроваджено спосіб просторово-рознесеної передачі, залучено високошвидкісний модем тропосферного зв'язку та використано метаструктури в НВЧ пристроях спеціального призначення. Технічні та технологічні рішення щодо проектування модулів терагерцового діапазону для ТЛЗ з використанням метоматеріалів. Моделювання цифрових телекомунікаційних мереж на базі використання SDN/NFV та нейронних моделей. Забезпечення інформаційної безпеки найкраще з наземних радіосистем, що здійснюється комбінованими системами електронних комунікацій із застосуванням тропосферної компоненти, а також мобільними цифровими тропосферними станціями. Створення універсальних систем керування, контролю, діагностики. Наукові роботи пов'язані з підвищенням перешкодостійкості тропосферних та радіорелейних систем. Застосування терагерцового діапазону на тропосферних та радіорелейних лініях зв'язку. Вплив випромінювання мобільної цифрової тропосферної станції на обслуговуючий персонал. Економічні показники державної підтримки підприємств радіоелектроніки у питаннях імпортозаміщення вітчизняних комбінованих систем електронних комунікацій із застосуванням тропосферної компоненти.

**Практична значимість** роботи полягає у впровадженні тропосферних засобів електронних комунікацій типу Р-412МУ в мобільних комбінованих системах (тропосферно-радіорелейних, тропосферно-космічних, тропосферно-іоносферних). Вперше в Україні створено Технічні умови, Робочу конструкторську документацію, Експлуатаційну документацію таких засобів техніки зв'язку.

## ОПИС

Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна система складається з радіорелейної та тропосферної компонент. Розроблено два варіанта мобільних цифрових тропосферно-радіорелейних станцій. Так і станції мають спільний тракт частотоформування. Це досягається за рахунок нових можливостей збудника-гетеродина, що працює в двох частотних діапазонах, та електронною комутацією за допомогою введених електронних ключів. Збудник-гетеродина включає єдиний опорний генератор, підсилювально-перетворювальний тракт, спільний синтезатор частот, підсилювально-фільтруючий тракт і поєднаний з приймачами-передавачами, входи яких з'єднані з виходами поляризаційних селекторів. Виходи приймачів-передавачів з'єднані з входами поляризаційних селекторів через вихідні смугові фільтри з перестроюванням частоти. Один із варіантів такої комбінованої станції має єдиний передавальний НВЧ-тракт, який функціонує в двох частотних режимах. В тропосферній компоненті станції застосовується просторово-рознесений прийом, причому кожна антена приймає як сигнал з горизонтальною поляризацією, так і сигнал з вертикальною поляризацією, а випромінює тільки сигнал з горизонтальною поляризацією або з вертикальною поляризацією. В радіорелейному режимі кожна антена випромінює або сигнал з горизонтальною поляризацією, або сигнал з вертикальною поляризацією, а приймає сигнал відповідно з протилежною лінійною поляризацією. Ще однією відмінною рисою є наявність єдиної системи управління, контролю та діагностики. Крім того в цій системі використовуються імітатори багатопромених каналів.

У тропосферній компоненті мобільної цифрової тропосферно-космічної системи також застосовується частотно-рознесений прийом, при якому антена



приймає сигнали з лінійною горизонтальною та вертикальною поляризацією. У космічній компоненті антена випромінює сигнал з лівою круговою поляризацією, а приймає сигнал з правою круговою поляризацією. Обмін інформацією між кореспондентами тропосферної та космічної компонент здійснюється одночасно кожен в своєму частотному діапазоні. Для передачі сигналів на вибраних частотах в тропосферній компоненті використовується фазова модуляція QPSK, а в космічній компоненті в залежності від режиму роботи та методу багатостанційного доступу – або частотна маніпуляція з неперервною фазою CPFSK, або QPSK, або фазова маніпуляція широкосмугових сигналів (spread spectrum PSK). В космічній компоненті використовуються наступні методи багатостанційного доступу: з ортогональним частотним розподілом каналів (OFDMA), з ортогональним часовим розподілом каналів (OTDMA), з ортогональним кодовим розподілом каналів (OCDMA). Режими роботи космічної компоненти станції: режим прямої ретрансляції, режим з обробкою сигналу в бортовому ретрансляторі (на борту), режим завадозахищеності. Ця станція також має в своєму складі єдину систему управління, контролю та діагностики.



Тропосферна компонента мобільної цифрової тропосферно-іоносферної системи забезпечує передачу інформації зі швидкістю до 50 Мбіт/с на лінії зв'язку з дальністю на інтервалі ~70...300 км в залежності від енергетичних параметрів з імовірністю помилкового прийому  $10^{-4}$ ... $10^{-6}$  і надійністю зв'язку не менше 95%. У тропосферній компоненті станції застосовується просторово-рознесений прийом і просторово-рознесена передача.



У іоносферній компоненті станції за рахунок потужного електромагнітного випромінювання забезпечується, як дуплексний режим передача/прийом, так і симплексний режим. При симплексному режимі роботи можлива передача сигналів телевізійного мовлення на територіях площею  $\sim 6 * 10^5 \text{ км}^2$ , тобто територіях, що дорівнюють площі території України. Це можливо через виникнення штучних іонізованих неоднорідностей під впливом електромагнітного поля потужної радіохвилі, що призводить до появи істотно нелінійного ефекту в іоносфері. Станція функціонує одночасно в принципово різних частотних діапазонах: тропосферна компонента - НВЧ; іоносферна компонента - ВЧ і ДВЧ.



Мобільний високошвидкісний тропосферний засіб електронних комунікацій має в своєму складі модем, що містить адаптивний еквайзер зі зворотним зв'язком по рішенню та кодер добутку, який складається з кодера Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема, матричного перемешувача, кодера LDPC. Модем містить також систему OFDM, формувач та демодулятор сигнально-кової конструкції на основі багаторівневої кодової модуляції і систему SIMO по схемі 1×2 або систему MIMO по схемі 2×2. Новим результатом є усунення міжсимвольної інтерференції та швидких завмирань в багатопроменевому каналі тропосферного зв'язку до інтервалів одиниць секунд.



Мобільна вузлова цифрова тропосферна система має можливість організації зв'язку за схемою «точка-багатоточка», що дозволяє двом та більше кореспондентам (цифровим тропосферним станціям) одночасно комутувати один з одним через вузлову станцію та виділяти в точці ретрансляції необхідну кількість цифрових

каналів. Це нове рішення для тропосферних станцій. Такий результат досягається за рахунок введення фазованої антенної решітки, відповідної діаграмоформуючої схеми та апаратури багатостанційного доступу, що функціонує за методами OFDMA (ортогональний частотний розподіл каналів), OTDMA (ортогональний часовий розподіл каналів) та OCDMA (ортогональний кодовий розподіл каналів). У станції застосовується просторово-рознесений прийом, причому фазована антенна решітка приймає сигнали як з горизонтальною поляризацією, так і сигнали з вертикальною поляризацією, а випромінює сигнал з горизонтальною та вертикальною поляризаціями. Для передачі сигналів на вибраних частотах використовується QPSK. Також мобільна вузлова цифрова тропосферна станція може використовуватись для передачі телевізійного сигналу на телетюнери або телевізійні приймачі, що актуально для телеглядачів окупованих територій. При цьому станція працює в симплексному режимі за схемою «точка-багатоточка». Передача телевізійних сигналів здійснюється по стандарту DVB-T2.



### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Тропосферні засоби електронних комунікацій, що входять до складу мобільних комбінованих телекомунікаційних систем мають наступні показники ефективності:

1) Тропосферний засіб електронних комунікацій типу Р-417 МУ:

– ефективність функціонування тропосферного засобу з адаптивним двоелементним радіоінтерферометром з штатними антенно-фідерними системами підвищена на 24%;

– вартість техніко-економічних рішень, щодо впровадження адаптивного двоелементного радіоінтерферометру при створенні мобільних комбінованих телекомунікаційних систем у порівнянні з стандартною тропосферною антенно-фідерною системою покращено на 2,3дБВт/грн;

2) Тропосферний засіб електронних комунікацій типу Р-423-1 МУ:



– ефективність функціонування тропосферного засобу з адаптивним двоелементним радіоінтерферометром з штатними антенно-фідерними системами підвищена на 8,7%;

– вартість техніко-економічних рішень щодо впровадження цифрової системи спеціальних обчислювачів при створенні мобільних комбінованих телекомунікаційних систем у порівнянні з стандартною тропосферною антенно-фідерною системою покращено на 10,8дБВт/грн;

3) Тропосферний засіб електронних комунікацій типу Р-412 МУ:

– ефективність функціонування тропосферного засобу підвищена на 9,57%;

– вартість техніко-економічних рішень щодо впровадження цифрового тропосферного модему у порівнянні зі стандартним тропосферним модемом покращено на 15дБВт/грн.

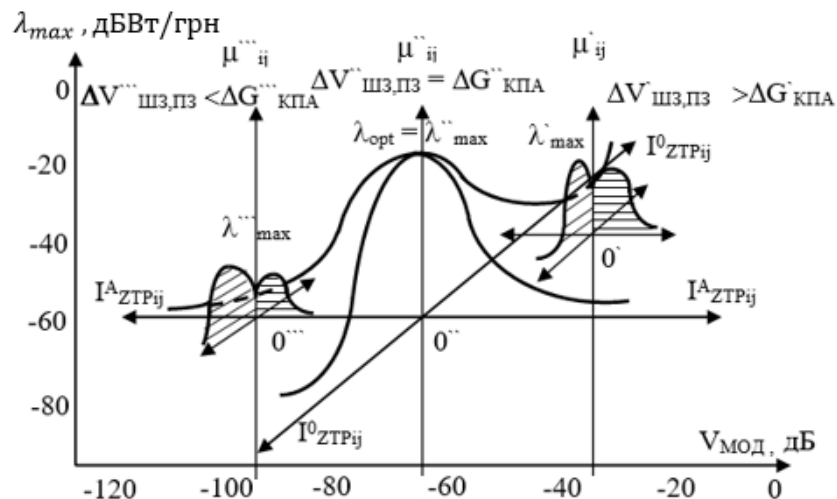


Рис. 1 Інформаційно-цільова функція техніко-економічної оцінки мобільних комбінованих телекомунікаційних систем з використанням тропосферних засобів електронних комунікацій типу Р-417МУ, Р-423-1МУ, Р-412МУ

Розрахунки техніко-економічної ефективності при створенні мобільних комбінованих телекомунікаційних систем підтверджуються наступними формулами та інформаційно-цільовою функцією мобільних комбінованих телекомунікаційних систем, що представлено на рис.1.

Створення мобільних комбінованих телекомунікаційних систем з тропосферними засобами електронних комунікацій має вираш в кошторисній вартості в порівнянні з: Р-417 МУ - 2,3дБВт/грн; Р-423-1 МУ - 10,8дБВт/грн; Р-412 МУ - 15дБВт/грн.

## РЕЗУЛЬТАТИ

Вперше на Євразійському континенті створені мобільні комбіновані телекомунікаційні системи з використанням тропосферних засобів електронних комунікацій. В Україні аналогів таких мобільних комбінованих телекомунікаційних системах використанням тропосферних засобів електронних комунікацій, крім наведених в даній роботі, не існує. Спільне рішення Міністерства оборони України та виробника тропосферних засобів електронних комунікацій №1111/3/6-2018 від 17.02.2022. Присвоєно номенклатурний номер НАТО на тропосферні засоби електронних комунікацій виробництва ТОВ «ВАТ «ОЛІМП» №8806 від 04.08.2022 року Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації МО України (протокол №1/пл від 15.11.2021р. комісії з Державних випробувань тропосферних засобів електронних комунікацій типу Р-412МУ). Підприємством ТОВ «ВАТ«ОЛІМП» укладено державний контракт №403/1/23/40 від 31.03.2023 року з МО України на виготовлення та постачання двох комплектів станцій тропосферного зв'язку Р-412МУ.

Події весни 2014 року показали, що при включенні потужних радіоелектронних засобів боротьби зі сторони агресора практично всі радіо та радіорелейні засоби були подавлені. Тільки тропосферні засоби зв'язку підтримували стійкий та надійний зв'язок між пунктами вищих ланок управління. Це ті тропосферні засоби електронних комунікацій на базі яких створені новітні системи.



Кількість публікацій за темою роботи: 9 монографій; 5 навчальних посібників; 139 статей; технічні умови, робоча конструкторська документація, інструкції з експлуатації - 20. Отримано 6 патентів України на винахід та подано 1 заявку на патент України на винахід. За даною тематикою захищено 3 докторських та 6 кандидатських дисертацій.