

УДК 004.85

DOI: 10.31673/2412-9070.2021.024048

Л. В. ДАКОВА<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент;С. Ю. ДАКОВ<sup>2</sup>, канд. техн. наук;Р. В. ДУЖИЙ<sup>3</sup>, заступник начальника навч.-наук. центру підготовки офіцерів  
для багатонаціональних штабів;К. М. КУЛИК<sup>1</sup>, магістр;Ю. О. БОРЗЕНКО<sup>1</sup>, магістр,<sup>1</sup> Державний університет телекомунікацій, Київ;<sup>2</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка;<sup>3</sup> Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАМІНИ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ РАДІОРЕЛЕЙНИМИ У ВАЖКОДОСТУПНИХ ТА «ПРОБЛЕМНИХ» ДІЛЯНКАХ

*Розглянуто траси кабельних систем телекомунікаційної мережі, для кожної визначено свої переваги та особливості. Зазначено ключові тенденції та перспективи розвитку радіорелейного зв'язку в Україні. Наведено аналіз сучасного стану цифрових систем радіорелейного зв'язку на ринку інформаційно-телекомунікаційних послуг із зазначенням їх тактико-технічних характеристик та особливостей їх використання.*

*Виконано детальний аналіз можливостей заміни кабельних ліній зв'язку у важкодоступних та «проблемних» середовищах новітніми цифровими радіорелейними засобами та заміни «проблемної» ділянки за допомогою інших перспективних систем безпроводового передавання інформації. Проаналізовано перспективні системи безпроводового передавання інформації. Аналіз показав доцільність здійснення часткової заміни певних компонентів мережі на більш зручні.*

*Для вирішення поставленої в статті мети розглянуто такі етапи: зменшення витрат на обслуговування, підвищення простоти та швидкості побудови мережі зв'язку, підвищення живучості мережі в шкodu простоти, з'ясування можливості компенсації швидкості обміну даних на доступність самого обміну за певних потреб, автономізація мережі структури від інших державних або приватних установ.*

*Рекомендації щодо використання здобутих результатів полягають у доцільності заміни кабельних ліній зв'язку на радіорелейні у важкодоступних та «проблемних» ділянках місцевості, а як альтернатива вибрано передавання даних за допомогою лазера, котрий дає можливість значно прискорити інформаційний обмін між двома станціями на «проблемній» ділянці та здійснювати передавання будь-якого мережного потоку. Лазерні приймачі через низьку потужність їх випромінювання не становлять небезпеки для здоров'я.*

**Ключові слова:** радіорелейний зв'язок; кабельні системи; широкосмуговий доступ; резервування; важкодоступні та «проблемні» ділянки.

### ВСТУП

**Постановка задачі.** Сьогодні зацікавленість багатьох телекомунікаційних компаній безпроводовим широкосмуговим доступом визначається входженням телекомунікацій безпосередньо в новий етап свого технічного розвитку, тобто трансформацією бізнес-середовища. Перехід до нового інформаційно-телекомунікаційного суспільства зумовлює конвергенцію мережних послуг персоналізацією та глобалізацією послуг в телекомунікаціях. Набирає обертів тенденція зміни користувачів — від користування інформаційними послугами через канали загального користування безпосередньо до створення персонального інформаційно-телекомунікаційного середовища та персонального контенту користувача. Слід зазначити, що радіорелейні системи зв'язку є одними з найпоширеніших на сьогодні систем передавання інформації. На базі зазначеної технології нині побудовано багато засобів зв'язку, а саме: телевізійне та радіомовлення, стільникові та супутникові системи зв'язку, засоби спеціального зв'язку тощо. Важливим залишається той факт, що саме на магістральному рівні радіорелейний зв'язок частково втрачає свої лідерські місця, оскільки прямим його конкурентом є високошвидкісні волоконно-оптичні лінії зв'язку. Водночас на ділянках місцевості зі складним рельєфом (наприклад, мости, водні перепони, густозаселені міста тощо) та на досить неосвоєних місцевостях, а також з метою дублювання деяких ділянок із оптичним кабелем нині на магістральному рівні використовується саме радіорелейний зв'язок.

Також важливим залишається той факт, що сьогодні постало досить актуальне питання щодо фінансових витрат на прокладання кабельних систем саме в різних важкодоступних місцях, «проблемних» ділянках. Адже для їх подальшої експлуатації потрібно здійснювати їх технічне обслуговування та

періодичні ремонти, особливо в таких «проблемних» місцях. Також для прокладання кабелю, наприклад через міст, потрібно мати договір з організацією-будівельником або тією, яка обслуговує його на теперішній час, та значну орендну плату за прокладену закабельну лінію. А за відсутності мосту прокладання кабелю через водну перепону без спеціальної техніки та спеціалізованих інженерів є дуже травмонебезпечним. Відомості надано без урахування обслуговування та ремонту в разі пошкодження, що при зазначеному (досить не стандартному середовищі) ймовірність пошкодження є достатньо високою. Саме це дало поштовх на пошук вирішення розглядуваної проблеми більш безпечним та за можливості економнішим методом побудови лінії зв'язку.

Таким чином, наукова задача дослідження можливостей заміни кабельних ліній зв'язку радіорелейними у важкодоступних та «проблемних» ділянках місцевості є актуальною для сучасного етапу розвитку інформаційного суспільства.

**Аналіз літературних джерел.** Сьогодні є багато видів телекомунікаційних мереж, які різняться за своєю топологією та призначенням [1; 2]. Основні характеристики таких мереж орієнтовано на якість, простоту та швидкість сигналу. Проте навіть незважаючи на таку спрямованість, побудова мережної сітки в містах потребує значних витрат через величезну кількість заважальних факторів. Це зумовлює високу вартість побудови та підтримання в робочому стані телекомунікаційних мереж [3].

З аналізу [1] стало зрозумілим, що одна з ключових проблем виникає тоді, коли потрібно створювати міжміську кабельну мережу та мережу в містах із такими природними перепонами, як річки, де вартість кабельного сполучення через уже побудовані об'єкти становить значну суму від вартості всієї мережі, та збільшує орендну плату для наявного шляху на новий рівень (це без підрахування затрат на таку мережу за відсутності побудованих об'єктів для здолання цих «проблемних» ділянок) [1].

Нині існує велика низка способів [3] прокладання кабелю в різних важкодоступних місцях. У більшості з робіт [1-3] задача розв'язується саме через прокладання кабелю з використанням комплексу спеціальної техніки та засобів.

У роботі [5] для вирішення цих проблем пропонується застосовувати різні системи для прокладання кабелю, оскільки кожна технологія прокладання має свої умови використання та вимоги. У роботі [6] розглядається використання лазерних систем як ключові для безпроводової системи передавання.

**Невирішені питання.** На основі проведеного огляду та аналізу джерел літератури можна дійти таких висновків. Наявні сьогодні методи не беруть до уваги багатьох (досить важливих) показників, зокрема час, витрачений на монтаж, оптимальність, ефективність та економічність.

Основним резервом нині залишається використання провідних систем передавання інформації у важкодоступних та «проблемних» ділянках місцевості.

**Мета та задачі дослідження** полягають у вивченні можливостей використання радіорелейних станцій для резервування кабельних систем передавання у важкодоступних та «проблемних» ділянках, що зумовить зменшення вартості їх обслуговування.

Для досягнення поставленої мети розглядаються такі наукові задачі:

- зменшення витрат на обслуговування;
- підвищення простоти та швидкості прокладання мережі;
- підвищення живучості мережі в шкоду простоти;
- з'ясування можливостей компенсації швидкості обміну даних на доступність самого обміну за певних потреб;
- автономізування мережі структури від інших державних або приватних установ.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

### *Особливості прокладання кабельних систем у важкодоступних та «проблемних» ділянках місцевості*

Варто зазначити, що під терміном «проблемна» ділянка мається на увазі не тільки складний для прокладання рельєф місцевості, а й місце гіпотетичного пошкодження кабелю.

Основна проблема прокладання кабелів та кабельних систем у важкодоступних місцях — це вартість, яка потрібна для досягнення певних цілей та якості мережі під час розгортання.

У міських мережах (MAN) основною проблемою є «війна» між різними провайдерами за обмежену кількість вільного простору для прокладання мереж через систему каналізації, колекторів та по стовпах, а також коливання цін між громадськими службами надання послуг, які ці системи будували. Також слід зауважити, що за законодавством України прокладання кабелю по землі у містах не дозволяється, тому потрібно використовувати певні характерні особливості місцевості, зокрема прокладання кабелю через колектори.

Розглянемо переваги та недоліки прокладання кабелю через колектор.

*Серед переваг можна виокремити такі:*

- найнижчі ціни порівняно з іншими системами доступу;
- хороша захищеність кабелю від зовнішніх пошкоджень та погодних умов;
- мережа колекторів наявна в усіх крупних районних центрах та містах України;
- орендна плата стягується в кінці місяця за всю довжину ділянки.

*До недоліків колекторів належать такі:*

• відсутність конкуренції. Більшість колекторів на території України належить компанії «Укртелебуд», через це ціну, а також спосіб прокладання зазвичай встановлюють саме вони. Тобто, проектування колекторної частини мережі надають вони чи компанія-клієнт, але ця компанія-клієнт має узгоджувати свої проекти з компанією — надавачем послуг, а отже, вагомо зростає ціна проектною частини мережі;

• у колекторах доволі мало місця для прокладання великої кількості кабельних ліній, тому вартість обернено пропорційна до кількості місця. Чим його менше — тим вища вартість;

• прокладання кабельних ліній через лінії електропередачі (ЛЕП). Такий тип передавання має також свої певні особливості та використовується зазвичай у містах тільки в тому разі, якщо відсутня система колекторів. Це спричинено цілим спектром особливостей.

По-перше, прокладання кабелю по ЛЕП має дуже велику вартість. Це зумовлено політикою експлуатації компанії «Укренерго». Будь-яка компанія-клієнт, що прокладає свій кабель через ЛЕП має сплачувати орендну плату за кожний використаний стовп ЛЕП. У сумі та за тарифом це значно дорожче, ніж за ділянку того самого розміру в колекторі. Також потрібен досить дорогий кабель, який витримує негативні погодні умови та не розірветься від постійного провисання на цих стовпах.

По-друге, такий кабель має характерні недоліки в його прокладанні та обслуговуванні. Через близьку відстань до ліній ЛЕП обслуговувати такі кабелі небезпечно для життя. Також потрібна спеціальна техніка для отримання доступу до самого кабелю, оскільки його розміщено на значній відстані над землею.

Третій тип прокладання кабелю йде через каналізацію. Проте цей тип прокладання зараз не використовує жодне приватне підприємство через занадто високу вартість. Хоча обслуговування та характеристики кабелю здебільшого наближено до умов колектора, однак вартість між ними дуже різниться. Це зумовлено ціновою політикою компанії-постачальника, оскільки саме вона визначає діапазон цін та тарифів, а також орендну плату. Цей спосіб застосовується для доставляння кабелю у важкодоступні місця, де велика вірогідність пошкодження ЛЕП, а також відсутній колектор. У вартість оренди для прокладання через такі ділянки закладено плату за світло протягом усієї ділянки каналізації, де розміщено кабель, а також за використаний простір самої каналізації.

Останньою «проблемною» ділянкою є міст. Усі мости належать державі та передані в спеціальні державні підприємства, які слідкують за їх станом та запасом міцності. Вартість прокладання кабелю через міст дуже велика, як і сама вартість оренди. Тому зазвичай використовують уже прокладені лінії, орендуючи певну смугу частот.

### *Технічні характеристики наявних та перспективних радіорелейних засобів зв'язку*

Для досягнення поставленої мети пропонується аналіз технічних характеристик наявних та перспективних радіорелейних засобів зв'язку.

Вагомий успіх у науково-технічному прогресі, безпосереднє створення принципово нової елементної бази, абсолютно нові технології проектування та виробництва в цілому сучасних засобів радіорелейного зв'язку дали можливість досягти високого рівня уніфікації.

Радіорелейний зв'язок є досить ефективним різновидом зв'язку, який забезпечує створення достатньої кількості цифрових каналів та трактів на значній відстані із порівняно малою втратою часу як на планування, так і на будівництво ліній зв'язку [7]. Він поєднує в собі переваги як радіозв'язку, так і проводового зв'язку та посідає проміжне місце між ними: багатоканальні цифрові сигнали передаються на відстань і приймаються радіозасобами, водночас їх первинне формування відбувається безпосередньо за допомогою засобів проводового зв'язку. Варто зазначити, що радіорелейному зв'язку притаманна низка ключових особливостей, серед вагомих є такі [7]:

- можливість створення багатоканальних ліній зв'язку, що забезпечують передавання як вузькосмугових, так і широкосмугових сигналів;
- можливість багаторазової ретрансляції цифрових сигналів з організацією зв'язку на великі відстані;
- можливість відгалуження каналів зв'язку на проміжних пунктах;
- забезпечення двостороннього передавання і приймання.

Для організації високошвидкісних каналів зв'язку використовуються такі радіорелейні засоби: у військових — це цифрові радіорелейні станції Р-419, Р-450, Р-402 та Р414 МУ, а у цивільних — сучасні радіорелейні засоби та станції безпроводового широкосмугового доступу.

Станція широкосмугового доступу ШД-05 (Р-419) використовується для організації каналів зв'язку з пропускну здатністю до 500 Мбіт/с на відстань до 35 км у конфігурації «точка-багатоточка» за стандартом IEEE 802.11 ac. Вбудований роутер дає змогу використовувати станцію і як абонентську, і як базову станцію.

Станція складається з антенної системи, приймача, передавача, блока узгодження з вбудованою системою гарантованого живлення. Залежно від конфігурації мережі станція комплектується вузьконапрямленою, секторною, круговою антенами.

#### Основні технічні характеристики станції ШД-05 (Р-419)

Характеристика	Значення
Діапазон робочих частот .....	4920...6100 МГц
Стандарт безпроводового зв'язку .....	802.11 ac
Максимальна вихідна потужність .....	1 Вт
Чутливість приймача .....	-96 дБм
Підтримання МІМО .....	2 × 2
Антенa (вузьконапрямлена), діаметр .....	0,65 м
Антенa (вузьконапрямлена), коефіцієнт підсилення .....	28 дБі
Інтерфейси .....	Ethernet port, USB 2.0; SFP
Швидкість порту .....	10/100/1000 Мбіт/с
Процесор .....	QCA9557-AT4A-R 720 МГц
Об'єм оперативної пам'яті .....	128 МБ
Напруга живлення .....	9...30 В, PoE
Потужність споживання .....	до 23 Вт

Радіорелейну станцію прямої видимості сантиметрового діапазону Р-414МУ призначено для передавання та приймання цифрової інформації на значні відстані через побудову багатоінтервальних магістральних радіорелейних ліній [8].

Станція безпосередньо забезпечує протяжність напіввідкритого інтервалу лінії зв'язку не менш ніж 40 км у діапазоні частот 6,4...7,1 ГГц при висоті підйому антени 30 м, і не менш ніж 30 км у діапазоні частот 14,4...15,4 ГГц при висоті підйому антени 20 м. Швидкість передавання цифрової інформації магістральної лінії зв'язку в діапазоні частот 6,4...7,1 ГГц не менш як 155 Мбіт/с. Швидкість передавання цифрової інформації радіорелейних ліній (відгалужень) у діапазоні частот 14,4...15,4 ГГц — не менш ніж 34 Мбіт/с [14]. Окрім цього, станція забезпечує передавання лінією зв'язку сигналів телесигналізації і телекерування, службового зв'язку, Ethernet трафіку (10/100/1000 Base T), потоків E1(G.703) та змішаного TDM+IP трафіку.

#### Основні тактико-технічні характеристики радіорелейної станції Р-414МУ

Характеристика	Значення
Кількість інтервалів .....	20
Середня протяжність інтервалу .....	40 км
Діапазон частот .....	6,43...7,10 ГГц та 14,4...15,4 ГГц
Максимальна вихідна потужність .....	28 дБм
Вид модуляції .....	4 QAM; 16 QAM; 32 QAM; 64 QAM; 128 QAM; 256 QAM

Цифрову радіорелейну станцію Р-450 [9] призначено для забезпечення цифрового радіорелейного зв'язку як в стаціонарних, так і польових системах зв'язку безпосередньо військового та цивільного застосування. Вона дає можливість утворювати радіоканали з пропускну здатністю від 256 до 8448 кбіт/с та дальністю 35 км [9].

Станцію радіорелейну широкосмугову СРШ-5000 [10] призначено для забезпечення цифрового РРЗ в стаціонарних та польових системах зв'язку як військового, так і цивільного призначення. Вона дає змогу створювати радіоканали далекої дії з пропускну здатністю до 300 Мбіт/с та дальністю до 35 км для одного інтервалу та забезпечує інтеграцію у локальну мережу саме за допомогою інтерфейсу Ethernet [10].

**Основні тактико-технічні характеристики цифрової радіорелейної станції Р-450**

Характеристика	Значення
Діапазон частот .....	1350...2690 МГц (НАТО III +)
Вихідна потужність .....	5 Вт
Крок сітки частот .....	125 кГц
Кількість каналів .....	10720
Модуляція .....	FSK (STANAG 4212, CP-FSK2r), QPSK, 16 QAM
Станційний стик .....	STANAG 4210, Eurocom D/1, G.703 E1, 4xE1, E2, оптичний стик
Швидкість потоку .....	256, 512, 1024, 2048, 8448, 34368 кбіт/с
Розвідзахищеність .....	адаптація за потужністю
Антенна .....	рефлекторна логоперіодична
Маса комплекту .....	71 кг

**Технічні характеристики СРШ-5000 (Р-402)**

Характеристика	Значення
Діапазон робочих частот .....	4920...6100 МГц
Крок сітки частот .....	U-NII 1 (5150...5350 МГц), U-NII-2 (5470...5725 МГц), U-NII-3 (5725...5850 МГц)
Ширина каналу .....	5, 10, 20, 20...40 МГц
Модуляція .....	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Швидкість завадостійкого коду .....	1/2, 2/3, 3/4, 5/6
Вихідна потужність, на один антенний з'єднувач .....	27 дБм (500 мВт)
Максимальна швидкість у радіоканалі, не більш як .....	300 Мбіт/с
Протоколи радіоканалу .....	IEEE 802.11a/n, NSTRIME, NV2
Режим роботи .....	«точка-точка», «точка-багаточка»
Ethernet порт .....	1 (10/100/1000 Base-T)
Порт керування .....	RS-232
Підтримання VLAN .....	IEEE 802.11Q
Протоколи маршрутизації .....	OSPF, RIP, BGP

Станцію радіорелейну широкодіапазонну Р-300 [11] призначено для забезпечення цифрового РРЗ в стаціонарних та польових системах зв'язку військового та цивільного призначення, яка дозволяє утворювати радіоканали з пропускну здатністю до 16 Мбіт/с та дальністю до 30 км (зазначено для одного інтервалу) (рис. 1). Також вона забезпечує інтеграцію в локальну мережу за допомогою інтерфейсу Ethernet [11].

Слід зазначити, що цивільні радіорелейні станції використовують для організації ліній прив'язки вузлів зв'язку пунктів керування [12-14]. Такі станції уможливають будівництво безпроводових ліній зв'язку за технологіями IEEE 802.11x (WiFi) та IEEE 802.16x (Wimax) з підтриманням протоколів 802.1 ln, 802.1 lg, 802.1 lb. Вони забезпечують швидкість передавання інформації до 300 Мбіт/с. Безпроводову точку доступу застосовують саме для підімкнення до базової станції або побудови Wi-Fi мостів з відстанню до 35 км.

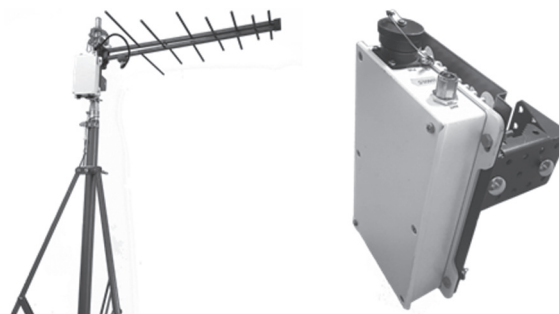


Рис. 1. Станція радіорелейна широкодіапазонна Р-300

Застосування цивільних широкодіапазонних радіорелейних станцій наведено в [12; 13]. Такі станції використовують для побудови безпроводових ліній зв'язку за технологією Wi-Fi та WiMax з підтриманням протоколів 802.11n, 802.11g, 802.11b, забезпечуючи швидкість передавання даних до 300 Мбіт/с (рис. 2, 3). Безпроводову точку доступу використовують для підімкнення до базової станції провайдера або побудови Wi-Fi мостів на відстань до 35 км. Їм притаманна низка переваг: досить висока швидкість, ефективне використання спектра, використання технологій ХРІС МІМО, низьке енергоспоживання.



Рис. 2. Широкодіапазонна станція Airfiber



Рис. 3. Широкодіапазонні станції AirGrid M5 та Nanobridge

Варто зауважити, що сьогодні сотні компаній займаються виготовленням радіорелейного обладнання по всьому світі. За даними Unstrung Insider, основними виробниками є такі: Nokia, Ericsson, Siemens, NEC, Harris (здебільшого для військового сегменту), NERA, Stratex Networks, Alcatel-Lucent, ALCOMA тощо [15-17].

Аналіз показав, що переважна більшість сучасних РРЗ мають характерні переваги та особливості, що можуть конкурувати з кабельними системами передавання.

Наступним логічним кроком по досягненню мети статті постане детальний аналіз можливостей заміни кабельних ліній зв'язку радіорелейними лініями зв'язку.

#### *Аналіз можливостей використання радіорелейних ліній зв'язку замість кабельних*

Сьогодні у нас є можливість використовувати різні види ліній зв'язку. Зокрема це стосується кабельних систем та систем безпроводового зв'язку.

Найперше, про що піде мова, то це системи кабельного зв'язку, оскільки в цих системах на теперішній час найбільша швидкість передавання даних. Також і якість передавання залишається на доволі високому рівні. Це зумовлюється зокрема високою захищеністю середовища поширення та якістю матеріалів у процесі виготовлення кабелю. Все це дуже впливає на вибір під час передавання великої кількості інформації на велику відстань.

Безпроводові системи передавання дають змогу передавати інформацію з меншою швидкістю, але на більшу відстань з меншими затратами на під'єднання. Це дозволяє збільшити мережу для абонентів і зробити систему, при якій до передавача інформація може надходити через кабельне сполучення, а потім там розподілятися через безпроводову мережу. Але це б все працювало та не було б ніяких проблем, якщо на шляху кабелю не було б інших перешкод та «проблемних» ділянок. Через це ми маємо кілька проблем. Якщо в місті є каналізація та ЛЕП, то у сільській місцевості цих речей або мало, або взагалі немає, що створює певні проблеми для передавання даних. Тому потрібно шукати вирішення в частковій заміні певних компонентів мережі на більш зручні для обслуговування та які не будуть сильно впливати на якість та швидкість передавання з підтриманням певного рівня захищеності інформації в мережі.

#### *Проаналізуємо можливість заміни певної «проблемної» кабельної ділянки на радіорелейну*

У процесі заміни кабельної ділянки за допомогою радіорелейної лінії потрібно брати до уваги таке:

- добитися автономної роботи цих станцій та певної захищеності від крадіжок обладнання;
- вибрати правильний тип модуляції для підтримання потрібної якості та швидкості;
- проаналізувати пріоритети самої ділянки для використання на ній даних маніпуляцій через зниження швидкості передавання всієї ділянки (що головніше — швидкість та якість або доступність та легкий ремонт «проблемної» ділянки);

- врахувати питання сумісності різного типу телекомунікаційного обладнання.

#### *Переваги заміни проблемної ділянки:*

- дешевший ремонт, менша кількість персоналу та спецтехніки;

- більш легкодоступне прокладання всієї ділянки без використання спецтехніки та персоналу, знижуючи травмонебезпечність під час роботи з нею;
- можливість використання для заміни застарілого обладнання, якщо швидкість та якість буде відповідати потрібним нормам;
- більш швидке розгортання порівняно з роботами по прокладанню та захисту від пошкоджень на «проблемній» ділянці кабелю.

Маючи певні переваги системи, *завжди матимуть місце і недоліки*, до яких належать:

- зниження швидкості та якості сигналу на всій ділянці;
- додаткові затрати на обладнання для захисту та розміщення на «проблемній» ділянці;
- використання або прокладання кабелю для живлення обладнання.

### *Заміна «проблемної» ділянки за допомогою інших систем безпроводового передавання інформації*

Однією з перспективних технологій є також система безпроводового передавання інформації за допомогою лазера [6].

Лазерний зв'язок на відміну від інших видів зв'язку дозволяє здійснювати з'єднання типу «точка-точка» зі швидкістю передавання інформації до 155 Мбіт/с (швидкість потоку STM-1). У комп'ютерних і телефонних мережах лазерний зв'язок забезпечує обмін інформацією в режимі повного дуплексу. Для додатків, що не потребують високої швидкості передавання (наприклад, для передавання відеосигналу і сигналів керування в системах технологічного і охоронного телебачення), є спеціальне економічне рішення з напівдуплексним обміном. Там, де необхідно об'єднати не тільки комп'ютерні, а й телефонні мережі, можуть застосовуватися моделі лазерних пристроїв із вбудованим мультиплексором для одночасного передавання трафіку ЛВС і цифрових групових потоків телефонії (E1/ІКМ30).

Лазерні пристрої можуть здійснювати передавання будь-якого мережного потоку, який доставляється їм за допомогою оптоволоконного або мідного кабелю. Передавач перетворює електричні сигнали в модульоване випромінювання лазера в інфрачервоному діапазоні з довжиною хвилі 820 нм і потужністю до 40 мВт.

Лазерний промінь потрапляє в приймальний пристрій, котрий у свою чергу має максимальну чутливість у діапазоні довжини хвилі випромінювання. Приймач виробляє перетворення випромінювання лазера в сигнали використовуваного електричного або оптичного інтерфейсу.

Лазер дає можливість значно прискорити інформаційний обмін між двома станціями на ділянці, але на нього більше впливають погодні умови, зокрема дощ, гроза, туман тощо. Бюджетність у порівнянні з іншими системами зв'язку наведено в таблиці.

**Бюджетність відносно інших систем**

Тип кабелю/ орієнтовна вартість	Мідний кабель	Оптоволоконно	Радіоканал	Лазерний канал
	Від 3 до 7 тис. дол. за 1 км	Від 10 тис. дол. за 1 км	Від 7 до 100 тис. дол. за комплект	Від 12 до 22 тис. дол. за комплект
Час на підготовку та виконання монтажу	Підготовка робіт та прокладання — до 1 місяця; установка HDSL-модемів — кілька годин	Підготовка робіт та прокладання ВОЛС, термін 1–2 місяця	Підготовка робіт 2–3 місяці, установка — кілька годин	Підготовка робіт 1–2 тижні, установка — кілька годин
Максимальна пропускна здатність	До 2 Мбіт/с при використанні HDSL	До 155 Мбіт/с	До 155 Мбіт/с	До 155 Мбіт/с
Максимальна дальність зв'язку	До 20 км при використанні HDSL	Не менш як 50–70 км	До 80 км	До 1,2 км

#### *Переваги лазерного зв'язку:*

- «прозорість» для більшості мережних протоколів (Ethernet, Token Ring, Sonet/OC, ATM, FDDI тощо);
- висока швидкість передавання даних (до 155 Мбіт/с — сьогодні, до 1 Гбіт/с у анонсованого виробниками обладнання);
- висока якість зв'язку з BER = 1E-10 ... 1E-9;
- підведення мережного трафіку до лазерного приймача-передавача за допомогою кабельних і/або оптоволоконних пристроїв сполучення;
- відсутність потреби в отриманні дозволів на використання;
- відносно низька вартість лазерного устаткування порівняно з радіосистемами.

Лазерні приймачі через низьку потужність їх випромінювання не становлять небезпеки для здоров'я.

Слід зазначити, що хоча промінь безпечний, птахи його відчувають і намагаються ухилитися, що істотно зменшує ймовірність збоїв. Якщо передана інформація доставляється до лазерного приймача-передавача і від нього по стандартному багатомодовому оптоволоконному кабелю, то гарантується передавання даних без радіохвильового і електромагнітного випромінювання. Це не тільки забезпечує відсутність впливу на працююче поруч обладнання, а й унеможливує несанкціонований доступ до інформації (отримати його можна, тільки підібравшись безпосередньо до приймача-передавача).

### ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень теоретично обґрунтовано та досліджено можливість заміни кабельних ліній зв'язку у важкодоступних та «проблемних» ділянках місцевості радіорелейними та можливість заміни такої «проблемної» ділянки за допомогою інших систем безпроводового передавання інформації.

Визначено, що вирішення необхідно шукати в частковій заміні певних компонентів мережі на більш зручні для обслуговування та які не будуть сильно впливати на якість та швидкість передавання з підтриманням певного рівня захищеності інформації в мережі.

Проаналізовано, що як альтернатива радіорелейному зв'язку, є одна з перспективних систем безпроводового передавання інформації — передавання за допомогою лазера. Аналіз його використання у «проблемних» та важкодоступних місцях буде подальшим напрямком дослідження.

### Список використаної літератури

1. **Стеклов В. К., Беркман Л. Н.** Проектування телекомунікаційних мереж: підручник для ВНЗ. Київ: Техніка, 2002. 792 с.
2. **Гаранин М. В., Журавлев В. И., Кунегин С. В.** Системы и сети передачи информации. Москва: Радио и связь, 2001. 320 с.
3. **Сети и телекоммуникации.** Журнал для профессионалов в области связи [Електронний ресурс]. 2017. URL: [http://www.seti-ua.com/?in=seti\\_show\\_article&seti\\_art\\_ID=388&by\\_id=1&CATEGORY=5](http://www.seti-ua.com/?in=seti_show_article&seti_art_ID=388&by_id=1&CATEGORY=5)
4. **Сайко В. Г., Казіміренко В. Я., Літвінов Ю. М.** Мережі бездротового широкосмугового доступу: навч. посіб. Київ: ДУТ, 2016. С. 11–13.
5. URL: <https://uea.kiev.ua/uk/sistemi-prokladki-kabelyu> (дата звернення 17.03.2021).
6. **Лазерная связь — еще один способ беспроводной связи** [Електронний ресурс]. URL: [https://skomplekt.com/articles/laser\\_con.htm](https://skomplekt.com/articles/laser_con.htm) (дата доступу: січень 2015. Назва з екрану).
7. **Организація комп'ютерних мереж** [Електронний ресурс]. URL: <https://cutt.ly/2uxTUAD> (дата доступу: жовтень 2017. Назва з екрану).
8. **Єрохін В. Ф., Ніколаєнко Б. А.** Радіорелейна станція Р-414МУ: навч. посіб. Київ: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 130 с.
9. **Краснер Є. Ю.** Станція радіорелейна Р-450: посібник з експлуатації. 2017. 56 с.
10. **Вакуленко О. В., Ніколаєнко Б. А.** Станція радіорелейна широкосмугова СРШ-5000 (станція радіорелейна Р-402): навч. посіб. Київ: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 85 с.
11. URL: <https://telecard.com.ua/uk/component/jshopping/stantsii-radioreleini-shyrokosmuhovi/stantsiia-radioreleina-shyrokosmuhova-r-300?Itemid=0> (дата звернення 17.03.2021).
12. [www.viti.edu.ua/newspaper](http://www.viti.edu.ua/newspaper) (дата звернення 17.03.2021).
13. **Geng Li, Yuping Zhao, Kaigui Bian.** Efficient User Association in Cellular Networks With Hybrid Cognitive Radio Relays // *IEEE Communications Letters*. 2016. V. 20. I. 7. P. 1413–1416.
14. URL: <https://lantorg.com/article/chto-takoe-airmax> (дата звернення 17.03.2021).
15. **BroadBand Ethernet Radio RF-7800W-OU440 – Harris Corporation** // *RF Communications*. 2019 [Електронний ресурс]. URL: [http://rf.harris.com/media/RF-7800W-OU440%20DataSheet\\_tcm26-13554.pdf](http://rf.harris.com/media/RF-7800W-OU440%20DataSheet_tcm26-13554.pdf) (дата звернення 17.03.2021).
16. **MCTR 7200 Famili.** SCA based Multiband Radio – TELEFUNKEN RACOMS. Defense. [Електронний ресурс]. URL: [http://www.tfk-racoms.com/defense/downloads/201004MCTR7200\\_Brochure\\_en\\_low.pdf](http://www.tfk-racoms.com/defense/downloads/201004MCTR7200_Brochure_en_low.pdf) (дата звернення 17.03.2021).
17. **Centaur® Enhanced High Capacity Data Radio (EnHCDRTM) – ITT Exelis Inc., 2019** [Електронний ресурс]. URL:



[http://www.exelisinc.com/solutions/Enhanced-High-Capacity-Data-Radio/Documents/Centaur-Enhanced-High-Capacity-Data-Radio-\(EnHCDR\).pdf](http://www.exelisinc.com/solutions/Enhanced-High-Capacity-Data-Radio/Documents/Centaur-Enhanced-High-Capacity-Data-Radio-(EnHCDR).pdf) (дата звернення 17.03.2021).

Л. В. Дакова, С. Ю. Даков, Р. В. Дужый, К. Н. Кулик, Ю. А. Борзенко

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЗАМЕНЫ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ РАДИОРЕЛЕЙНЫМИ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ И «ПРОБЛЕМНЫХ» УЧАСТКАХ

Рассмотрены трассы кабельных систем телекоммуникационной сети, для каждой определены свои преимущества и особенности. Указаны ключевые тенденции и перспективы развития радиорелейной связи в Украине. Приведен анализ современного состояния цифровых систем радиорелейной связи на рынке информационно-телекоммуникационных услуг с указанием их тактико-технических характеристик и особенностей их использования.

Выполнен детальный анализ возможностей замены кабельных линий связи в труднодоступных и «проблемных» средах новейшими цифровыми радиорелейными средствами и замена «проблемных» участков с помощью других перспективных систем беспроводной передачи информации. Проанализированы перспективные системы беспроводной передачи информации. Анализ показал целесообразность осуществления частичной замены определенных компонентов сети на более удобные.

Для решения поставленной в статье цели рассматриваются следующие этапы: уменьшение затрат на обслуживание, повышение простоты и скорости построения сети связи, повышение живучести сети во вред простоты, выяснения возможности компенсации скорости обмена данных на доступность самого обмена при определенных потребностях, автономизация сети структуры от других государственных или частных учреждений.

Рекомендации по использованию полученных результатов заключаются в целесообразности замены кабельных линий связи на радиорелейные в труднодоступных и «проблемных» участках местности и в качестве альтернативы избрана передача данных с помощью лазера, который позволяет значительно ускорить информационный обмен между двумя станциями на таких «проблемных» участках и осуществлять передачу любого сетевого потока. Лазерные приемники из-за низкой мощности их излучения не представляют опасности для здоровья.

**Ключевые слова:** радиорелейная связь; кабельные системы; широкополосный доступ; резервирование; труднодоступные и «проблемные» участки.

L. V. Dakova, S. Yu. Dakov, R. V. Duzhyi, K. M. Kulik, Yu. O. Borzenko

### INVESTIGATION OF POSSIBILITIES OF REPLACEMENT OF CABLE LINES BY RADIO RELAYS IN DIFFICULT-ACCESSIBLE AND «PROBLEM» AREAS

The article considers the routes of cable systems of the telecommunication network, for each its advantages and features are determined. The key trends and prospects for the development of radio relay communication in Ukraine are noted. The analysis of the current state of digital radio relay communication systems in the market of information and telecommunication services is given, indicating their tactical and technical characteristics, their peculiarities of use are given.

A detailed analysis of the possibilities of replacing cable communication lines in hard-to-reach and «problematic» environments with the latest digital radio relays and replacing the «problem» area with other promising wireless transmission systems. Promising systems of wireless information transmission are analyzed. The analysis showed that the decision to partially replace certain network components with more convenient ones should be implemented.

To address the goal set in the article, the following steps are considered, namely: reducing maintenance costs, increasing the simplicity and speed of construction of the communication network, increasing network survivability to the detriment of simplicity, clarifying the possibility of compensating the data exchange rate, autonomy of the network structure from other public or private institutions.

Recommendations for the use of the obtained results are the expediency of replacing cable communication lines with radio relays in hard-to-reach and problem areas and as an alternative, laser data transmission is chosen, which allows to significantly speed up information exchange between two stations on the «problem» area. any network flow. Laser receivers, due to their low power, do not pose a health hazard.

**Keywords:** radio relay; cable systems; broadband access; redundancy; hard-to-reach and «problem» areas.