

АРХІТЕКТУРА ПЕРСПЕКТИВНОЇ МОБІЛЬНОЇ КОМПОНЕНТИ ТАКТИЧНИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

В умовах високої ймовірності локальних (регіональних) збройних конфліктів розвинені країни світу приділяють особливу увагу вдосконаленню систем зв'язку тактичної ланки управління [1].

Відомо, що сучасні принципи організації зв'язку і технічне оснащення підрозділів зв'язку ЗСУ не дозволяють цілком задовольнити потреби управління військами в умовах сучасного бою. Основними недоліками існуючої системи зв'язку тактичної ланки управління є: низька мобільність вузлів зв'язку пунктів управління; не виконання вимог продуктивності, надійності, розвідзахищеності, забезпечення радіозв'язку між мобільними абонентами; не виконання ймовірно-часових характеристик інформаційного обміну; низька автоматизація процесів встановлення, ведення та підтримки радіозв'язку; моральна та фізична застарілість засобів радіозв'язку тощо. Тобто розробка нових підходів по створенню системи зв'язку тактичного рівня, яка відповідає вимогам сьогодення, є актуальною науковою проблемою. Тому в статті пропонується нова архітектура мобільної компоненти мереж зв'язку ЗСУ, яка враховує: досвід розвитку тактичних систем зв'язку США; сучасні вимоги процесу управління військами та відповідні вимоги до систем зв'язку тактичного рівня; сучасний рівень розвитку безпроводних телекомунікаційних технологій цивільного призначення.

Так, в останній час, в США ведуться інтенсивні розробки по створенню єдиної багатофункціональної інформаційно-управляючої системи, яка інтегрує функції управління військами, зброєю, розвідкою, радіоелектронною боротьбою, а також зв'язку, навігації, орієнтування й впізнання – C⁴ISR (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance & Reconnaissance) [2]. З 1999 року введено термін мережецентрична (network-centric) концепція ведення бойових дій, яка визначила масштабне застосування комп'ютерів, високошвидкісних каналів та мережевого програмного забезпечення на полі бою. Її реалізація передбачена програмою створення інформаційної мережі поля бою (WIN-T – Warfighter Information Network Tactical), що передбачає реорганізацію дивізій у «комп'ютеризованні». Метою реорганізації є зменшення бойового і чисельного складу дивізії з одночасним зростанням її бойової ефективності за рахунок підвищення мобільності, досягнення абсолютної переваги в інформаційному забезпеченні і розвідувальних можливостях.

Можна підкреслити основні особливості сучасного бою: розгортання на широкому фронті та великій глибині бойових порядків, швидкоплинність, висока маневреність, застосування високоточної зброї, глобальна система розвідки, нові способи ведення бойових дій, глибокі маневрені рейди й ін.

Основними особливостями процесу управління військами, бойовими системами і озброєнням є:

- значна інформаційна потреба органів управління;
- підвищена мобільність підрозділів і частин;
- висока динаміка переміщень угруповань військ у цілому;
- розосереджене розгортання військ на територіях, розділених силами супротивника;
- інтеграція систем зв'язку, навігації, розвідки й автоматизації й ін.;
- єдиний інформаційний простір для всіх його учасників;
- орієнтація на безпосередніх учасників бойових дій (автоматизація рівнів батальйон – рота – взвод – окремих солдат);
- децентралізація процесів управління ресурсами мережі.

В даний час швидкий ріст технологій в галузі телекомунікацій привів, з одного боку, до випереджувального розвитку комерційних мереж, з іншого боку – необхідність скорочення бюджетних асигнувань на оборону вимагає впровадження цивільних технологій у військову область. Однак аналіз існуючих стандартів (IS-54, IS-41, IS-95A) і протоколів (IPv.4, GSM MPT 1327, TETRA тощо) стільникового та транкінгового зв'язку, безпроводних локальних показує, що їхнє безпосереднє застосування в тактичних системах військового зв'язку неможливе. Головна же відмінність мереж тактичного рівня – ненадійність, тимчасовість каналів, низька їх живучість; в той же час технології, протоколи, якість обслуговування (QoS) Інтернет розраховані на передбачувану інфраструктуру на фізичному рівні. Комерційні протоколи оптимізовані до стаціонарної інфраструктури (базові станції стаціонарні) і не можуть виконувати функції адресації, маршрутизації, передачі обслуговування з однієї зони в іншу в мережах з динамічною топологією. Вони реалізують централизовані алгоритми управління і, крім цього, вносять значне службове навантаження на мережу (табл. 1).

Тому в перспективних тактичних мережах необхідно використовувати комерційні стандарти та проводити наукові розробки з урахуванням унікальних характеристик військової інфраструктури.

До особливостей сучасних тактичних мереж зв'язку можна віднести:

- динамічну топологію (вузли мережі мобільні, піддаються знищенню та відмовам; канали радіозв'язку нестабільні, мають обмежені дальність зв'язку й пропускну здатність через вплив радіоелектронної протидії супротивника, взаємних перешкод, умов поширення радіохвиль тощо);
- обмежені потужність і час передачі абонентів, оснащених радіотерміналами з акумуляторними батареями;
- значна розмірність мереж (сотні або тисячі елементів);
- неоднорідність елементів мережі: за мобільністю (танк, солдат, вертоліт, літак), за рівнем продуктивності (мобільна базова станція, мобільний абонент).

В той же час основними технічними вимогами для наступного покоління систем зв'язку є:

- інтеграція всіх видів трафіка (мова, дані, відео, відеоконференція);
- повна мобільність всіх абонентів і елементів мережі;

– забезпечення заданої якості обслуговування користувачів (QoS) на значних географічних територіях в умовах застосування як звичайної, так і ядерної, біологічної та хімічної зброї;

– гарантована засекреченість усіх видів інформації;

– мінімальна участь людини в питаннях планування й ведення зв'язку.

Проведений аналіз можливих варіантів побудови архітектури мереж тактичної ланки продемонстрував переваги застосування мобільних радіомереж (MANET – Mobile Ad-hoc Networks) в порівнянні зі стільниковими чи транкінговими мережами – табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика	Стільникові мережі	Транкінгові мережі	Мобільні радіомережі
Архітектура	Фіксована стільникова: фіксовані зони обслуговування, стаціонарні базові станції		Відсутність фіксованої інфраструктури, кожен вузол являє собою ретранслятор (маршрутизатор) повідомлень
	Використання стаціонарної мережі загального користування	Використання фіксованої мережі для з'єднання базових станцій	
Тип топології	Статична (базові станції статичні)		Випадкова, високо динамічна, адаптація топології до умов функціонування
Час розгортання	Дуже великий	Значний	Швидке розгортання, самоорганізація мережі, легке нарощування
	Необхідний етап проектування (планування) мережі	Необхідний етап планування мережі	
Тип управління	Централізований, наявність окремої (виділеної) мережі управління		Децентралізований, не має виділеної мережі управління
Мобільність	Мобільні тільки абоненти в межах зон покриття стаціонарними базовими станціями		Мобільні всі елементи мережі
Живучість	Дуже низька		Дуже висока
Розвіз захищеність	Низька		Висока
Швидкість перед.	Мала – GPRS (од.-дес. Кб/с)		Висока, 1...54 Мб/с
Сфера застосування	Тилові підрозділи, антитерористичні операції		Поле бою, надзвичайні ситуації

Мобільні радіомережі (MANET) – динамічна архітектура побудови мереж, яка самоорганізується та не містить базових станцій і фіксованих маршрутів передачі інформації [3]. Під вузлом мережі розуміється термінал (переносний комп'ютер, персональний секретар, сенсорний пристрій, робот й ін., оснащені радіомодемом), який виконує функції хоста та маршрутизатора. У даних мережах топологія випадкова, всі її елементи можуть бути мобільними, принцип організації передачі інформації – комутація повідомлень (пакетів), тип управління децентралізований.

Вже зараз можна навести приклади використання безпроводних локальних та міських мереж цивільного призначення, які ґрунтуються на використанні протоколів IEEE 802.11, Bluetooth тощо [3]. Подальший розвиток безпроводних технологій передбачає введення мережі MANET, як складової мереж зв'язку четвертого покоління 4G – так звані стільниково/мобільні (гібридні) мережі.

Основні характеристики існуючих протоколів каналного рівня бездротових мереж наведені в табл. 2. Переваги має протокол IEEE 802.11, який після певної модифікації може бути застосований в тактичних радіомережах.

Тобто вже існують певні комерційні технології каналного рівня, які можуть являти собою основу для створення мобільної компоненти тактичних мереж зв'язку ЗСУ.

Таблиця 2

Основні характеристики	Протокол каналного рівня			
	IEEE 802.11 a/b/g	HomeRF	HiperLAN 2	Bluetooth
Частота (ГГц)	2.4 / 5.1	2.4	5.1	2.4
Відстань (м)	До 500 / до 100	До 50	До 250	10...100
Швидкість передачі в каналі Мб/с	1 / 2 / 11 / 54	11	54	0.7...1
Метод доступу до каналу	DFWMAC (CSMA/CA)	TDMA / TDD	Polling / TDD	
Тип управління, організація мережі	Децентралізоване, всі вузли одного рівня	Зонове (кластеризація мережі), централізоване управління ресурсами (Master/Slave) в кожній пікомережі		
Мобільність вузлів	Легко реалізується на мережевому рівні	Ускладнена, викликає необхідність перебудови зон мережі		
Пропускна спроможність мережі	Обмежена взаємними завадами	Визначається конфігурацією мережі, час реконфігурації мережі – значний		
Можливість хвильової передачі	Так	Ускладнена		

Мобільна компонента покликана забезпечити інформаційний обмін в інтересах усіх військ, що діють в тактичній зоні незалежно від їхнього підпорядкування і задач, які вони виконують. Передбачається, її архітектура буде неоднорідною, ієрархічною, яка складається з трьох основних рівнів (рис. 1): 1-й – мобільні радіомережі низової ланки управління; 2-й – мережі мобільних базових станцій (МБС), що утворять опорну мережу; 3-й – повітряна мережа, яка може бути реалізована на безпілотних літальних апаратах [1]. Додатковий нульовий рівень можуть утворювати сенсорні мережі. Створення кожного рівня передбачає поліпшення показників якості всієї системи зв'язку. Кожен рівень мобільної компоненти використовує свій піддіапазон частот.



Рис. 1. Перспективна архітектура мобільної компоненти

Основні характеристики складових мобільної компоненти наведені в таблиці 3. Перший рівень (рис. 2) являє собою сукупність мобільних радіомереж

низової ланки управління. Мобільні абоненти (солдат, танк, вертоліт) оснащені радіотерміналами (переносними комп'ютерами із прийомопередавачами), які реалізують функції маршрутизації. Абоненти здійснюють інформаційний обмін безпосередньо між собою або використовують ретрансляцію переданих повідомлень. В якості ретранслятора може виступати будь-який мобільний абонент або мобільна базова станція (МБС) – елемент другого рівня ієрархії, що перебуває з ним в межах радіозв'язності.

Таблиця 3

Основні характеристики	Мобільні радіомережі 1-й рівень	Мережа МБС – 2-й рівень	Сенсорні мережі – 0-й рівень	Мережа на літальних апаратах
Розмірність	Сотні-тисячі	Десятки	Сотні-тисячі	Десятки
Принцип організації та побудови	Самоорганізація мережі, комутація пакетів, кожен вузол – маршрутизатор інформаційних повідомлень			
Мобільність	Висока	Низька	Низька	Дуже висока
Тип та спосіб управління	Розподілений, технологічний	Зоновий, організаційно-технологічний	Розподілений, (ієрархічний) технологічний	Зоновий, організаційно-технологічний
Способи розподілу радіоресурсу	Випадковий	Детермінований, гібридний	Випадковий	Детермінований
Потужність передавача терміналу; відстань зв'язку та швидкість передачі (залежать від частоти, потужності передавача, типу антени тощо)	Солдат – Од. Вт, до 1 км; транспортний засіб – 20 Вт, декілька км; 0.01 – 1 Мб/с	Десятки Вт; до 10 км; між МБС > 20 Мб/с (радіоканал), між МБС > 100 Мб/с (оптичний канал); між МБС-МА – 0.01-1 Мб/с; між МБС-БЛА > 20 Мб/с	Визначається типом сенсорів; (для наземних – мВт, сотні метрів > 0.01 Мб/с)	Десятки Вт; десятки км; > 20 Мб/с

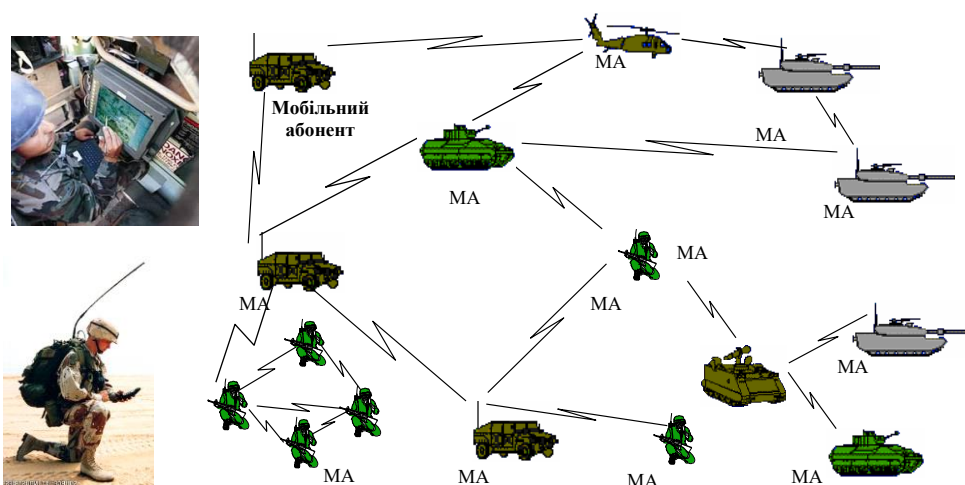


Рис. 2. Мобільні радіомережі низового рівня

Переваги мобільних радіомереж очевидні: відсутність етапу планування (можливість самоорганізації), швидке розгортання, децентралізоване управління (висока живучість), робота в русі всіх елементів мережі тощо (табл. 4).

Визначено вимоги до перспективних радіозасобів:

- висока пропускна здатність радіоканалу (> 200 Кб/с);
- багатодіапазонність і багатofункціональність (FDMA/TDMA/CDMA);

- здатність програмування всіх видів і режимів роботи;
- самоорганізація мережі (режим “включив та працюй” – Plug-and-Play);
- інтелектуальність, децентралізованість й оптимізація функцій управління мережевими ресурсами (маршрутизація, навантаження, топологія, радіо-ресурс, безпека й т.д.) [4];
- робота з різними видами трафіка (мова, дані, відео);
- наявність системи позиціонування, спрямованих антен, робота в русі;
- модульність виконання, відкрита архітектура;
- низьке енергоспоживання.

Таблиця 4

Переваги (недоліки)	За рахунок чого досягнуто
(+) Висока живучість, мобільність всіх елементів мережі	Управління мережею – децентралізоване, здатність до самоорганізації. Кожний вузол – маршрутизатор, адаптація до умов функціонування
(+) Висока швидкість передачі в радіоканалі – потенційно 1...54 Мб/с	Зсув діапазону частот (сотні МГц, од. ГГц). Напрямки вдосконалення: адаптація протоколу IEEE 802.11 до тактичних вимог (QoS, пріоритети тощо), оптимізація використання радіоресурсу, спрямовані антени (інтелектуальні фазові решітки), застосування технології MIMO (Multiple Input Multiple Output)
(+) Висока продуктивність мережі	Застосування нових ефективних методів управління мережею (методів: маршрутизації, управління топологією, управлінням енергоресурсом тощо), введення додаткових мережових рівнів (мобільних базових станцій, безпілотних літальних апаратів, супутників)
(-) Незначна відстань зв'язку	Зв'язок в умовах прямої видимості – дальність зв'язку залежить від частоти, потужності, типу антени тощо
(+) Передача різних видів трафіку	Застосування нових протоколів канального та мережового рівнів (протоколів підтримки заданої якості обслуговування – QoS)
(+) Маршрутизація	Застосування нових ефективних методів маршрутизації
(+) Висока безпека	Застосування гібридних систем захисту (симетричних та асиметричних), створення розподілених трастових центрів, систем виявлення вторгнень
(+) Висока завадозахищеність	Використання широкосмугових сигналів (метод частотних стрибків – FHSS, метод прямої послідовності – DSSS), в перспективі застосування гібридних схем розподілу ресурсів (FDMA/TDMA/CDMA)

В той же час існують вагомі труднощі створення мобільних радіомереж – необхідність рішення значної кількості наукових проблем (маршрутизація, розподіл радіоресурсів, управління потужністю, управління топологією, децентралізоване управління, безпека, управління продуктивністю, забезпечення заданої якості передачі інформації тощо) при обмеженнях ресурсу радіотерміналу (за ємністю пам'яті, продуктивністю процесора, ємністю батареї). Пропозиції щодо частини їх рішення можуть бути знайдені в роботах [4 – 9].

Другий рівень мобільної компоненти (рис. 3) утворює мережа мобільних базових станцій (наземна магістральна мережа). Вона призначена для поліпшення якості зв'язку, а насамперед, підвищення продуктивності мобільної компоненти та надання заданої якості обслуговування абонентів (QoS). Кожна

мобільна базова станція є вузол (шлюз) комутації, який за допомогою наявних засобів передачі:

1. Створює саму мережу МБС за принципами мобільної радіомережі (а не за принципами стільникової чи транкінгової мережі!) з використанням спрямованих антен. Для функціонування мережі МБС в режимі MANET необхідно вирішувати задачі динамічного формування (переформування) топології мережі, маршрутизації, розподілу радіоресурсів (найбільш доцільніше використовувати детерміновані методи розподілу радіоресурсів) тощо. Також для збільшення продуктивності та розвідзахищеності мережі МБС доцільно використання засобів оптичного діапазону – лазерних систем передачі.

2. Забезпечує доступ мобільних абонентів до використання ресурсів мереж мобільних базових станцій та безпілотних летальних апаратів (БЛА).

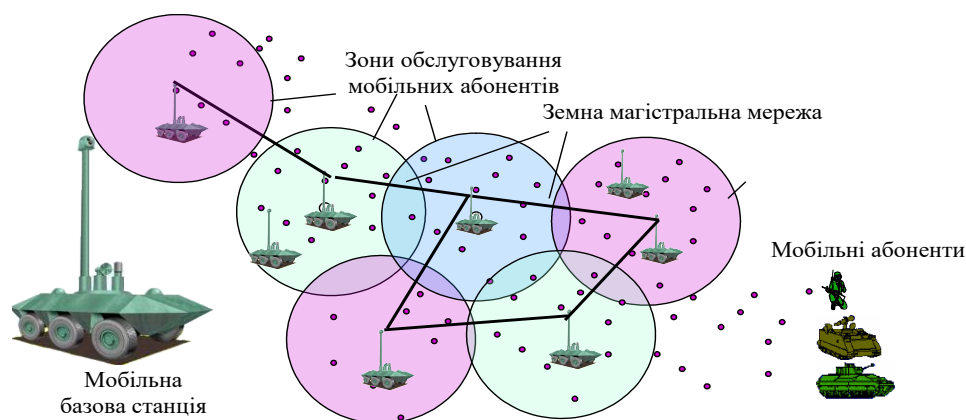


Рис. 3. Мережа мобільних базових станцій (мобільна радіомережа 2-го рівня)

Додатковою складовою мобільної компоненти можуть служити сенсорні мережі (0-рівень), що забезпечують прийом і передачу розвідувальної інформації про супротивника та видачу її органам управління військами та зброєю. Сенсорні пристрої являють собою інтегровану платформу, яка поєднує можливості сенсорів (зовнішніх датчиків, що реєструють сукупність параметрів – акустичних, вібраційних, радіаційних, хімічних, біологічних тощо) з мікрокомп'ютерами, які з'єднані у бездротову мережу. Принцип побудови: децентралізоване управління (для сенсорних мереж значної розмірності – ієрархічне). Класифікація сенсорних мереж приведена на рис. 4.

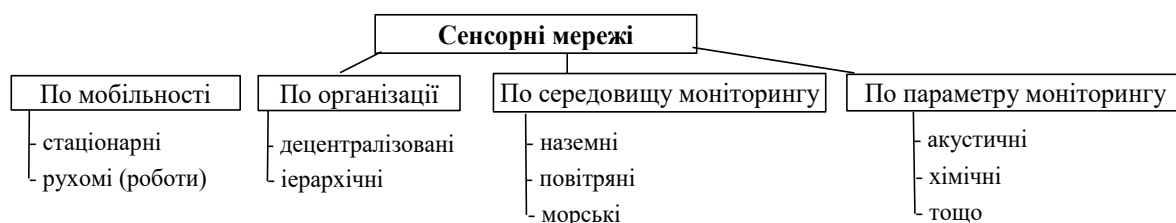


Рис. 4. Класифікація сенсорних мереж

На рис. 5 наведений приклад функціонування наземних стаціонарних сенсорних мереж: виявлення сенсорами руху танку супротивника, передача координатної інформації (по сенсорній та інших мережах) засобам враження (наприклад, бойовому вертоліту) та знищення танка.

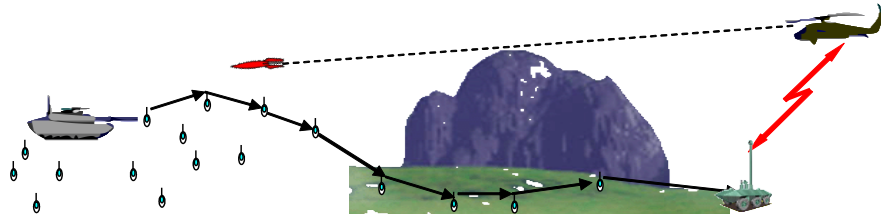


Рис. 5. Застосування наземної стаціонарної сенсорної мережі

Для зв'язку між географічно розділеними угрупованнями військ (зонами мережі) або підвищення надійності зв'язку між МБС та продуктивності мобільної компоненти створюється верхній рівень – повітряна магістральна мережа, яка може бути реалізована на безпілотних літальних апаратах (літак, дирижабль) – рис. 6. Пропозиції, щодо створення мережі БЛА в інтересах всієї України можуть бути знайдені в [10].

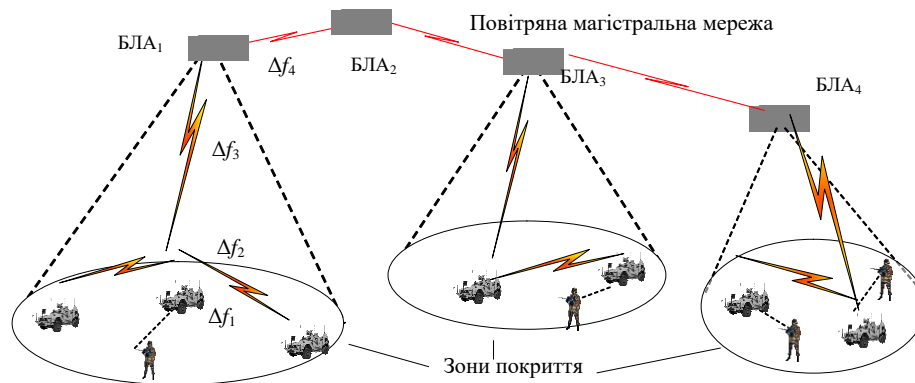


Рис. 6. Мережа на БЛА

Кожен БЛА оснащений двома типами радіозасобів з використанням спрямованих антен: 1-й – для зв'язку з МБС або виділеними абонентами; 2-й – для обміну інформацією із сусіднім БЛА. БЛА об'єднані у мережу повітряних вузлів комутації повідомлень (пакетів) з реалізацією функцій маршрутизації [5]: збір (розсилання) маршрутної інформації, її зберігання, обчислення маршрутів, передача пакетів за маршрутами двох типів. Перший тип маршрута обумовлює ретрансляцію трафіка в межах своєї зони. Другий тип – між різними ($m-n$) зонами: абонент_{*i*}-МБС_{*m*}-БЛА_{*m*}-...-БЛА_{*n*}-МБС_{*n*}-абонент_{*m*}. Переваги застосування мережі БЛА полягають у наступному:

1. Забезпечується зв'язність між географічно розділеними угрупованнями військ (зонами мобільного компонента).
2. Підвищується надійність зв'язку між МБС у межах однієї зони за рахунок появи альтернативних незалежних маршрутів передачі.
3. Підвищується продуктивність мережі за рахунок: використання радіоканалів між БЛА з більшою пропускнуою здатністю в порівнянні з радіоканалом МБС-МБС, ефективність керування мобільним компонентом (зменшується обсяг переданої службової інформації й зменшується час її збору [5]), скорочення в кілька разів довжин маршрутів передачі інформації й т.д.
4. Забезпечується задана якість обслуговування абонентів (QoS) за рахунок застосування детермінованих протоколів множинного доступу [6].

5. Забезпечується дистанційний збір розвідувальної інформації або її знімання з датчиків сенсорних мереж.

Висновки

1. Система зв'язку тактичної ланки розвивається в напрямку застосування відкритої архітектури, впровадження новітніх телекомунікаційних технологій, які застосовуються у комерційних системах зв'язку. Існуючі цивільні технології (фізичного та каналного рівнів) безпроводних мереж зв'язку являють собою основу для створення мобільних радіомереж тактичного рівня.

2. Запропонована нова архітектура мобільної компоненти систем військового зв'язку – 3-х рівнева ієрархія неоднорідних мобільних радіомереж (мобільних абонентів – мобільних базових станцій – безпілотних літальних апаратів). Реалізація кожного її рівня дозволить значно покращити якості системи зв'язку та характеристики інформаційного обміну. Однак поки що вимагає вирішення низки проблем наукового (розробки інтелектуальної децентралізованої системи управління тощо) та технологічного плану (побудова програмуємих багатофункціональних багатодіапазонних радіозасобів).

3. Застосування запропонованої архітектури мобільної компоненті призведе до появи принципово нової тактики ведення бойових дій, змінить форми та способи управління військами, а також дозволить значно збільшити бойову ефективність військ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Романюк В.А. Напрямки розвитку тактичних систем зв'язку // II Науково-технічна конференція ВІТІ. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2004. – С. 23 – 33.

2. Міночкін А. І., Романюк В.А. Стан і напрямки розвитку системи зв'язку тактичного рівня сухопутних військ збройних сил США // Труды Академії № 27. – К.: НАОУ. – 2000. – С. 112 – 118.

3. Романюк В.А. Мобильные радиосети – перспективы беспроводных технологий // Сети и телекоммуникации. – 2003. – № 12. – С. 62 – 68.

4. Міночкін А.І., Романюк В.А., Скрипник Л.В. Управління мобільними радіомережами військового призначення – проблеми та шляхи рішення // Збірник наукових праць № 4. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2003. – С. 78 – 91.

5. Романюк В.А. Методы и алгоритмы маршрутизации информационных потоков в автоматизированных сетях радиосвязи с динамической топологией // Диссертация на соискание доктора технических наук. – 2003. – 353 с.

6. Миночкин А.И., Романюк В.А. Методы множественного доступа в мобильных радиосетях // Зв'язок. – 2004. – № 2.

7. Миночкин А.И., Романюк В.А. Управление топологией мобильной радиосети // Зв'язок. – 2003. – № 2. – С. 28 – 33.

8. Миночкин А.И., Романюк В.А. Управление ресурсом мощности в мобильных радиосетях // Зв'язок. – 2004. – № 8. – С. 36 – 40.

9. Kong J., Luo H., Xu K., Gu D.-L., Gerla M. Adaptive Security for Multi-layer Ad-hoc Networks // Wireless Communications and Mobile Computing, 2002.

10. Ілюшко В.М., Нарытник Т.Н. Система передачі даних на базі висотного безпілотного летального апарата (СПД Фаэтон) // Зв'язок. – 2004. – № 7. – С. 38 – 39.