

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МОБІЛЬНІ РАДІОМЕРЕЖІ

Існуючі та можливі загрози національній безпеці держави обумовлюють появу нових концепцій її забезпечення. Забезпечення військової безпеки передбачає готовність збройних сил (ЗС) держави до майбутніх війн чи збройних конфліктів. На сьогоднішній день в ЗС розвинених у військовому відношенні держав світу проводяться глибокі якісні перетворення, обумовлені бурхливим науково-технічним прогресом та інформаційною революцією [1 – 3].

Значна робота експертів та дослідників військового відомства США привела до появи великої кількості нових військових концепцій та теорій, спрямованих на підвищення ефективності дій американських ЗС. Однією з таких теорій стала концепція „мережецентричної війни” (*Network-Centric Warfare, NCW*), яка з'явилася в США в кінці 90-х років. До сьогоднішнього дня ця концепція не тільки завоювала своїх чисельних прихильників, але й була прийнята за основу діючих програм розвитку та удосконалення ЗС багатьох країн світу [3 – 6].

Наприклад, в Австралії здійснюється розробка та тестування перспективних засобів зв'язку та передачі даних, які повинні дозволити одному оператору здійснювати управління угрупованням робототехнічних засобів, призначених для вирішення розвідувальних задач. У Франції такі заходи реалізуються в рамках концепції під назвою „Інформаційно-центрична війна” (*Guerre Infocentre*), яка в більшій мірі акцентує увагу на інформаційних потоках, а не на самих мережах, як у ЗС США. Німеччина також працює над створенням перспективної системи оснащення та озброєння особового складу (*Infanterist der Zukunft*). Проводиться розробка перспективних засобів розвідки, персональних комп'ютерних систем, військових систем управління типу „тактичний інтернет” та ін. У Великобританії формується власна глобальна інформаційна структура, яка являє собою єдину інформаційно-управляючу мережу зі спеціалізованими системами забезпечення безпеки і яку планується використовувати для організації доступу до інформаційних ресурсів ЗС союзників (США, Канади та ін.) [4].

Засновники концепції „мережецентричної війни” представили її не як новий тип війни, а як новий підхід до організації та ведення бойових дій, шляхом створення єдиного інформаційно-комунікаційного простору на всьому театрі бойових дій. Модель „мережецентричної війни” представляється у вигляді розгалуженої мережі добре інформованих, але географічно рознесених сил (рис. 1).

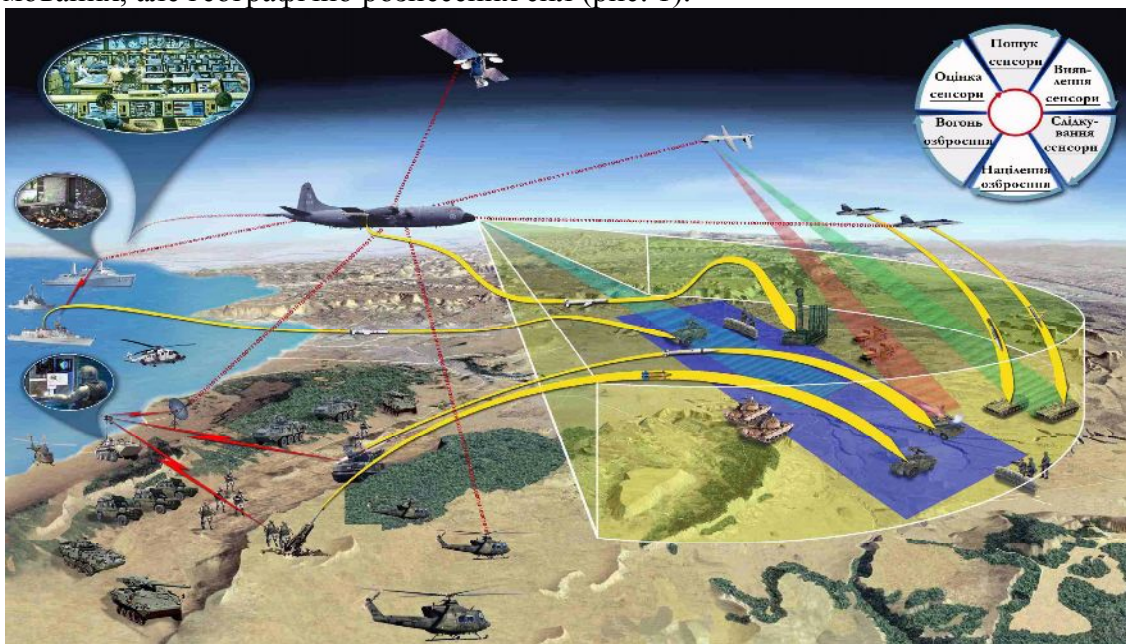


Рис. 1. Мережецентрична концепція ведення бойових дій

Головними компонентами цих сил є: високоефективна „інформаційна площа”, призначена для отримання всієї необхідної інформації, в тому числі від мережі сенсорів (засобів розвідки); високоточна зброя; високоефективна система управління та командування; надійна інформаційно-комунікаційна мережа для зв’язку джерел інформації (розвідки), органів управління та засобів ураження, що забезпечить доведення до учасників військових операцій достовірної та повної інформації про обстановку в режимі реального часу.

В цілому, зміст „мережі” чи „мережевого принципу” полягає в тому, що головним елементом всієї моделі управління військами є „обмін інформацією” – максимальне розширення форм і способів отримання цієї інформації, доступу до неї та її розподіл. Тому, враховуючи досягнення в області побудови тактичних систем зв’язку розвинених у військовому відношенні країн світу, в програмі розвитку військ зв’язку ЗС України до 2015 року передбачене створення багаторівневої мобільної компоненти (МК) мереж зв’язку військового призначення [7]. Інтенсивний розвиток інформаційних та телекомунікаційних технологій дозволив запропонувати у якості основи перспективної МК використання мобільних радіомереж (МР) – мереж радіозв’язку загального користування, що будуються за технологією MANET (*Mobile Ad-Hoc Networks*) [8, 9].

На рис. 2. зображено ієрархічну архітектуру перспективної МК, яка складається з мобільних радіомереж 4-х рівнів: 0-й – сенсорні мережі; 1-й – мобільні радіомережі низової ланки управління; 2-й – мережі мобільних базових станцій (МБС), що утворюють опорну мережу; 3-й – повітряна мережа, яка може бути реалізована на безпілотних літальних апаратах (БЛА). В якості перспективного запропоновано введення 4-го рівня на базі систем супутникового зв’язку.

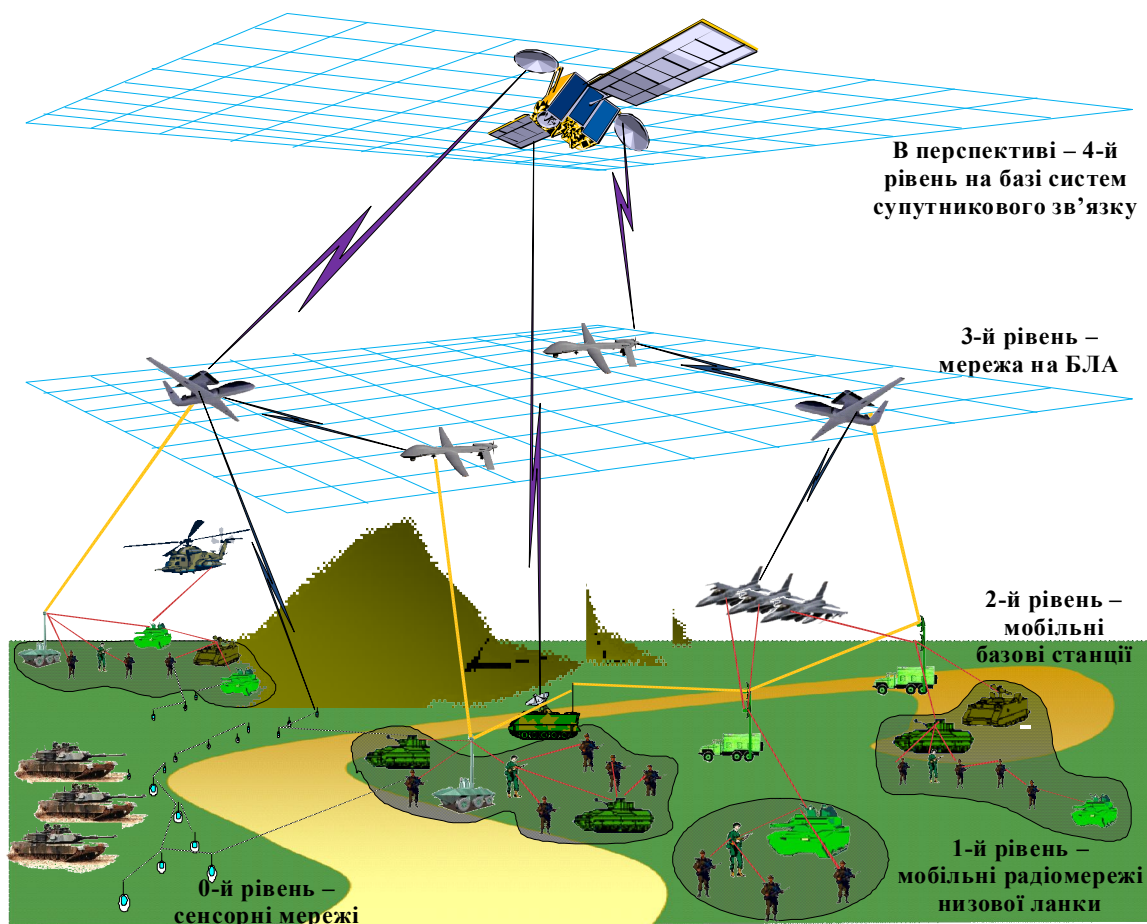


Рис. 2. Архітектура перспективної мобільної компоненти

В ролі джерел інформації в запропонованій архітектурі МК можуть виступати сенсорні мережі (0-й рівень), абоненти мобільних радіомереж низової ланки управління (1-й рівень) а також повітряна мережа на БЛА (3-й рівень). Від них інформація через радіоканали поступає на пункти управління, де обробляється і на її основі приймаються рішення з управління бойовими одиницями (солдат, танк, літак, БЛА, робототехнічний засіб і т.д.).

Під вузлом МР відповідного рівня МК розуміється термінал (сенсорний пристрій, переносний комп'ютер, робот, мобільна базова станція та ін.) оснащений радіомодемом, який одночасно виконує функції кінцевого пристрою та маршрутизатора. Кожному з рівнів перспективної МК характерна низка особливостей (таблиця 1), які необхідно враховувати при проектуванні та розробці протоколів і методів управління МР [8, 9]:

- динамічна топологія (вузли мобільні, канали радіозв'язку з обмеженою дальністю й пропускнуою спроможністю);
- значна розмірність мереж;
- неоднорідність елементів мережі (за мобільністю й рівнем продуктивності);
- колективний характер використання каналів зв'язку;
- обмежені потужність і час передачі абонентів, оснащених радіотерміналами з акумуляторними батареями;
- обмежена безпека.

Таблиця 1

Основні характеристики	Сенсорні мережі – 0-й рівень	Мобільні радіомережі – 1-й рівень	Мережа МБС – 2-й рівень	Мережа на БЛА – 3-й рівень
Розмірність	Сотні-тисячі	Сотні-тисячі	Десятки	Десятки
Принцип організації та побудови	Самоорганізація мережі, комутація пакетів, кожен вузол – маршрутизатор інформаційних повідомлень			
Мобільність	Низька	Висока	Низька	Дуже висока
Тип та спосіб управління	Розподілений, (ієрархічний), технологічний	Розподілений, технологічний	Зоновий, організаційно-технологічний	Зоновий, організаційно-технологічний
Способи розподілу радіоресурсу	Випадковий	Випадковий	Детермінований, гібридний	Детермінований
Потужність передавача терміналу; відстань зв'язку та швидкість передачі (залежать від частоти, потужності передавача, типу антени тощо)	Визначається типом сенсорів; (для наземних – мВт, сотні метрів >0.01 Мб/с)	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	Десятки Вт; десятки км; >20 Мб/с

У радіомережі простір, частота, код і час – чотири основні складові, які визначають розподіл загального ресурсу радіоканалу. Ефективне використання спектру радіочастот – одне з основних завдань під час управління МР. Недавно навіть було визначено нове поняття „когнитивне радіо” (*cognitive radio*) – нова технологія, що дозволяє використовувати спектр частот динамічним способом і володіє двома основними характеристиками (рис. 3) [10]:

- *здатність до пізнання* – визначає можливість збирати або вимірювати інформацію про радіосередовище. Причому ця можливість реалізується не тільки шляхом простого моніторингу потужності передачі в деяких смугах частот, а за рахунок використання більш складних технологій (наприклад, самонавчання й прийняття рішень) для збору відомостей про часові й просторові параметри мережі, а також для виключення взаємних перешкод між користувачами. Це дозволить визначити ту частину спектру, що не використовується під час функціонування мережі, а, отже, вибрати такі параметри передавача, які найточніше відповідають сформованій обстановці в мережі;

– *реконфігурованість* – визначає здатність вузла динамічно налаштувати (програмувати) параметри прийомопередавача відповідно до параметрів радіосередовища. Тобто, прийомопередавач може бути запрограмований приймати й передавати сигнали на різних частотах, а також використовувати різні технології доступу до радіосередовища, які підтримуються його апаратними можливостями.

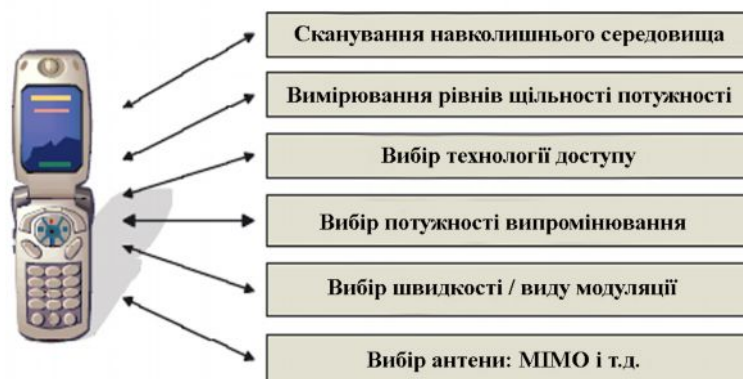


Рис. 3. Функції інтелектуальних засобів радіозв'язку з управлінням радіоресурсом

Крім управління радіоресурсом, особливості функціонування МР та специфіка завдань, які покладаються на них, вимагають вирішення низки інших задач управління, основними з яких є: управління маршрутизацією, топологією, потоками даних, безпекою та виконання підвищених вимог щодо забезпечення доставки великих обсягів інформації із заданою якістю [11, 12]. Крім того, функціонування МР відбуватиметься в умовах частой зміни обстановки (оперативної, тактичної, зі зв'язку, тощо), тому забезпечення стійкого, безперервного і прихованого управління мережею в цих умовах неможливе без ефективної системи управління, здатної приймати управляючі рішення в умовах невизначеності. Основними причинами невизначеності є:

- складність формалізованого опису МР та задач управління ними з врахуванням похибок при обчисленнях та вимірюваннях;
- нечіткість цілей функціонування та задач управління;
- нестационарність параметрів МР та системи управління ними (висока мобільність абонентів, зміна і непередбачуваність топології мережі);
- апріорна невизначеність обстановки та умов функціонування МР;
- наявність випадкових та навмисних впливів зовнішнього середовища (засоби знищення та радіоелектронного подавлення);
- викривлення інформації під час передачі в каналах радіозв'язку та ін.

Забезпечення здатності МР до самоорганізації, а також адаптації її елементів до різних умов функціонування вимагає розробки нових методів управління із залученням технологій обробки знань. Проблеми обробки та використання знань, як ефективного засобу аналізу погано формалізованих задач при апріорній неповноті та нечіткості вихідних даних були і залишаються головним предметом вивчення в теорії штучного інтелекту.

На сьогоднішній день системи управління інтенсивно розвиваються в напрямку їхньої інтелектуалізації, при цьому істотно змінюється технологія прийняття управлінських рішень. Інтелектуальні інформаційні системи (ІС) поєднують можливості систем управління базами даних і технологію штучного інтелекту, завдяки чому зберігання управлінської інформації в них поєднується з обробкою й підготовкою її для використання при прийнятті рішень.

Тривалий час вважалося, що ІС ефективні лише для вирішення так званих неформалізованих і погано формалізованих завдань, пов'язаних з необхідністю включення в алгоритм їхнього вирішення даних про навчання на реальному експериментальному матеріалі (наприклад, завдання розпізнавання образів). Однак поява принципово нового різновиду мереж зв'язку (мережі класу MANET) і, відповідно, завдань управління ними, пов'язаних з підтримкою необхідних режимів функціонування складних динамічних об'єктів

в умовах невизначеності, потребувала розвитку специфічних методів їхнього вирішення із залученням технології штучного інтелекту. Тому, останнім часом ІС все ширше використовуються при вирішенні завдань у системах зв'язку й телекомунікацій: управління комутацією, маршрутизація, управління трафіком, розподіл каналів у рухомих системах радіозв'язку і т.д. [13].

Наведемо деякі доводи на користь того, що ІС повинні стати найважливішою складовою частиною системи управління вузлом мережі класу MANET:

– по-перше, головною проблемою при управлінні мережею MANET є необхідність вибору з безлічі можливих управлінських рішень в залежності від ситуації, яка склалася в мережі, а також вимог до передачі певного типу трафіка;

– по-друге, управління мережею вимагає обробки великого обсягу службової інформації про її стан, що використовується методами управління різних рівнів моделі OSI для прийняття відповідних рішень. Проблема одержання інформації з об'єктів (вузлів мережі), що функціонують у реальному масштабі часу, на сьогоднішній день вирішена (використання різних способів зондування мережі). Але це породило іншу проблему: як зменшити об'єм службової інформації до рівня, який дійсно необхідний для ухвалення рішення системою управління? У той же час слід зазначити, що втрата службової інформації, яка надходить від вузлів мережі, що працюють у реальному масштабі часу, може істотно позначитися на кінцевому рішенні, прийнятому системою управління;

– по-третє, нестача часу на прийняття рішень і проблема координації взаємодії методів управління, що виконують різні функції (потоками даних, управління маршрутизацією, топологією, енергоспоживанням, безпекою та ін.).

На рис. 4 зображена узагальнена модель інтелектуальної системи управління вузлом МР, елементом якої є підсистема управління потоками даних. Система управління має досить складну структуру, яка включає до свого складу низку функціонально-підлеглих підсистем. Ієрархія їхнього підпорядкування спричиняє декомпозицію вихідної мети управління на послідовність вкладених складових. Такий поділ передбачає багаторівневу організацію системи управління, яка володіє розвиненими інтелектуальними можливостями щодо аналізу й розпізнавання обстановки, формування стратегії доцільної поведінки, планування послідовності дій, а також синтезу управляючих впливів, спрямованих на задоволення вимог до обслуговування певних типів трафіка.



Рис. 4. Узагальнена модель інтелектуальної системи управління вузлом мобільної радіомережі

Важливо зазначити, що головна архітектурна особливість, яка відрізняє запропоновану інтелектуальну систему управління від побудованої за „традиційною” схемою, пов’язана з підключенням механізмів зберігання й обробки знань (блок „база знань”) для реалізації здатності виконувати необхідні функції в умовах невизначеності (неповноти інформації) при випадковому характері зовнішніх впливів. В базі знань міститься інформація про принципи побудови системи управління та мету її функціонування, специфіку використання різних методів управління, а також особливості функціонування підсистеми реалізації рішень та самого об’єкту управління. Крім того, до складу системи управління, у разі необхідності, може входити *підсистема поповнення знань та навчання*, яка забезпечує узагальнення накопиченого досвіду і, таким чином, поповнює базу новими знаннями.

*Підсистема контролю, збору, обробки і зберігання даних* призначена для вимірювання контрольованих параметрів мобільних вузлів та радіомережі в цілому. Різні функції (рівні) управління вимагають різного обсягу (кількості параметрів) і глибини збору інформації про стан мережі. Глибина збору *i*-м вузлом мережі звичайно визначається відстанню (площею при наявності системи позиціонування), яка задається кількістю ретрансляційних ділянок від даного вузла. Звичайно, знання повної інформації про мережу дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення, однак приводить до значного зростання службового трафіка в умовах динаміки топології і вхідного навантаження.

*Підсистема формування рішень* побудована за принципом функціональності управління, який передбачає об’єднання функцій системи управління у відносно незалежні групи, що дозволяє здійснити декомпозицію управління мережею на підсистеми (що значно спрощує задачу розробки математичного забезпечення управління).

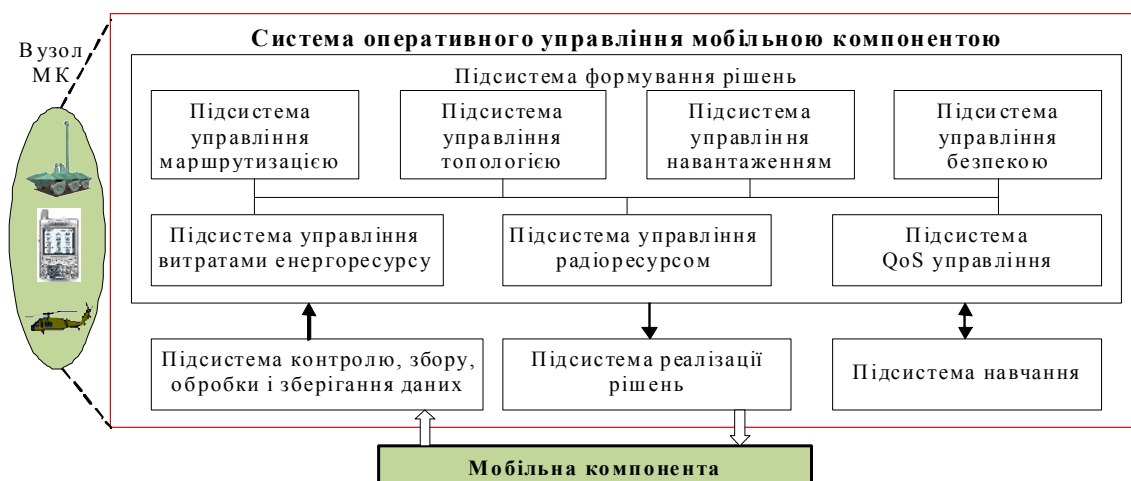


Рис. 5. Функціональна модель системи управління мобільною компонентою

За функціями задачі управління МК діляться на дві групи [11, 12]:

1) *спеціальні задачі управління* (наприклад, визначення маршрутів польоту БЛА й координація їхнього переміщення).

2) *універсальні задачі управління* – характерні для радіомереж всіх рівнів МК: управління топологією, управління маршрутизацією, управління навантаженням, управління радіоресурсом, управління енергоресурсом, управління безпекою. Однак, конкретна реалізація методів управління вузлом МР повинна враховувати призначення та особливості архітектури МК (розмірність, мобільність, продуктивність та ін.). Пропонується здійснювати вирішення універсальних задач управління вузлом МР за різними рівнями еталонної моделі взаємодії відкритих систем. Проведені дослідження показують відсутність єдиного методу управління вузлом МР, який забезпечує оптимізацію мережевих показників на кожному з рівнів моделі OSI, так як кожен з існуючих методів має свої межі ефективного застосування. У зв’язку з цим запропоновано ввести до складу підсистеми формування рішень вузлової системи управління (рис. 4) множину методів, які виконують відповідні функції на різних

рівнях моделі OSI. Множина цих методів утворює базу методів управління, яка взаємодіє з підсистемою реалізації рішень (містить знання про мету управління, методи її досягнення чи корегування) для координації взаємодії методів управління різних функціональних підсистем за рівнями моделі OSI з метою забезпечення оптимізації показників функціонування мережі.

Крім цього, для зменшення об'ємів службового трафіка виникає доцільність використання методами одного рівня моделі OSI службової інформації, отриманої на інших рівнях. Наприклад, якщо існуючі маршрути (мережевий рівень OSI) не відповідають вимогам до швидкості передачі інформації, то їх можна не перебудувувати (тобто не витратити ресурси мережі на побудову нових маршрутів), а здійснити адаптацію швидкості та затримки передачі пакетів, використовуючи методи транспортного рівня моделі OSI. Тобто виникає задача інтеграції різних рівнів еталонної моделі OSI, вирішення якої також покладається на підсистему реалізації рішень. Основна складність інтеграції полягає у необхідності визначення параметрів, які будуть використовуватися між рівнями OSI. Організація елементів інтелектуальної системи управління мережею припускає використання сукупності моделей подання знань, інформаційної підтримки, опису контрольованого об'єкту і т.д. Головною відмінністю побудови інтелектуальної системи управління МР є використання методів і технологій штучного інтелекту, як основних засобів боротьби з невизначеністю зовнішнього середовища. Практичне втілення цієї концепції припускає вибіркоче використання тих або інших технологій обробки знань залежно від специфіки розв'язуваних завдань і особливостей об'єкта управління. Найбільш перспективними для створення інтелектуальних систем управління представляються чотири технології [13]: експертних систем, асоціативної пам'яті, нечіткої логіки, нейронних мереж (таблиця 2). Основна ідея при цьому полягає в переході від строго формалізованих алгоритмів, які пропонують метод вирішення завдання, до логічного програмування з вказівкою на те, що потрібно вирішувати на базі знань, накопичених фахівцями в конкретних предметних областях.

Таблиця 2

Властивості інтелектуальних технологій

Властивість Технологія	Представлення знань	Формування початкових знань	Організація логічного висновку	Можливість поповнення	Пояснення прийнятих рішень	Спосіб реалізації та відносна швидкодія
<b>Експертних систем</b>	В явному вигляді з допомогою продукційних правил та семантичних мереж	З допомогою експерта в інтерактивному режимі	Шляхом явного співставлення початкового запиту з категоріями багаторівневої класифікації, заданої ієрархією продукційних правил	Шляхом вимірювання продукційних правил, семантичних мереж та інших представлень	За рахунок аналізу активізованого ланцюга логічного виводу	Програмний, низька
<b>Асоціативної пам'яті</b>	В неявному вигляді, в формі гіперповерхні в багатомірному просторі ознак та архітектурі асоціативної пам'яті	Шляхом автоматичного формування асоціативних зв'язків за заданим алгоритмом	Шляхом проекції робочої точки гіперповерхні на осі вибраної поверхні координат	Шляхом вимірювання простору параметрів та форми відповідної гіперповерхні	Відсутнє, але може бути забезпечене шляхом введення додаткової координати з поясненням	Програмний, апаратний, висока
<b>Нечіткої логіки</b>	В напівприхованому вигляді з допомогою продукційних правил і функцій приналежності	З допомогою експерта в інтерактивному режимі або в автоматичному режимі на основі вимірювання статистичних даних	Забезпечується шляхом виконання продукційних правил та вибраним методом обробки функцій приналежності	За рахунок зміни системи правил, форми та відносного розміщення функцій приналежності на базових осях	Відсутнє, але може бути забезпечена за рахунок аналізу додаткових правил	Програмний (висока), апаратний (низька)
<b>Нейромережових структур</b>	В неявному вигляді в архітектурі мережі, параметрів нейронів та зв'язків	На прикладі навчальної вибірки з допомогою алгоритмічних процедур налаштування в автоматичному режимі	Забезпечується логікою роботи мережі	Шляхом зміни топології, структури і параметрів мережі	Відсутнє, але може бути організоване за рахунок введення додаткової пояснюючої нейромережі	Апаратний, висока

Основною відмінністю *технології експертних систем* є можливість роботи з формами явного представлення знань, включаючи продукційні правила, предикати та семантичні мережі. Яскраво виражена структурованість цих форм обумовлює можливість застосування формалізованих логічних методів для аналізу та перетворення знань, а також робити логічні висновки за сукупністю вихідних даних. Однак, формування початкових знань з допомогою експертів, що відбувається в інтерактивному режимі, спричиняє низьку швидкість цієї технології і ускладнює її використання в системах управління динамічними об'єктами.

*Технологія асоціативної пам'яті* передбачає використання механізмів відновлення цілісних образів за їх окремими елементами і зводиться до роботи з багатомірними масивами пам'яті. Знання мають неявну форму представлення і задають класифікацію понять деякої предметної області у вигляді сукупності ознак, характерних кожній якісній категорії. Основна перевага такого підходу полягає у швидкодії систем обробки знань та в простоті програмного і апаратного виконання. Однак, проблеми виникають під час формування та збереження знань, які, з одного боку, повинні займати якомога менше пам'яті, а з іншого – забезпечувати задані показники якості управління.

*Технологія нечіткої логіки* орієнтована на обробку логіко-лінгвістичних моделей представлення знань. Моделі такого типу призначені для формалізації неточних, розмитих в змістовному відношенні тверджень і будуються з використанням узагальнених категорій, які задають класифікацію вихідних понять на рівні нечітких множин (функцій приналежності). Ефективність застосування нечітких моделей залежить від кількості термів для кожної лінгвістичної змінної та від виду функції приналежності, які визначаються експертами в конкретній області знань.

*Технологія нейромережових структур* на сьогоднішній день є одним з перспективних підходів до організації обробки неявних форм представлення знань та побудови інтелектуальних систем управління. Вона передбачає формування однорідних структур, які складаються з множини взаємопов'язаних елементів із заданою характеристикою перетворення сигналів. Сукупність знань, які задаються в процесі навчання такої структури, визначається настройкою вагових коефіцієнтів міжелементних зв'язків. Перевагою нейромережових структур є висока швидкість, яка забезпечується паралельною обробкою інформації при їх апаратній реалізації, а також можливість отримання нової інформації в проблемній області в формі деякого прогнозу. До недоліків нейронних мереж можна віднести те, що знання про проблемну область подаються в спеціальному вигляді, який може суттєво відрізнятися від змістовної інтерпретації зв'язків елементів мережевої структури [14].

Як показують результати аналізу різних робіт стосовно розвитку методів обробки знань, однією з передових тенденцій в цій області є спроба інтеграції різних технологій з метою об'єднання характерних їм переваг. Так, наприклад, одночасне забезпечення високої функціональної гнучкості та швидкодії може досягатися шляхом комплексного застосування нечітких нейронних мереж. З одного боку, вони дозволяють розробляти та представляти моделі систем в формі правил нечітких продукцій, які характеризуються наочністю та простотою змістовної інтерпретації. З іншого боку, для побудови правил нечітких продукцій використовуються методи нейронних мереж, що є більш зручним та менш трудомістким процесом для системних аналітиків.

Таким чином, у найближчій перспективі необхідно говорити про створення „інтелектуальних мобільних радіомереж”. Вже зараз в архітектурі вузла передбачається наявність баз даних і знань, електронної карти місцевості, підсистеми навчання (рис. 4), застосування технології розподілених інтелектуальних агентів і т.д. Введення ПС у систему управління вузлом МР дозволить оптимізувати процес управління, мінімізувати помилки, пов'язані з ухваленням неправильного рішення з управління мережею, шляхом врахування ситуації в мережі, а також вимог до передачі трафіка. Крім того інтелектуалізація процесу управління вузлом МР дозволить мінімізувати помилки, викликані людським фактором у



процесі ініціалізації мережі, зменшити витрати часу на збір і аналіз службової інформації про стан мережі, а також скоротити обсяги цієї інформації.

В ході подальших досліджень доцільно проводити роботу над розробкою нових інтелектуальних методів управління за рівнями моделі OSI з використанням нечітких нейронних мереж, які характеризуються наочністю та простотою реалізації, що має особливе значення при використанні в малопотужних вузлах мобільної радіомережі.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Романченко І.С. Мережецентрична система ведення війни – міф ХХІ сторіччя чи виклик Збройним Силам України? / І.С. Романченко, А.І. Сбітнев // Наука і оборона. – 2006. – № 3. – С. 12 – 17.
2. Малярчук М.В. Підходи до побудови перспективної системи зв'язку та автоматизованого управління військами в Збройних Силах Російської Федерації / Малярчук М.В., Колачов С.П., Люлін Д.В. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2009. – № 2. – С. 71 – 76.
3. Геоцентричний театр воєнних дій – нова концепція / [В.В. Опанюк, В.І. Снецар, Б.Г. Бондарев, С.Т. Кривоус] // Збірник наукових праць ЖВІ НАУ. – 2009. – № 2. – С. 44 – 53.
4. Борьба за информацию на основе информации [электронный ресурс] / А.Е. Кондратьев // Независимое военное обозрение – 2008. – Режим доступа к журналу: [http://nvo.ng.ru/concepts/2008-10-24/1\\_info.html](http://nvo.ng.ru/concepts/2008-10-24/1_info.html).
5. Влияние концепции сетецентрической войны на характер современных операций [электронный ресурс] / М.М. Хамзатов // Военная мысль – 2006. – №7. – Режим доступа к журналу: <http://www.milresource.ru/Hamzatov-article-1.html>.
6. Сетевые войны XXI века [электронный ресурс] / Б. Чельцов, С. Волков // Воздушно-космическая оборона. – Режим доступа к журналу: <http://army.lv.ru/Setevie-voyni-XXI-veka/787/4268>.
7. Кравченко О.О. Пріоритетні напрямки розвитку системи зв'язку та автоматизації управління військами Збройних Сил України: збірник матеріалів ІV науково-технічної конференції „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення” / – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2008. – С. 12 – 14.
8. Романюк В.А. Мережі MANET – основа побудови тактичних мереж зв'язку : збірник матеріалів ІV Науково-практичного семінару ВІТІ „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення” / – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2007. – С. 15 – 28.
9. Міночкін А.І. Архітектура перспективної мобільної компоненти тактичних мереж зв'язку збройних сил України / Міночкін А.І., Романюк В.А. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2004. – № 5. – С. 107 – 115.
10. Akyildiz Ian F. CRAHNS: Cognitive radio ad hoc networks / Akyildiz Ian F., Lee Won-Yeol, Chowdhury Kaushik R. // Ad Hoc Networks. – №7, 2009. – pp. 810 – 836.
11. Міночкін А.І., Романюк В.А. Концепція управління мобільною компонентою мереж зв'язку військового призначення // Збірник наукових праць № 3. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2005. – С. 51 – 60.
12. 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.
13. Макаров И.М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов; [отв. ред. И.М. Макарова]; Отделение информ. технологий и вычислит. систем РАН. – М.: Наука, 2006. – 333 с.
14. Комашинский В.И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / Комашинский В.И., Смирнов Д.А. / – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 94 с.