

ЗАДУНАЙ О.С., ГУМЕНЮК В.І., ПАЛАМАРЧУК А.А., БУРАК В.Д., СТЕФАНИШИН Я.І., ТАРАН Б.Д., СЛЮСАР В.І., УШАКОВ В.Д.

ЦИФРОВА РАДІОРЕЛЕЙНА СТАНЦІЯ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ “ДНІПРО”

Дециметровий діапазон електромагнітного спектру, який раніше широко використовувався для створення радіоліній спеціального зв'язку, на поточний час значною мірою комерціалізований. У цьому діапазоні працює велика кількість корпоративних мереж зв'язку, забезпечуючи повсякденну діяльність населення. Наразі, для створення радіоліній спеціального зв'язку переважно використовується височастотна частина цього діапазону.

До основних властивостей дециметрових хвиль, що обумовлюють їх використання при створенні радіоліній спеціального зв'язку, можна віднести незначне атмосферне затухання, слабку залежність від впливу погодних чинників та спроможність проникнення через цегляні (бетонні) стіни і дерев'яні перегородки. Розповсюдження хвиль дециметрового діапазону можливе тільки у межах прямої видимості. Практично, при розташуванні антен на щоглах висотою понад 150 м може бути забезпечено приймання сигналу на відстані до 100 км, у той час, як за використання антенних щогл висотою 16–20 м (типові висоти для мобільних станцій) інтервали зв'язку не перевищують 50 км.

Притаманність радіохвилям дециметрового діапазону ефектів дифракційного розповсюдження дає можливість забезпечити зв'язок не тільки на відкритих, а й на напіввідкритих та, навіть, закритих трасах, що є суттєвою перевагою для користувачів, особливо в умовах з щільною міською забудовою та сильно пересічених чи заліснених місцевостях тощо.

В основному, у технічних засобах зв'язку дециметрового діапазону використовується горизонтальна поляризація випромінюваних сигналів. Разом з тим, можливе використання і вертикальної поляризації, хоча недовіком такого варіанту є підвищене затухання в умовах лісної місцевості, а також певна деформація діаграми спрямованості антени при розташуванні її на порівняно невисокій щоглі.

Типовою величиною потужності випромінювання технічних засобів зв'язку дециметрового діапазону на поточний час вважається потужність передавача від 1 до 10 Вт. Як правило, менші потужності відповідають переносним засобам радіозв'язку, бо це дає можливість певним чином економити заряд батареї живлення. Швидкості передачі інформації у сучасних радіорелейних лініях спеціального зв'язку орієнтовно сягають одиниць Мбіт/с при смузі частот до 800 кГц.

Відомі технічні засоби зв'язку створюються за різними підходами до реалізації дуплексування. Зокрема, слід вказати частотне (FDD, Frequency Division Duplex) та часове (TDD, Time Division Duplex) розділення, а також напівдуплексний режим (HFDD, Half Frequency Division Duplex) [1]. Однією із суттєвих проблем створення технічних засобів зв'язку дециметрового діапазону

за архітектурою FDD є забезпечення розв'язки між приймальним та передавальним трактами, зважаючи на труднощі реалізації частотнорозв'язувальних систем. Зазвичай, вони мають великі габарити і забезпечують середні за величиною показники розв'язки, що обмежує можливість створення надчутливих приймальних трактів. Виконання приймально-передавальних пристроїв дециметрового діапазону за архітектурою TDD дає можливість взагалі не використовувати частотнорозв'язувальні системи, але швидкість передавання інформації необхідно, відповідно, збільшити, що не завжди можливо, зважаючи на обмеженість смуги частот.

Радіорелейні станції (PPC) Р–409, які, наразі, ще широко використовуються для створення радіоліній спеціального зв'язку, розроблені в кінці 60–х років минулого століття і тому морально та технічно застарілі. За більше, ніж півстоліття, що минуло з того часу, в основному, країнами близького зарубіжжя були створені численні сучасніші модифікації, наприклад, Р–415 і Р–419 (РФ) [2, 3], а також Р–429 (Білорусія) [4]. Що стосується України, то тривалий час будь-яких заходів з модернізації PPC Р–409 не проводилося і, в результаті, наявний їх парк опинився на межі повного занепаду.

Ймовірною причиною такої ситуації, на думку авторів, стало використання для забезпечення спеціального зв'язку широко розповсюджених невійськових технічних засобів, які, зважаючи на масове виробництво, мають порівняно невелику ціну. При цьому питання функціонування цих технічних засобів в екстремальних умовах впливу несприятливих метеорологічних факторів, стійкості до дії засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), захищеності від виявлення засобами радіоелектронної розвідки (РЕР), а також експлуатації персоналом з мінімальною підготовкою до уваги не беруться. Наразі, незважаючи на значне підвищення ціни, усвідомлення необхідності створення технічних засобів зв'язку, які пристосовані до експлуатації в умовах впливу вищезначених негативних чинників, не має альтернативи.

На поточний час, розвиток елементної бази дає можливість суттєво підвищити техніко-економічні показники перспективних PPC спеціального зв'язку дециметрового діапазону. Зокрема, мова йде про зменшення випромінюваної потужності, збільшення швидкості передачі даних, забезпечення автоматичної корекції похибок передачі інформації. Крім того, слід суттєво підвищити надійність функціонування зазначених PPC при прийнятних масогабаритних характеристиках, збереженні виділеної смуги робочих частот, зменшенні енергоспоживання та забезпечити конкурентоспроможність на світовому ринку.

Зважаючи на це, слід визнати доцільним та своєчасним започаткування низки науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) щодо створення вітчизняної цифрової РРС дециметрового діапазону на заміну РРС Р-409. Саме таким чином, може бути усунуте монополічне використання силовими органами держави імпортованих РРС спеціального зв'язку дециметрового діапазону, яке історично склалося. Виведення на ринок вітчизняної РРС дециметрового діапазону, по-перше, надало б силовим органам певних переваг як економічного, так і технічного характеру, а, по-друге, могло б стати одним із дієвих кроків на шляху розвитку новітніх технологій у державі.

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РРС Р-409. РРС Р-409 можна вважати типовою радіорелейною станцією, створеною за архітектурою FDD. За період серійного випуску РРС Р-409 сягнула доволі високого рівня досконалості і надійності, але технічна та моральна застарілість вимагають виведення її з експлуатації. У штатній комплектації РРС Р-409 розміщується у закритому кузові на транспортній базі автомобіля ЗІЛ-131. На поточний час за такими показниками, як витрати палива, габаритні розміри, захищеність від вогневого ураження тощо ця транспортна база не може вважатися прийнятною і потребує заміни на більш сучасні зразки (перспективними у цьому плані, зокрема, видаються броньовані автомобілі).

Основні технічні характеристики РРС Р-409:

- діапазони робочих частот – “А” (60–120), “Б” (120–240), “В” (240–480) МГц;
- кількість фіксованих частот у діапазоні “В” – 300;
- потужність передавача – 40 Вт без блока частотних розв'язок, 25 Вт з блоком частотних розв'язок (3 Вт у режимі зниженої потужності);
- швидкість інформаційного потоку – 150 кбіт/с;
- кількість телефонних каналів – 3, 6 або 12;
- коефіцієнт підсилення антен, не менше – 5 дБ (діапазон “А”), 9 дБ (діапазон “Б”) та 13 дБ (діапазон “В”);
- висота антенної щогли – до 20 м;
- потужність споживання – не більше 2 кВА;
- протяжність інтервалу: у діапазоні “А” – до 25 км, у діапазонах “Б” та “В” – до 30 км;
- екіпаж – 4 особи;
- термін розгортання – 45 хв.

Наразі, діапазони “А” та “Б” комерціалізовані, а тому у радіолініях для передачі спеціальної інформації не використовуються. Загальний вигляд РРС Р-409 представлено на рис. 1 [6].



Рис. 1. Загальний вигляд РРС Р-409

Приймально–передавальний пристрій РРС Р-409 побудований на аналоговій елементній базі 60-х років минулого століття з використанням, у тому числі, електровакуумних приладів НВЧ. Зважаючи на це, трудовитрати на її виробництво за сучасних підходів є значними і невиправданими. Загальний вигляд приймально–передавального пристрою РРС Р-409 [7], представлено на рис. 2.

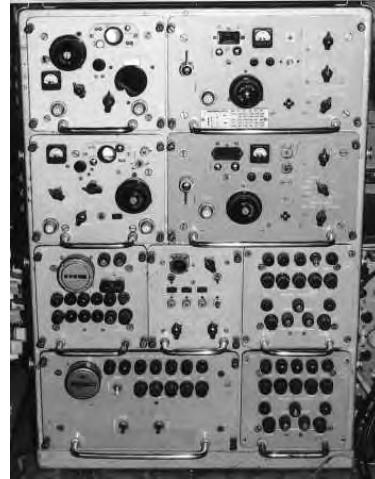


Рис. 2. Загальний вигляд приймально–передавального пристрою РРС Р-409

Дуплексний режим роботи РРС Р-409 забезпечується за допомогою блока частотних розв'язок (всього до складу РРС Р-409 включено три блоки – для кожного частотного діапазону). Блок частотних розв'язок діапазону “В” забезпечує послаблення сигналу власного передавача на вході приймача – не менше, ніж на 50 дБ. Корпус блока частотних розв'язок виготовлений із силумінового литва і має достатньо велику масу. Зважаючи на те, що налаштування робочої частоти забезпечується оператором вручну, блок частотних розв'язок повинен розміщуватися на його робочому місці. У великій мірі, саме конструктивним виконанням блока частотних розв'язок, який, за своїми габаритами, масою та способом управління неможливо розмістити на антенній щоглі, обумовлюється необхідність передавання НВЧ-енергії до антени через кабель значної довжини (25 м і більше). Зокрема, для кабелю РК-75-9-13 (із затуханням 0,05–0,18 дБ/м), довжиною 25 м затухання складає близько 4,7 дБ. У результаті, для компенсації таких значних втрат у фідері потужність сигналу на виході підсилювача потужності вихідного сигналу необхідно відповідним чином збільшувати. Фактично, більше 50 % потужності передавача використовується для “підігрівання” фідера, що за сучасних підходів до конструювання засобів зв'язку є невиправданим. Крім того, переналаштовувані коаксіальні резонатори, які входять до складу фільтрів передавального та приймального трактів блока частотних розв'язок РРС Р-409, виготовлені шляхом виконання трудомістких операцій з механічного оброблення металу, що не може задовольнити сучасні вимоги до технологічності виготовлення засобів радіоелектронного зв'язку. Загальний вигляд блока частотних розв'язок РРС Р-409 діапазону “В” представлено на рис. 3.



Рис. 3. Загальний вигляд блока частотних розв'язок РРС Р-409 діапазону "Б"

Для кожного із робочих діапазонів РРС Р-409 використовуються антени різних типів. Зокрема, антена діапазону "Б" РРС Р-409 являється синфазною решіткою, створеною чотирма Z-опромінювачами, що розташовуються з протилежного боку рефлектора антени діапазону "Б". Конструкцією антени передбачено можливість її згортання у транспортне положення. Загалом, конструкція антени громіздка і, незважаючи на достатньо великий для дециметрового діапазону коефіцієнт підсилення (~13 дБі), наразі, потребує оптимізації. Загальний вигляд антени РРС Р-409 діапазонів "Б" та "В" представлено на рис. 4.



Рис. 4. Загальний вигляд антени РРС Р-409 діапазонів "Б" та "В" РРС Р-409

Аналіз технічних характеристик модифікацій РРС Р-409. Модифікації РРС Р-409 створюються з метою покращання технічних характеристик, спрощення та здешевлення конструкції. Першим кроком у напрямі модернізації РРС Р-409 були модифікації РРС, що мали індекси Р-415Н та Р-415В. Робочий діапазон частот цих РРС ідентичний робочому діапазону РРС Р-409, але вони мають більш сучасне конструктивне виконання. Крім того, їм притаманна функція забезпечення рухомого зв'язку на інтервалі 10–12 км з використанням ненаправленої антени. Основною перевагою РРС Р-415 є автоматизація налаштування блока частотних розв'язок на фіксовані робочі частоти. Оптимізація конструкції РРС Р-415 стала можливою завдяки розвитку елементної бази та покращенню конструкції антен. Разом з тим, при компонуванні РРС Р-415 відійти від варіанту конструктивного виконання Р-409 не вдалося – антена з'єднується з блоком частотних розв'язок через кабель такої ж довжини. Загальний вигляд РРС Р-415 та її блока частотних розв'язок [8] представлений на рис. 5.



Рис. 5. Загальний вигляд РРС Р-415 та її блока частотних розв'язок



Наступним кроком у модернізації РРС Р-409 стали модифікації РРС, що мали індекс РРС Р-419 (на поточний час відомо більше 13 модифікацій). Не зважаючи на значне розширення робочого частотного діапазону, вони не набагато відрізнялися від конструктивного виконання РРС Р-415. Однак, у процесі постійного розвитку конструкція РРС зазнала суттєвих змін, тому останні модифікації РРС Р-419 мало схожі на усталені традиційні конструкції. Основні напрями модернізації РРС Р-419 включають пристосування її до збільшення швидкості передачі цифрової інформації та освоєння нових діапазонів частот. Не зважаючи на наявні можливості щодо використання сучасної елементної бази, компонування радіорелейної станції Р-419 залишається традиційним (розміщення приймально-передавального модуля у кузові автомобіля). Для прикладу, на рис. 6 представлено загальний вигляд РРС Р-419Л [9].



Рис. 6. Загальний вигляд РРС Р-419Л

Важливим кроком у розвитку конструктивного виконання РРС Р-409 стало створення РРС Р-429. Конструкція цієї РРС враховує основні світові тенденції розвитку технічних засобів зв'язку, зокрема: передачу цифрової інформації, оптимізацію потужності випромінюваного сигналу та розміщення підсилювача потужності на антенній щоглі. Особливістю конструкції РРС Р-429 стало виконання її за архітектурою TDD, що, з одного боку, виступає суттєвою перевагою (зважаючи на відсутність необхідності використання блока частотних розв'язок), а, з іншого боку, являється суттєвим недоліком (враховуючи необхідність збільшення швидкості передачі даних та їх пакетування). Саме цей недолік відіграє роль суттєвого стримуючого чиннику на шляху широкого розповсюдження побудови РРС дециметрового діапазону за архітектурою TDD. Тим не менше, досягнуті технічні характеристики РРС Р-429 (швидкість передачі інформації 2,048 Мбіт/с у діапазоні частот 240–480 МГц при модуляції QPSK та потужності випромінювання 5–10 Вт) були на той час цілком задовільними. Загальний вигляд РРС Р-429 [4] наведено на рис. 7.



Рис. 7. Загальний вигляд РРС Р-429

Таким чином, рівень розвитку елементної бази 60-х років минулого століття обумовив неоптимальні конструктивні рішення Р-409, зокрема: приймання/передачу аналогових сигналів, забезпечення зв'язку приймально-передавального пристрою з антеною через фідер великої довжини, використання громіздкої конструкції антени, використання незахищеної, енерговитратної транспортної бази.

Основні напрями створення перспективної РРС “Дніпро”. При визначенні перспектив модернізації РРС Р-409 ставилося завдання створення повнодуплексної РРС дециметрового діапазону з підвищеною швидкістю передачі інформації, зменшеними масогабаритними показниками, а також підвищеною надійністю функціонування завдяки використанню цифрових методів завадостійкого кодування, прогресивних (щодо частотної ефективності) методів модуляції та сучасної елементної бази.

Для визначення шляхів побудови РРС “Дніпро” виконано розрахунок потенціалу (бюджету) радіолінії для потужності випромінювання 5 Вт (7 дБВт), втрат у фідерах 0,3 дБ, коефіцієнта підсилення приймально-передавальної антени 7 дБі, температури шуму приймального тракту 300 К та ймовірності бітових помилок при передачі цифрової

інформації не гірше 10^{-5} . Зважаючи на рекомендації, викладені в [10], при розрахунках енергетичних потенціалів радіолінії низькочастотних діапазонів електромагнітного спектру затухання у водяній парі, кисні, опадах у вигляді сухого і мокрого снігу та граду не враховувалися, а рівень затухання у дощі прийнято 4 дБ (для максимальної інтенсивності дощу близько 40 мм/год).

Суттєвим чинником, який впливає на можливу швидкість передачі інформації R , при виділеній смузі частот W є тип модуляції. Зважаючи на можливість досягнення розумних показників лінійності тракту, підсилення потужності найбільш прийнятним типом модуляції на даний момент є 64QAM, який дозволяє забезпечити швидкість передачі інформації $R=4,8$ Мбіт/с у смузі частот $W=0,8$ МГц (спектральна ефективність $R/W=8$ дБ). З урахуванням залежностей та рекомендацій, викладених в [11], для забезпечення ймовірності бітових помилок не гірше 10^{-5} визначено необхідне відношення потужностей сигнал/шум $SNR=26$ дБ. Розрахункова чутливість приймача РРС “Дніпро” склала близько “мінус” 95 дБВт при пороговій чутливості на 20–25 дБВт вище. З використанням результатів розрахунку побудована діаграма енергетичних потенціалів радіолінії, яка представлена на рис. 8.

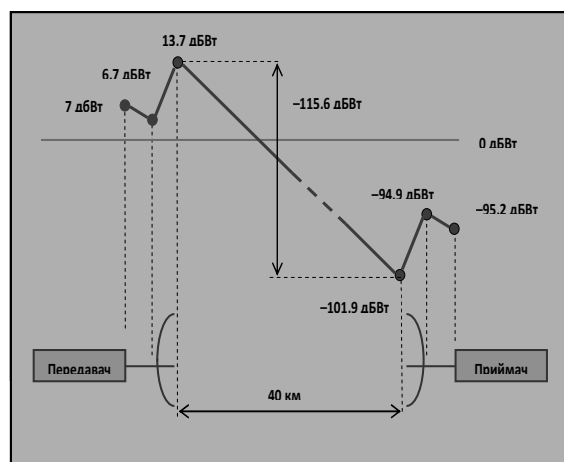


Рис. 8. Діаграма енергетичних потенціалів радіолінії

Проведений аналіз свідчить, що “запас потенціалу”, який притаманний розрахованій радіолінії, надасть можливість забезпечити функціонування РРС “Дніпро” на напівзакритих а, у багатьох випадках, й на закритих трасах. При цьому, для економії енергії сигналу на відкритих трасах доцільно забезпечити автоматичне регулювання потужності сигналу передавача.

Основні вимоги до технічних характеристик перспективної РРС “Дніпро”. При виконанні дослідно-конструкторської роботи (ДКР) до складу перспективної РРС дециметрового діапазону “Дніпро” передбачається включити:

1) базовий комплект обладнання: модем цифровий, модуль радіочастотний, блок частотних розв'язок, модуль управління;

2) комплект додаткового обладнання: антена логоперіодична, антена щогла 16–18 м (пневматична), модуль дистанційного управління та контролю (з використанням

захищеної радіолінії у діапазоні 60 ГГц, відстань до 2 км), модуль безперебійного живлення (забезпечення автономної роботи РРС упродовж 15–20 годин), модуль автономного живлення (бензиновий електрогенератор з дистанційним управлінням), транспортна база (з можливістю встановлення до 3 повних комплектів РРС).

Основним призначенням модема цифрового є забезпечення обробки інформації з автоматичним коригуванням помилок (наприклад за методом Вітербі чи з використанням турбокодів), що виникли при передачі інформаційних сигналів. Крім того, модему повинна бути притаманна функція цифрової селекції сигналів, що дає можливість виключити використання рухомих механічних елементів для вибору робочих частот у блоці частотних розв'язок. Більшості цих вимог відповідає супутниковий модем Q-Flex стандарту DVB-S2 фірми Teledyne Paradise Datacom Ltd (США) [12]. Перевагою модема Q-Flex є універсальність та можливість оперативної зміни як методу згортоквого кодування, так і типу модуляції чи вхідних/вихідних частот. Серед недоліків модема Q-Flex можна назвати його непристосованість до впливу несприятливих факторів навколишнього природного середовища.

Особливістю використання модема цифрового Q-Flex у складі РРС “Дніпро” є те, що його вхідні/вихідні частоти (у створюваній РРС “Дніпро” вони використовуються як проміжні частоти (ПЧ) приймального та передавального трактив) знаходяться у діапазоні 950–2150 МГц, що значно вище робочого діапазону РРС. Зважаючи на це, до складу модуля радіочастотного РРС передбачається включити перетворювач ПЧ на робочу частоту (у передавальному тракті) та зворотній перетворювач (у приймальному тракті), а також підсилювальні ланцюги передавального і приймального трактив на робочих частотах. При цьому, для забезпечення можливості розміщення модуля радіочастотного на антенній щоглі, конструктивне його виконання повинно допускати функціонування в умовах дії несприятливих атмосферних впливів і мати функції дистанційного керування та контролю параметрів, а також дистанційного живлення. Враховуючи достатньо велику довжину кабелю ПЧ, який буде з'єднувати модуль радіочастотний з модемом цифровим, використання одного кабелю для розповсюдження сигналів ПЧ передавача та приймача, дистанційного керування, а також живлення може виявитися проблематичним (в основному за рахунок великого падіння напруги живлення).

Для оптимізації вимог до крутизни характеристик фільтрів блока частотних розв'язок функцію селекції робочих каналів доцільно розділити на попередню селекцію блоком частотних розв'язок та точну селекцію цифровими фільтрами модема Q-Flex. При цьому, робочі смуги передавального та приймального трактив доцільно максимально рознести.

Модуль управління пропонується виготовити на базі захищеного комп'ютера, пристосованого до експлуатації в умовах снігу, дощу та туману, працездатного у діапазоні робочих температур не менше, ніж від “мінус” 30 до 60 °С. Прикладом такого комп'ютера, з урахуванням використання у складі технічних засобів спеціального

зв'язку, є захищений ноутбук Enduro Roda 13i (ET12) [13] фірми Roda Computer GmbH, Німеччина (представництво в Україні – Roda Solid IT-Solutions).

Враховуючи “запас потенціалу радіолінії”, який обумовлюється збільшенням чутливості приймального пристрою, а також зменшенням втрат випромінюваного та прийнятого сигналів при розміщенні радіочастотного модуля на антенній щоглі, вимоги до коефіцієнта підсилення антени перспективної РРС можуть бути значно послаблені. Тому, без зменшення інтервалу зв'язку, в якості антени може бути використана, наприклад, лого-періодична антена, яка має значно простішу конструкцію та менші габарити.

Замість морально застарілої штатної для РРС Р-409 антенної щогли у складі перспективної РРС “Дніпро” слід використати пневматичну антенну щоглу прийнятної висоти (наприклад, із складу низки пневматичних телескопічних щогл висотою до 30 м, що постачаються на ринок українською компанією Selteq [14]). Ці щогли швидко розгортаються та згортаються, мають автоматичні фіксатори та передбачають застосування розтяжок, працюють у температурному діапазоні від “мінус” 30 до 70 °С, допускають ручне орієнтування антени, а НВЧ кабель може розміщуватися усередині щогли.

Для зменшення ймовірності вогневого ураження персоналу, доцільно включити до складу РРС “Дніпро” систему дистанційного управління (з відстані 100–500 м). Враховуючи незручність використання з цією метою кабелів, перспективним вважається включення до складу РРС “Дніпро” бездротової системи дистанційного управління, яка може бути побудована, наприклад, з використанням радіолінії діапазону 60 ГГц. Така радіолінія захищена від впливу несанкціонованих перешкод (затухання радіохвиль в атмосфері має резонансний характер і складає близько 14 дБ/км, а наявні засоби РЕБ не пристосовані для створення перешкод у діапазоні 60 ГГц), має невеликі габарити, масу та незначне енергоспоживання. Систему дистанційного управління передбачається створити з використанням РРС “Касіопея” [15], схема побудови якої, з метою здешевлення, максимально спрощена [16] (роботи щодо її створення також виконуються підрозділами Держспецзв'язку).

Для забезпечення роботи РРС “Дніпро” при короткотерміновому (до 2–3 годин) відключенні електромережі в якості модуля безперебійного живлення можуть бути використані, наприклад, джерела безперебійного живлення Eaton 5P 1550i [17] компанії Eaton Corporation, США. Підтримка довготермінової роботи РРС “Дніпро” може бути забезпечена за допомогою бензинового електрогенератора потужністю 1,5 кВт. Однією із вимог, які висуваються до модуля, є можливість його дистанційного запуску. На жаль, на ринку електроагрегатів з необхідними технічними характеристиками не представлені. Виходом із цієї ситуації може бути доопрацювання серійного електроагрегата зі стартерним запуском, наприклад генератора бензинового NIK PG3000 виробництва КНР з потужністю 3 кВт [18].

Масогабаритні характеристики перспективної РРС “Дніпро” дозволяють розмістити її на різних типах сучасної колісної чи гусеничної техніки (у тому числі,

броньованої), що використовується в інтересах силових структур. В обґрунтованих випадках РРС “Дніпро” може бути змонтована на незахищеній легкій транспортній базі, (наприклад, квадроциклі), що забезпечить високу мобільність та можливість швидкої побудови протяжних радіоліній спеціального зв’язку, наприклад, в умовах природних чи техногенних катастроф, локальних збройних конфліктів тощо.

Основні підходи до створення макетного зразка РРС “Дніпро”. Макетування РРС “Дніпро” виконано з метою практичного підтвердження можливості збільшення швидкості передачі інформації при збереженні смуги робочих частот і інтервалів зв’язку, а також відпрацювання ефективних конструкторських рішень для побудови перспективної РРС дециметрового діапазону.

Функціональна схема макетного зразка РРС “Дніпро”, яка розроблена за класичною архітектурою FDD, представлена на рис. 9.

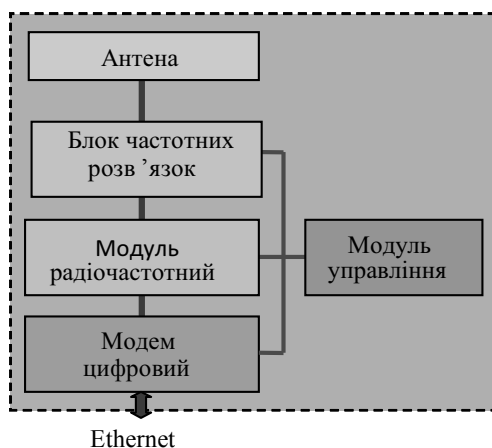


Рис. 9. Функціональна схема макетного зразка РРС “Дніпро”

Особливості побудови модуля радіочастотного, які дають можливість забезпечити підвищення ефективної селекції робочих частот, захищені патентом на корисну модель [19]. Блок частотних розв'язок виконаний у вигляді фільтрів передавального та приймального трактів на об'ємних зустрічно-шпиревих структурах. Розв'язка між передавальним та приймальним трактами складає близько 50 дБ. Для зменшення вимог до крутизни характеристики фільтрів блока частотних розв'язок його робочий діапазон поділений на 4 смуги частот, як представлено на рис. 10.

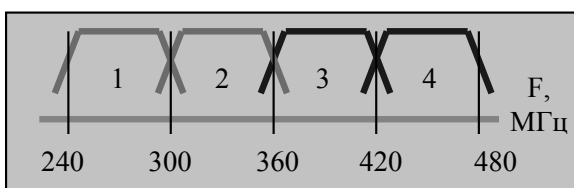


Рис. 10. Діаграма розподілу частот між приймальним та передавальним трактами блока частотних розв'язок

Робочі частоти РРС для передачі/приймання інформації вибрано у 1 та 3 (літера “А”) або 2 та 4 (літера “Б”) робочих смугах частот електромагнітного спектру.

Такий розподіл частот потребує конструктивного виконання РРС зі змінними блоками частотних розв'язок. Зважаючи на те, що при експлуатації ця операція буде виконуватися не дуже часто, запропонований підхід видається цілком прийнятним.

Макетний зразок РРС “Дніпро” має наступні технічні характеристики: діапазон робочих частот 240–480 МГц, потужність випромінювання 5 Вт, модуляція – 16QAM, швидкість передачі інформації – не менше 3 Мбіт/с, смуга частот – 0,8 МГц, температура шуму приймального пристрою – 300 °К, інтерфейс – Ethernet, метод автоматичної корекції помилок – використання турбокодів. У процесі реалізації блока радіочастотного встановлено, що для забезпечення адекватного функціонування QAM-демодулятора необхідно забезпечити груповий час затримки (ГПЗ) фільтрів блока частотних розв'язок на рівні не більше 2 нс. Реалізація фільтрів дециметрового діапазону з такими показниками ГПЗ становить певні труднощі, але, загалом, цілком можлива. Загальний вигляд виготовленого макетного зразка РРС “Дніпро” представлено на рис. 11.



Рис. 11. Загальний вигляд макетного зразка РРС “Дніпро”

Конструктивне виконання перспективної для використання у складі РРС “Дніпро” логоперіодичної антени максимально спрощене, що дає можливість доволі легко налагодити її виробництво після оптимізації технології виготовлення. Загальний вигляд макетного зразка логоперіодичної антени наведено на рис. 12.

Результати випробувань макетного зразка РРС дециметрового діапазону “Дніпро”

Після успішних лабораторних випробувань, із залученням ресурсів та особового складу одного із територіальних підрозділів Держспецзв'язку було проведено натурні випробування двох виготовлених макетних зразків РРС “Дніпро”, які, як показано на рис. 13, розмішувалися на транспортних базах РРС Р-409. Використання цих транспортних баз обумовило необхідність підведення до антени сигналу через штатний кабель довжиною близько 25 м з втратами потужності не менше 3 дБ.



Рис. 12. Загальний вигляд макетного зразка логоперіодичної антени



Рис. 13. Розміщення макетного зразка РРС “Дніпро” на транспортній базі РРС Р-409

При випробуваннях визначалася можливість передачі цифрової інформації зі швидкостями від 2,048 Мбіт/с до максимальної на відкритих (“В”) трасах з фіксованими інтервалами 33 та 40 км, напіввідкритих (“НВ”) та закритих (“З”) трасах з фіксованим інтервалом 26 км при використанні штатних (Ш) для РРС Р-409 та розроблених логоперіодичних (ЛП) антен, розміщених на антенній щоглі висотою близько 19 м. Результати випробувань представлені у табл. 1 (P_{Tx} – потужність НВЧ сигналу, що подається на антену). Отримані результати свідчать про правильність прийнятих технічних рішень при створенні макетних зразків РРС “Дніпро”.

Таблиця 1. Результати натурних випробувань макетних зразків РРС “Дніпро”

Тип траси	P_{Tx} , Вт	Тип антени	$L_{інтерв.}$ км	E_B/N_0 , дБ	R, Мбіт/с
“В”	14	Ш	33	11,5	6,0
		ЛП	33	10,3	3,0
	5,5	Ш	33	12,6	6,0
		ЛП	33	13,7	3,0
	14	Ш	40	10	2,048
		ЛП	40	7,8	2,048
5,5	Ш	40	12	2,048	
“НВ”	14	Ш	26	10,5	5,0
		ЛП	26	8,0	2,048
	5,5	Ш	26	12,4	5,0
“З”	14	Ш	26	11,0	5,0
		ЛП	26	Зв’язок відсутній	

Аналіз табл. 1 дає можливість зробити наступні висновки:

1) на трасі “В” з $L_{інтерв.}=33$ км при $P_{Tx}=5,5$ Вт для антени ЛП досягнута швидкість передачі інформації $R=3$ Мбіт/с;

2) на трасі “В” з $L_{інтерв.}=33$ км при $P_{Tx}=14$ Вт для антени Ш досягнута швидкість передачі інформації $R=6$ Мбіт/с.

Суттєво, що при використаній модуляції 16QAM досягнута максимальна швидкість передачі не може бути

реалізована у виділеній смузі частот (0,8 МГц). Очевидно, що для цього необхідно забезпечити використання модуляції QAM більшої позиційності;

3) на трасі “В” з $L_{інтерв.}=40$ км та на трасі “НВ” з $L_{інтерв.}=26$ км для антени ЛП функціонування радіолінії забезпечується при $P_{Tx}=14$ Вт зі зменшенням R до 2,048 Мбіт/с;

4) на трасі “З” з $L_{інтерв.}=26$ км працездатність радіолінії була підтверджена тільки для антени Ш при $P_{Tx}=14$ Вт;

5) як правило, показники швидкості передачі цифрової інформації R , які отримані при використанні антени Ш, у 2 рази перевищують показники, що отримані для антени ЛП. Це цілком підтверджує теоретичні розрахунки. Тим не менше, використання антени ЛП значно покращує штатні технічні параметри РРС Р-409, тому, з метою спрощення конструкції, комплектування РРС “Дніпро” антенами ЛП є доцільним.

ВИСНОВКИ

Результати виконання НДР свідчать про можливість створення вітчизняної цифрової РРС дециметрового діапазону “Дніпро”, яка за своїми технічними характеристиками не буде поступатися кращим зарубіжним аналогам. Налагодження серійного виробництва РРС “Дніпро” дає можливість забезпечити силові органи держави сучасними радіорелейними засобами зв’язку дециметрового діапазону. При цьому, враховуючи специфічні вимоги користувачів, РРС “Дніпро” може мати різноманітні варіанти виконання.

Подальші розробки РРС такого класу мають бути спрямовані на реалізацію перспективних трендів розвитку радіорелейних засобів, визначених у [20], зокрема застосування спектрально-ефективних N-OFDM сигналів, технологій МІМО та смарт-ретрансляторів. В перспективі це дозволить підвищити швидкість передачі даних в зазначеному діапазоні частот понад 10,0 Мбіт/с одночасно для кількох просторових напрямків для створення розгалуженої мережі зв’язку.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Сюваткин В. С. WiMAX–технология беспроводной связи: основы теории, стандарты, применение; под ред. В.В. Крылова. СПб: БХВ–Петербург. 2005. 368 с.
- Кутузов Т.Н., Ефремов А.А., Шалтыков А.М. Радиорелейные станции Р-409М, Р-415, Р-419. Учебное пособие. Издательский Дом Томского Госуд. Ун-та. Томск. 2014. 84 с.
- Радиостанции Р-419. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://military.trcvr.ru/2015/12/radiostancija-g-419>.
- Радиостанция Р-429. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://agat.by/katalog/r-429/>.
- Визначення шляхів модернізації радіорелейної станції Р-409: Звіт про НДР, шифр “Дніпро”. № держреєстрації 0117U007257. Київ. 2018.
- Радиорелейная станция Р-409. [Электронный ресурс] – Режим доступа: scucin-avia.narod.ru/units/nazemnyje/foto-g-409.htm.

7. Радиорелейная станция Р-409. [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.rusarmy.com/svyaz/radiorele/r-409.html.
8. Радиорелейная станция Р-415. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.rusarmy.com/svyaz/radiorele/r-415.html>.
9. Радиостанции Р-419. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://military.trcvr.ru/2015/12/radiostancija-r-419>.
10. Справочник по радиорелейной связи. Под ред. С. В. Бородича. М.: Радио и связь. 1981. 416 с.
11. Сергиенко А.Б. Цифровая связь. Учебное пособие. СПб: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”. 212. 164 с.
12. Teledyne Paradise Datacom Ltd [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.paradisedata.com>.
13. 3-дюймовый ноутбук высокого класса защиты Enduro ET12. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.roda-computer.com.ua/product/noutbuk/enduro/et12>.
14. Пневматическая телескопическая мачта 8, 10, 14, 18, 25, 30 м. [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.selteq.com/tablename/sq_product_item/id/163.
15. Вергелес Д.Д., Бурак В.Д., Паламарчук А.А., Стефанишин Я.І. Основні підходи до створення широко смугової станції зв'язку міліметрового діапазону “Кассіопея”. Безпека інформації у інформаційно-телекомунікаційних системах. Матер. XX Ювілейної Міжнар. наук.–практ. конф. Київ. 2018. Вип. 20. С. 184—185.
16. Пристрій приймально–передавальний радіорелейної станції спеціального зв'язку міліметрового діапазону: пат. 135686 Україна: Н04В 7/22. Вергелес Д.Д., Паламарчук А.А., Стефанишин Я.І., Бурак В.Д., Гуменюк В.І. 2006.01, пріоритет з 10.07.2019.
17. Джерело безперебійного живлення Eaton 5P 1550i. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.megatrade.ua/catalog/garantovane-electro-zhivlennya/dzherela-bezpereb-ynogo-zhivlennya/dzherelo-bezpereb-ynogo-zhivlennya-eaton-5p-1550i-rack1u>.
18. Генератор бензиновий NIK PG3000. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://220volt.com.ua/generator-benzinovi-ny-nik-pg3000>.
19. Пристрій приймально–передавальний станції радіорелейної: пат. 127322 Україна: Н04В 7/22. Вергелес Д.Д., Паламарчук А.А., Стефанишин Я.І., Таран Б.Д., Бурак В.Д. 2006.01, пріоритет з 25.07.2018.
20. Слюсар В.И. Современные тренды радиорелейной связи. Технологии и средства связи. 2014. № 4. С. 32—36.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

Шановні читачі!!!

Доводимо до Вашого відома, що в нашому видавництві пройшли суттєві зміни щодо оформлення та подання статей до нашого видання.

По-перше, відкрито сайт журналу, на якому більш докладніше викладені вимоги до наших публікацій. Ознайомитися можна за посиланням

[https:// journal.cndiovt.com.ua](https://journal.cndiovt.com.ua)

По-друге, звертайтеся до редакції журналу за телефоном: **+38 (097) 389-79-10,**
+38 (067) 110-74-43

Глазкова Світлана Валентинівна

E-mail: cndi_ovt@mil.gov.ua.

Дата друкування 21.12.2020. Формат 60 x 84 1 / 8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Друк офсетний.
Обсяг ум. др. арк. 7,21; обл.-вид. арк. 10,6. Наклад 250 прим. Зам. № 1855-4.

Видавничий дім Дмитра Бураго

Свідоцтво про внесення до державного реєстру ДК № 2212 від 13.06.2005 р.
04080, Україна, м. Київ-80, а / с 41

Тел. / факс: (044) 227-38-28, 227-38-48; **e-mail:** info@burago.com.ua, **site:** www.burago.com.ua