

УДК 621.396

Д.А. Гриб, С.А. Макаров, Р.В. Воробйов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОПТИМАЛЬНИЙ СКЛАД ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ЛІНІЯХ ПРИВ'ЯЗКИ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ПОВІТРЯНИХ СИЛ

*Територіальне рознесення елементів системи зв'язку Повітряних Сил Збройних Сил України потребує їх інтеграцію в єдину інформаційну мережу через магістральні лінії зв'язку. Вибір оптимального складу телекомунікаційного обладнання на лініях прив'язки до магістральних операторів телекомунікацій є актуальною науково-практичною задачею.*

**Ключові слова:** телекомунікації, лінії прив'язки, магістральні оператори, система зв'язку, мережа.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Одним з основних напрямків удосконалення системи зв'язку Повітряних Сил Збройних Сил України є будівництво цифрової транспортної мережі на основі волоконно-оптичних ліній прив'язки, як складової частини цифрової інтегральної мережі зв'язку Збройних Сил України. Тому впровадження у діяльність органів військового управління сучасних інформаційних систем є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У публікаціях [1 – 2] розглянуто перспективи розвитку системи зв'язку та автоматизації Збройних Сил України та зазначено, що перехід системи зв'язку на цифрове телекомунікаційне обладнання стане головним засобом підвищення якості інформаційного обміну при управлінні військами, ефективності функціонування та поліпшення експлуатаційних характеристик телекомунікаційних мереж військового призначення.

**Метою статті є** визначення оптимального складу телекомунікаційного обладнання на лініях прив'язки системи зв'язку Повітряних Сил на основі аналізу основних аспектів вибору обладнання ліній прив'язки.

### Виклад основного матеріалу

*Типова структура інформаційної мережі вузла зв'язку.* Основою будь-якої мережі, що має внутрішні ресурси та доступ до зовнішньої мережі є ядро мережі, яке забезпечує маршрутизацію трафіка в мережі, політики доступу та якість зв'язку, підключення до зовнішніх ліній зв'язку [3]. Безпосередньо або через віртуальні мережі до ядра мережі може бути підключена серверна ферма або окремі сервери, які призначені для створення різних видів послуг (телефонія, відеоспостереження, інформаційні сховища та інше).

Окрім ядра, мережа складається з каналів зв'язку, комутаторів, кінцевого обладнання, екстракторів (шлюзів), які здатні інтегрувати кінцеве облад-

нання з закритою архітектурою (радіолокаційні комплекси, автоматизовані системи управління, канали зв'язку попереднього покоління) до цифрових мереж з відкритою архітектурою ISO/OSI [4]. Канали зв'язку можливо будувати на провідних (із застосуванням DSL технологій), волоконно-оптичних або радіорелейних лініях зв'язку. Вибір лінії зв'язку залежить від фінансових і технічних можливостей та від потреб в пропусковій здатності окремих ділянок каналів зв'язку.

Кінцевим обладнанням цифрових мереж з відкритою архітектурою можуть бути будь-які апаратні або програмні засоби, які здатні передавати та приймати будь-які види інформації за допомогою стеку протоколів TCP/IP або UDP.

Типова структура мережі вузла зв'язку військової частини Повітряних Сил Збройних Сил України залежить від існуючих засобів і ліній зв'язку, від потреб у інформаційних ресурсах, від обраної архітектури мережі та застосованих інформаційних технологій. На рис. 1 представлено узагальнену типову схему мережі вузла зв'язку військової частини Повітряних Сил Збройних Сил України.

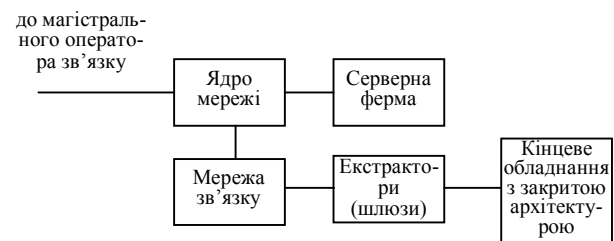


Рис. 1. Узагальнена типова схема мережі вузла зв'язку

*Серверне приміщення та монтажне обладнання.* Ядро мережі розміщується в серверному приміщенні. Основними елементами серверного приміщення є: власне само приміщення, серверна шафа з телекомунікаційним обладнанням, документація та система енергопостачання. Серверні приміщення доцільно розташовувати на інформаційно-телекомунікаційних вузлах бригад (військових частин),

повітряних командувань та Командування Повітряних Сил Збройних Сил України.

Вимоги і рекомендації до обладнання серверного приміщення розробляються на основі стандартів ТІА/ЕІА-569 та СН 512-78. Приміщення необхідно обладнати системою кондиціонування (спліт системою), пожежною і охоронною сигналізаціями, заземленням, основним і резервним освітленням.

Всі апаратні в серверному приміщенні повинні мати унікальний ідентифікатор і мати маркіровку на дверях або поряд з дверима. Усі порти та конектори на телекомунікаційному обладнанні, окремі волокна, проводи та шнури повинні бути підписані у відповідності до технічної документації на телекомунікаційну мережу. Порти і конектори, що не задіяні в роботі мережі доцільно запечатати з метою усунення випадків помилкового підключення до них.

Оскільки ядро мережі є центральним елементом мережі, то воно повинно мати безперервне енергопостачання при будь яких перервах в постачанні електроживлення. Загальна схема безперебійного енергоживлення серверного приміщення наведена на рис. 2.

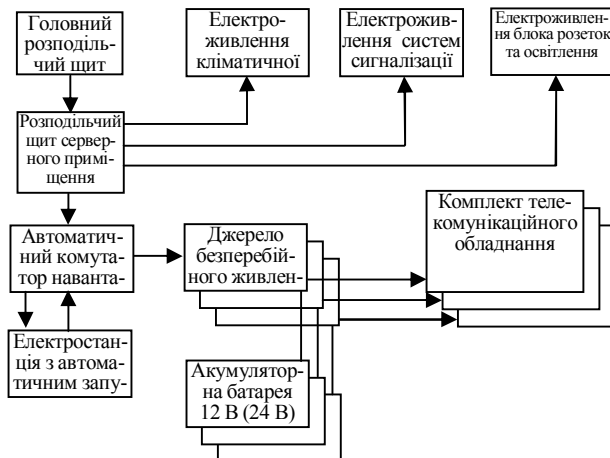


Рис. 2. Схема енергоживлення серверного приміщення

*Адміністрування інформаційної мережі.* До складу серверного приміщення окрім телекомунікаційного та монтажного обладнання повинна входити технічна документація на ядро та канали зв'язку мережі. Доступ до цієї інформації повинен бути обмежений. Документацію потрібно зберігати як в печатному, так і в електронному вигляді. Великі схеми комутації, або розварки волокон доцільно оформлювати у вигляді стендів в серверному приміщенні. До списку необхідної документації відносяться: схема комутації комутаторів мережі; логічна схема розміщення комутаторів на території військової частини з вказівкою відстаней між ними; схема маршрутизації трафіку; схема комутації ядра мережі; схема розварки волокон оптичного кабелю; географічна карта розміщення комутаторів та іншого телекомунікацій-

ного обладнання; список пула IP-адрес з вказівкою їх призначення, портів, параметрів авторизації та аутентифікації, іншої інформації; схема закладки кабелів з вказівкою маркіровки метражу. Всі схеми рекомендовано виконувати в графічному редакторі Microsoft Visio.

Окрім документації, для аварійного відновлення ядра мережі або окремих її елементів, в серверному приміщенні потрібно зберігати образи віртуальних машин ядра мережі та останні копії налаштувань всіх елементів мережі.

Для конфігурації мережі та моніторингу її роботи повинен бути призначений з посадових осіб військової частини – адміністратор мережі та обладнано його робоче місце. Персональний комп'ютер адміністратора повинен підключатися до ядра мережі та бути переносним (ноутбук).

Моніторинг мережі здійснюється за допомогою програмного забезпечення, наприклад DUDE (рис. 3), яке в реальному масштабі часу контролює працездатність елементів мережі та сповіщає про неполадки відповідним кольором на карті топології мережі, або надсилає повідомлення адміністратору мережі про місце неполадки.

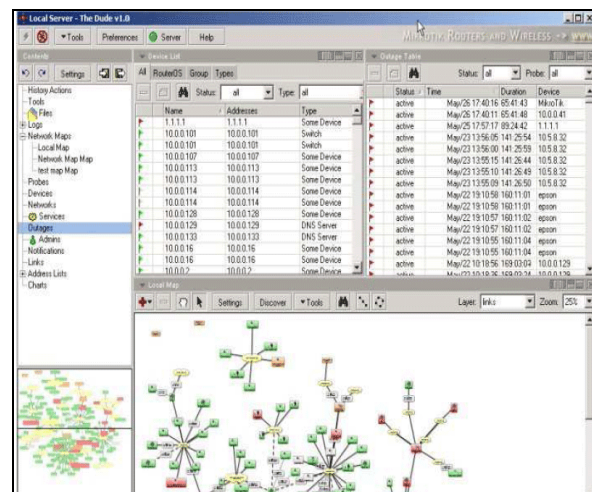


Рис. 3. Програма моніторингу мережі DUDE

На робочому місці адміністратора мережі повинна знаходитись також технічна документація на мережу, як і в серверному приміщенні. При цьому схема мережі може змінюватись, тому її стеноді виконується у вигляді модульної конструкції.

*Апаратно-програмний склад ядра інформаційної мережі вузла зв'язку.* Ядро інформаційної мережі при підключенні до одного магістрального оптоволоконного оператора зв'язку складається з 5 основних частин (рис. 4):

- вхідний медіа конвертор;
- маршрутизатор;
- комутатор рівня L3;
- серверна ферма;
- шлюзи і екстрактори [3].

У разі підключення мережі до двох магістральних операторів зв'язку потрібно встановлювати два комплекти медіа конверторів з SFP-модулями та два вхідні маршрутизатори з підтримкою протоколу VRRP.

SFP модулі здатні передавати інформацію по одному оптичному волокну на швидкостях

100 Мбіт/с, або 1 Гбіт/с або 10 Гбіт/с на відстань до 150 км. Для збільшення швидкості передачі даних застосовують технології CWDM або DWDM, які здатні передавати інформацію зі швидкістю до 320 Гбіт/с по двом оптичним волокнам на відстані до 150 км.

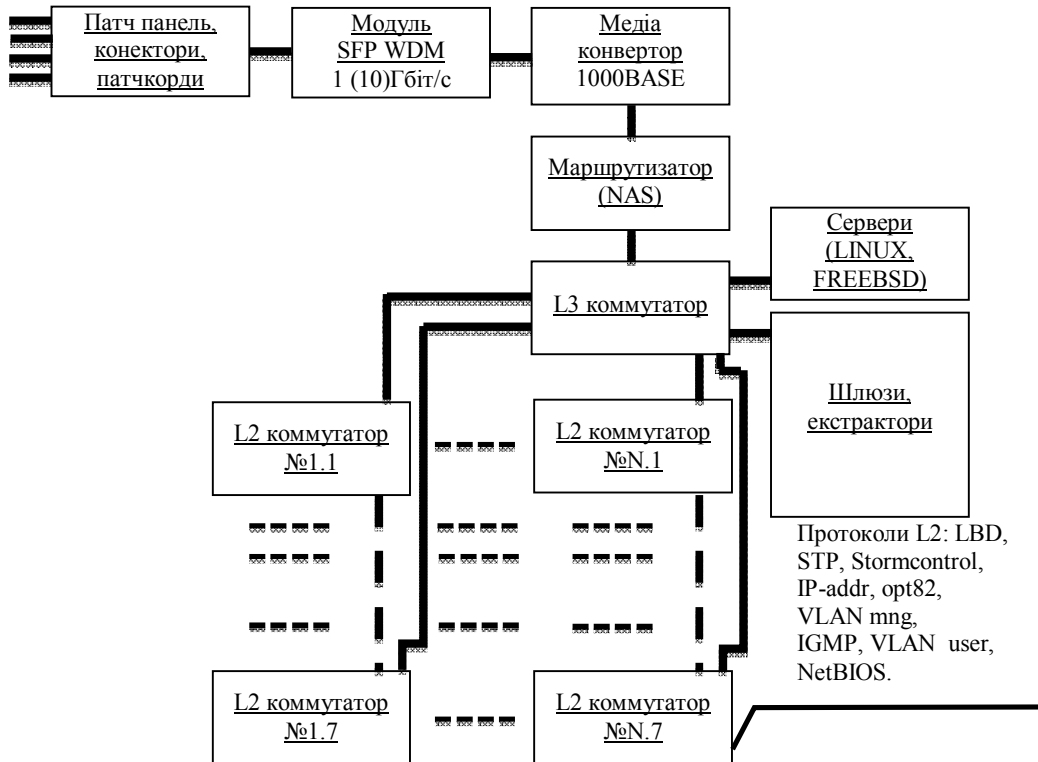


Рис. 4. Схема мережі при підключенні однієї лінії прив'язки

Центральний маршрутизатор (Network access server) може бути виконаний як на апаратній, так і на програмній платформі. Програмні маршрутизатори будуються на базі міжмережових операційних систем, таких як: QNX, Vyatta, VxWorks, RouterOS, IOS, AirOS, YunOS, OpenWRT, DDWRT.

Комутатор рівня L3 призначений для створення дизайну мережі шляхом агрегації віртуальних мереж VLAN в топологічних інформаційних кільцях, централізованого підключення мережі до маршрутизації та інших задач, які можуть бути вирішені на рівні стеку IP-протоколу (на рівні L3). В одному топологічному кільці повинно бути не більше 7 комутаторів рівня L2 з 24 портами на кожному комутаторі. Комутатори рівня L3 забезпечують високий рівень щільності гігабітних портів з SFP слотами та здатні організувати від 5 до 10 топологічних кілець (до 1680 адрес абонентів або підмереж) на обладнанні початкового рівня.

Серверна ферма – це набір серверів, які можуть виконувати різні завдання (накопичувач інформації, відеоспостереження, IP-телефонія тощо). Серверна ферма може бути побудована на одному сервері з маршрутизатором мережі через застосування віртуалізації; на різних серверах, що територіально знахо-

дяться в серверній кімнаті; на одному або на різних серверах, що територіально рознесені в локальній мережі. В кожному сервері встановлюється операційна система, вибір якої залежить від заданого рівня безпеки та програмного забезпечення, що використовується. Як правило, це FreeBSD або Linux [5, 6].

Цифрову інтегральну мережу зв'язку створюють за моделлю ISO/OSI із використанням усіх можливих мережових технологій і протоколів. Але в переважній більшості існуючий парк техніки зв'язку (від телефонів до радіолокаційних станцій), що знаходяться у військових частинах Повітряних Сил Збройних Сил України побудовані ще на аналогових технологіях передачі інформації. На окремих вузлах зв'язку встановлені цифрові автоматичні телефонні станції (АТС) та цифрові системи передачі даних з закритою архітектурою. Для їх інтеграції в локальну мережу застосовують різноманітні шлюзи та екстрактори. Так, для підключення IP-АТС до аналогових ліній телефонного зв'язку застосовуються FXO/IP шлюзи. Для підключення цифрової АТС до мережі застосовують PRI-маршрутизатор (до 8 потоків E1) разом з DSP-ресурсами.

*Канали зв'язку локальної мережі вузла зв'язку.* Для передачі цифрової інформації за протоколами TCP/IP і UDP на відстані в декілька сотень метрів по існуючим проводим лініям потрібно використовувати DSL модеми, які мають обмежену пропускну здатність. Для заміни пошкоджених проводим ліній зв'язку та побудови нових широкопasmових каналів зв'язку доцільно використовувати волоконно-оптичні лінії зв'язку, та в деяких випадках (коли укладання оптоволоконного кабелю недоцільна через фінансові, організаційні або технічні обмеження) радіорелейні лінії зв'язку.

Телекомунікаційні мережі, що побудовані на основі оптоволоконних ліній зв'язку бувають пасивними і активними. Основною ознакою такої класифікації є наявність або відсутність активного обладнання для об'єднання сегментів мережі.

Розподільна пасивна оптоволоконна мережа доступу PON заснована на деревовидній топології з пасивними оптичними розгалужувачами на вузлах. Основна ідея архітектури PON – це використання всього одного приймально-передавального модуля OLT для передачі інформації безлічі абонентних пристроїв ONT (ONU) і прийому інформації від них. Число абонентських вузлів, що підключені до одного приймально-передавального модуля OLT, може бути настільки великим, наскільки дозволяє бюджет потужності і максимальна швидкість OLT.

В активних оптичних мережах їх сегменти і хости об'єднуються через комутатори рівня L2, що керуються. Асортимент таких комутаторів досить великий, що дозволяє створювати мережі різного дизайну FTTH та значно знизити їх собівартість.

Шляхом об'єднання комутаторів другого рівня в єдину транспортну мережу і її підключення до ядра можливо створити досить надійну телекомунікаційну інфраструктуру, завдяки побудові одно та двох топологічних кілець навколо кожного комутатора із застосуванням протоколу Spanning Tree [7]. Якщо один з комутаторів виходить з ладу, то доступ до мережі втрачають лише ті хости, які були підключені до нього безпосередньо. Трафік з хостів інших комутаторів буде надходити в ядро мережі через альтернативні маршрути. Комутатори рівня L2 також виконують завдання фільтрації трафіку і контролю доступу до мережі за допомогою інструментів технології Ethernet.

Швидкість передачі даних по транспортній мережі залежить від швидкості портів та SFP модулів і збільшується шляхом агрегації потоків з різних портів.

Таким чином, активні мережі мають більше переваг у порівнянні з пасивними оптичними мережами фактично за всіма параметрами. Склад обладнання для побудови активних оптичних мереж залежить від дизайну мережі, потрібної надійності і швидкості передачі інформації.

В деяких випадках прокладання оптичних ліній зв'язку унеможливується або становиться недоцільною. В цьому випадку для організації широкопasmових каналів зв'язку застосовують радіолінії. Швидкості передачі інформації одного порядку, як в оптичних мережах (1 Гбіт/с), можливо досягти лише із застосуванням радіорелейних станцій неліцензійного E-діапазону. Але дальність дії таких радіоліній суттєво залежить від кліматичних умов і складає одиниці кілометрів. Застосування радіорелейних станцій операторського класу здійснюється на дозвільній основі.

Оптимальним рішенням за критерієм ціна/якість в цьому випадку є застосування обладнання стандарту IEEE 802.11 з пропріетарними протоколами. Для ефективної роботи радіолінії стандарту IEEE 802.11 необхідно забезпечити просторово-частотну селекцію перешкод та безперешкодну зону прямої видимості між фазовими центрами антен. При застосуванні ортогональних поляризацій і агрегації трафіку можливо фактично отримати швидкість передачі даних по радіоканалу порядку 100 Мбіт/с на відстані близько 20 км при дуплексному обміні трафіком по TCP протоколу.

Для нормальної роботи радіорелейної лінії (радіолінії стандарту IEEE 802.11) потрібно в першу чергу виконати проектування радіолінії, виходячи з рельєфу траси та існуючої інфраструктури, що може створювати радіоперешкоди. Для полегшення проектування радіолінії застосовують різні програми моделювання радіоліній. Рекомендується використовувати пакет моделювання RadioMobile, який використовує трьохвимірні карти Землі SRTM з урахуванням водоймищ і лісонасаджень.

Якщо через рельєф місцевості або радіоперешкоди радіолінію між двома об'єктами створити неможливо, то необхідно обрати іншу радіотрасу із встановленням за необхідності активного ретранслятора.

Для безперебійної роботи радіолінії стандарту IEEE 802.11 потрібно забезпечити співвідношення сигнал/шум не менше 20 дБ. Це можливо здійснити лише завдяки застосуванню спрямованих (переважно параболічних) антен. Так, з міркувань зниження парусності апертури антени пропонується використовувати сегментно-параболічну двох поляризаційну антену.

*Вимірювальні прилади та інструменти.* Як відомо, популярність застосування волоконно-оптичних технологій при побудові телекомунікаційних мереж пов'язана з їх високою пропускну здатністю. Надійність волоконно-оптичної лінії в значній мірі залежить від операцій прокладання і монтажу кабелю. Про це свідчить вартість будівельно-монтажних робіт, яка значно переважає над вартістю самого кабелю. У зв'язку з цим стає все більш

актуальним питання вибору недорогих і якісних технологій зрощування оптичних волокон і самого оптичного кабелю. З'єднання волокон, як правило, проводиться або за допомогою механічних з'єднувачів, або електродуговим зварюванням. Перший спосіб частіше використовується для тимчасового відновлення ліній або там, де потрібно зробити декілька з'єднань. При цьому у порівнянні зі зварюванням виникають явно великі втрати в з'єднанні і втрати на відбиття, а з'єднання волокон різних типів може взагалі перетворитися на велику проблему. Якщо будуватися повноцінна мережа, то витрати на монтаж волокон при будівництві та подальшої експлуатації будуть нижче саме при використанні обладнання для зварювання [8].

Безпосередньо процес зварювання волокон здійснюється зварювальним апаратом. Дуже велику роль при зварюванні відіграє скол торцевої поверхні оптичного волокна. У зв'язку з впливом відколу волокна на якість зварного з'єднання, важливо для цих цілей застосувати якісні прецизійні сколювачі.

Для зачистки оптичного кабелю також потрібен спеціальний інструмент: стріпер для зачистки кабелю, стріпер для зачистки оптичних волокон. Також потрібні салфетки безворсові, спирт поліпропіленовий, стяжки, термоусадки оптичні та інший інструмент.

Перелічені інструменти та вимірювальні прилади: багатохвильові рефлектометри, вимірювачі потужності тощо необхідно включити до штату ремонтних органів підрозділів зв'язку бригад Повітряних Сил, повітряних командувань та інформаційно-телекомунікаційних вузлів (окремих полків зв'язку). Монтажні роботи з прокладання волоконно-оптичного кабелю та обладнання серверного приміщення проводити силами підрозділів зв'язку військових частин. На ремонтні органи підрозділів зв'язку доцільно покласти завдання з монтажу, настрійки та ремонту телекомунікаційного обладнання, розварки та діагностики волоконно-оптичних ліній зв'язку.

## Висновки

Основою побудови сучасних ліній прив'язки є використання волоконно-оптичних ліній зв'язку. Вибір оптимального складу телекомунікаційного обладнання для створення локальних мереж і їх прив'язки до магістральних операторів телекомунікацій залежить від інформаційних потреб, економічних і технологічних можливостей. Використання телекомунікаційного обладнання з відкритою архітектурою дозволяє створювати гібридну локальну мережу зв'язку. До штату ремонтних органів підрозділів зв'язку Повітряних Сил необхідно включити інструменти та вимірювальні прилади монтажу волоконно-оптичних ліній зв'язку.

## Список літератури

1. Бондаренко Л.О. *Перспективи розвитку системи зв'язку і автоматизації Збройних Сил* / Л.О. Бондаренко, П.П. Кисиленко, С.П. Срібний // Зб. мат.-лів VI наук.-пр. семінару "Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення". – К.: ВІТІ НТУУ "КПІ", 2011. – С. 13-18.
2. Плуговий Ю.А. *Перспектива розвитку системи зв'язку та автоматизації ЗС України* / Ю.А. Плуговий // Зб. мат. VI НПС "Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення". – К.: ВІТІ НТУУ "КПІ", 2011. – С. 40-41.
3. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.sterling.zp.ua>.
4. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: *Prosis J. Guide to TCP/IP for beginners // PC Magazine. - 1996. -№11. -P.223-226.*
5. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.freebsd.org>.
6. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Linux>.
7. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://ru.wikipedia.org/wiki/STP>.
8. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://deps.ua>.

Надійшла до редколегії 25.07.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.В. Лемешко, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

### ОПТИМАЛЬНЫЙ СОСТАВ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЛИНИЯХ ПРИВЯЗКИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ВОЗДУШНЫХ СИЛ

Д.А. Гриб, С.А. Макаров, Р.В. Воробйов

*Территориальное разнесение элементов системы связи Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины требует их интеграции в единую информационную сеть через магистральные линии связи. Выбор оптимального состава телекоммуникационного оборудования на линиях привязки к магистральным операторам телекоммуникаций является актуальной научно-практической задачей.*

**Ключевые слова:** телекоммуникации, линии привязки, магистральные операторы, система связи, сеть.

### THE OPTIMAL TELECOMMUNICATION CONFIGURATION ON CONNECTION LINES OF AIR FORCE COMMUNICATION SYSTEM

D.A. Gryb, S.A. Makarov, R.V. Vorobyov

*The elements geographical distribution of the Ukrainian Air Force communication systems requires their integration into a united information network via communication lines. The selection of the optimal telecommunication configuration on connection lines to fiber-optics telecommunication operators is an urgent theoretical and practical problem.*

**Keywords:** telecommunications, connection lines, fiber-optics communication operators, communication system, network.