

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

*Наведені структури та розглянуті особливості формування сенсорних безпроводних мереж. Розглянуті принципи утворення топології сенсорних мереж. Представлені схеми вузлів безпроводної сенсорної мережі з оптичним зв'язком. Наведені особливості та вимоги до формування сенсорної безпроводної мережі.*

*In the article the conducted analysis of forming of structure and feature of realization of without wire of sensory networks. Considered principles of formation of topology of sensory networks. The presented charts of knots of without wire of sensory network are with optical connection. The resulted features and requirements are to forming of sensory without wire network of the future.*

Ключові слова: сенсор, кластер, трансивер.

### ВСТУП

Технологія безпроводних мереж – одна з передових комп'ютерних мережевих технологій, яка може привести до формування ринку, що оцінюється в багато мільярдів доларів. Розробка технології, яка спочатку асоціювалася з науковою фантастикою проводилася декількома університетами. Найуспішнішими виявилися дослідження професора університету штату Каліфорнія Берклі Крістофера Пістера, що привернули увагу DARPA (Управління перспективних розробок). Реалізація ідеї призвела до появи таких нових компаній, як «Dust Networks», [www.dustnetworks.com](http://www.dustnetworks.com), яку очолив К.Пістер за підтримки Центральної інформаційної служби управління In-Q-Tel (незалежної неприбуткової організації, що фінансує розробки передових технологій), і «Crossbow Technologies», [www.xbow.com](http://www.xbow.com). Ідея smart dust – мережі з унікальними властивостями і датчиками – викликала інтерес компаній, що входять до альянсу «ZigBee», консорціуму, утвореного фірмами «Ember», «Freescale Semiconductor», «Honeywell», «Invensys», «Mitsubishi Electric», «Motorola», «Philips Electronics» і «Samsung» з метою реалізації на основі відкритого стандарту безпроводних мереж моніторингу і управління при низькій потужності споживання. Сьогодні в консорціум входять більше 100 компаній-виробників систем, датчиків і мікросхем, зокрема «Analog Devices», «Atmel», «Cisco Systems», «Crossbow Technologies», «Dust Networks», «LG», «Microchip», «Nanotron Technologies», «NEC», «Oki», «Omron», «Texas Instruments». Компанії, що входять до альянсу, на основі випущеного у вересні 2003 року стандарту IEEE 802.15.4 на фізичний і MAC рівні малопотужних радіопристроїв, що працюють в ISM-діапазоні частот (2,4 ГГц) і передають дані з швидкістю в декілька десятків біт в секунду на відстань 15–20 м, зможуть брати активну участь у формуванні нового сегменту ринку – виробництво пристроїв для безпроводних сенсорних мереж.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Безпроводні сенсорні мережі (wireless sensor networks) складаються з мініатюрних обчислювально-комунікаційних пристроїв – мотів (від англ. motes – порошинки), або сенсорів. Сенсор є платою розміром зазвичай не більш за один кубічний дюйм. На платі розміщуються процесор, пам'ять флеш і оперативна, цифро-аналогові і аналого-цифрові перетворювачі, радіочастотний приймач, джерело живлення і датчики. Датчики можуть бути найрізноманітнішими; вони підключаються через цифрові і аналогові конектори. Частіше за інших використовуються датчики температури, тиску, вологості, освітленості, вібрації, магнітоелектричні, хімічні (наприклад, що вимірюють зміст CO, CO<sub>2</sub>), звукові і деякі інші. Набір використаних датчиків залежить від функцій, що виконуються безпроводними сенсорними мережами. Живлення мотів здійснюється від невеликої батареї [1]. Моти використовуються тільки для збору, первинної обробки і передачі сенсорних даних.

Основна функціональна обробка даних, що збираються мотами, здійснюється на вузлі, або шлюзі, який є достатньо потужним комп'ютером. Але для того, щоб обробити дані, їх потрібно спочатку отримати. Для цієї мети вузол обов'язково оснащується антенною. Але у будь-якому випадку доступними для вузла виявляються тільки моти, що знаходяться достатньо близько від нього; іншими словами, вузол не отримує інформацію безпосередньо від кожного мота. Проблема отримання сенсорної інформації, що збирається мотами, вирішується таким чином. Моти можуть обмінюватися між собою інформацією за допомогою приймачів, що працюють в радіодіапазоні. Це, по-перше, сенсорна інформація, що прочитується з датчиків, а по-друге, інформація про стан пристроїв і результати процесу передачі даних. Інформація передається від одних мотів іншим по колу, і в результаті найближчі до шлюзу моти скидають йому всю акумульовану інформацію. Якщо частина мотів виходить з ладу, робота сенсорної мережі після реконфігурації повинна продовжуватися. Але в цьому випадку, природно, зменшується число джерел інформації.

Для виконання функцій на кожен мот встановлюється спеціалізована операційна система (ОС). В даний час в більшості безпроводних сенсорних мереж використовується TINY OS – ОС, розроблена в Університеті Берклі [2]. «TINY OS» відноситься до програмного забезпечення з відкритим кодом; вона доступна за адресою: [www.tinyos.net](http://www.tinyos.net). «TINY OS» – це керована подіями операційна система реального часу розрахована на роботу в умовах обмежених обчислювальних ресурсів. Ця ОС дозволяє сенсорам

автоматично встановлювати зв'язки з сусідами і формувати сенсорну мережу заданої топології. Останній реліз TINYOS 2.0 з'явився в 2006 році [2].

Найважливішим чинником при роботі безпроводних сенсорних мереж є обмежена ємність батарей, що встановлюються на сенсори. Слід враховувати, що замінити батареї найчастіше неможливо. У зв'язку з цим необхідно виконувати на сенсорах тільки просту первинну обробку, орієнтовану на зменшення об'єму переданої інформації і що саме головне, мінімізувати число циклів прийому і передачі даних. Для вирішення цього завдання розроблені спеціальні комунікаційні протоколи, найбільш відомими з яких є протоколи альянсу «ZigBee». Даний альянс (сайт [www.zigbee.org](http://www.zigbee.org)) був створений в 2002 році саме для координації робіт в області безпроводних сенсорних мереж. До нього увійшли найбільші розробники апаратних і програмних засобів: «Philips», «Ember», «Samsung», «IBM», «Motorola», «Freescale Semiconductor», «Texas Instruments», «NEC», «LG», «OKI» і багато інших (всього більше 200 членів).

В принципі, для вироблення стандарту, зокрема стека протоколів для безпроводних сенсорних мереж, ZigBee використовував розроблений раніше стандарт IEEE 802.15.4, який описує фізичний рівень і рівень доступу до середовища для безпроводних мереж передачі даних на невеликі відстані (до 75 м) з низьким енергоспоживанням, але з високим ступенем надійності.

Деякі характеристики радіопередачі даних для стандарту IEEE 802.15.4 приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики передачі даних для стандарту IEEE 802.15.4

Смуга частот, МГц	Необхідність ліцензії	Географічний регіон	Швидкість передачі даних кбіт/с	Число каналів
868,3	Немає	Європа	20	1
902-928	Немає	Америка	40	1-10
2405- 2480	Немає	Весь світ	250	11-26

На даний момент «ZigBee» розробив єдиний в цій області стандарт, який підкріплений наявністю виробництва повністю сумісних апаратних і програмних продуктів. Протоколи ZigBee дозволяють пристроям знаходитися в сплячому режимі велику частину часу, що значно продовжує термін служби батареї [3].

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Найчастіше сенсор повинен мати можливість самостійно визначити своє місцеположення, принаймні по відношенню до іншого сенсора, якому він передаватиме дані. Тобто спочатку відбувається ідентифікація всіх сенсорів, а потім вже формується схема маршрутизації. Взагалі всі сенсори – пристрої стандарту «ZigBee» – по рівню складності розбиваються на три класи. Вищий з них – координатор – управляє роботою мережі, зберігає дані про її топологію і служить шлюзом для передачі даних, що збираються всією безпроводною сенсорною мережею, для подальшої обробки. У сенсорних мережах зазвичай використовується один координатор. Середній по складності сенсор є маршрутизатором, тобто може приймати і передавати дані, а також визначати напрями передачі. І нарешті, найпростіший сенсор може лише передавати дані найближчому маршрутизатору. Таким чином, виходить, що на основі стандарту ZigBee можна сформувати мережу з кластерною архітектурою (рис. 1). Кластер утворюють маршрутизатор і прості сенсори, у яких він збирає сенсорні дані. Маршрутизатори кластерів ретранслюють дані один одному, і дані передаються координаторові. Координатор зазвичай має зв'язок з IP-мережею, куди і прямують дані для остаточної обробки.

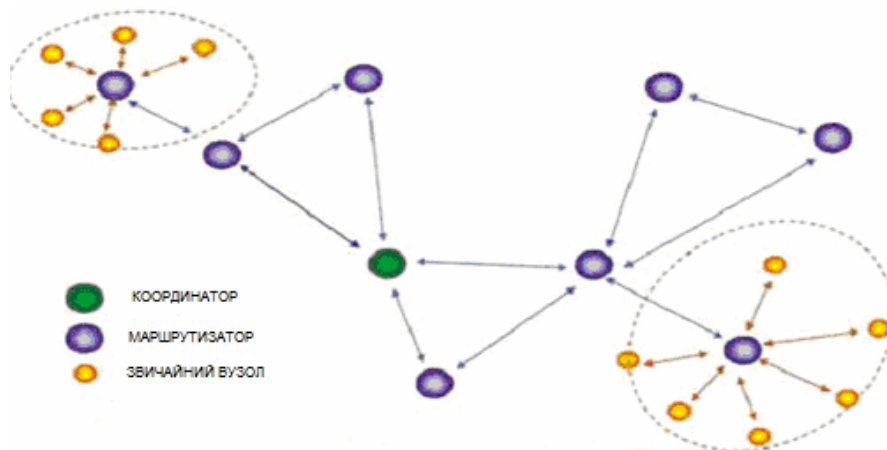


Рис. 1. Кластера форма безпроводної мережі

Вдосконаленням кластерної мережі може бути здійснене шляхом побудови однорангових комірчастих мереж рис. 2.

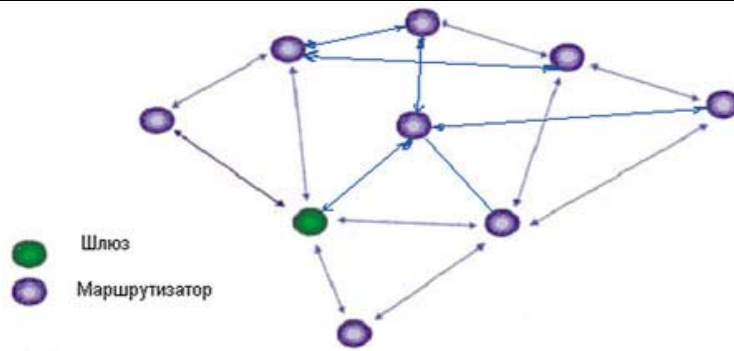


Рис. 2. Приклад однорангової комірчастої мережі

У таких мережах функціональні можливості кожного сенсора однакові. Можливість самоорганізації і самовідновлення мереж комірчастої топології дозволяє у разі виходу частини джерел з ладу спонтанно формувати нову структуру мережі. Правда, у будь-якому випадку необхідний центральний функціональний вузол, що приймає і оброблює всі дані, або шлюз для передачі даних на обробку вузлу. Спонтанно створювані мережі часто називають латинським терміном Ad Hoc, що означає «для конкретного випадку».

Найпопулярніші системи передачі безпроводної мережі – високочастотні і оптичні, кожна зі своїми перевагами і недоліками. У разі високочастотної передачі мережеві моти містять мікропроцесор і трансивер, об'єднані з датчиками, антеною і джерелом живлення (рис. 3):

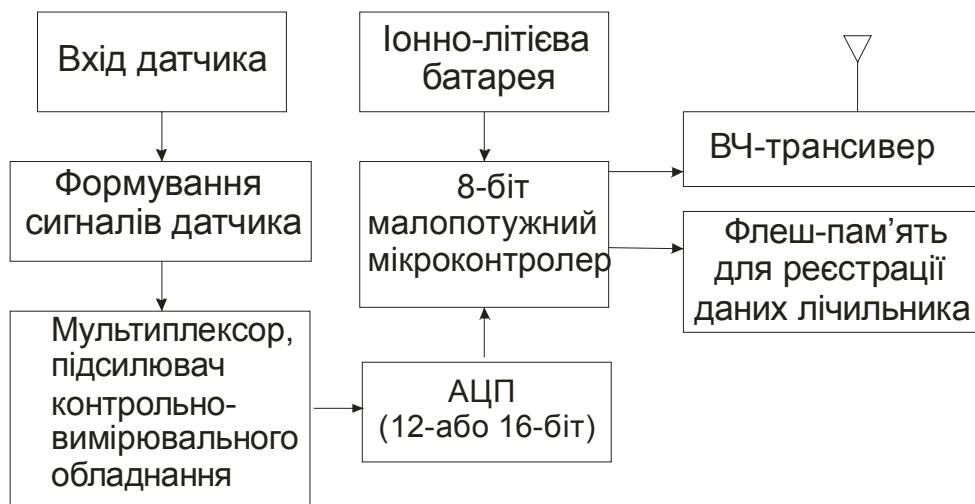


Рис. 3. Функціональна блок-схема вузла безпроводної сенсорної мережі з засобами реєстрації даних та ВЧ-пристроєм двохнаправленої передачі

У мережі компанії Dust Networks вузли працюють в шумоподібному режимі із стрибкоподібною перестройкою частоти в діапазоні 902– 928 МГц. Відстань між вузлами складає 30– 60 м в приміщенні і до 150 м поза приміщенням. Проте внаслідок малих розмірів мот розмір антени також повинен бути малий, і передачу даних необхідно вести на високій частоті, а це не завжди сумісно з вимогою малої споживаної потужності. До того ж, високочастотні трансивери – достатньо складні пристрої з схемами модуляції і демодуляції, смуговими фільтрами. Для передачі даних від великого числа вузлів потрібні додаткові схеми мультиплексованої передачі з часовим, частотним або кодовим розділенням. Все це істотно ускладнює завдання зниження споживаної потужності до необхідного рівня в декілька мікровоат. Тому привабливішим є оптичний зв'язок.

Розглянемо особливості оптичної сенсорної мережі.

З боку вихідної лінії оптичного зв'язку модульований сигнал може передаватися набору вузлів-мот одиничним лазерним передавачем. Приймач вузла містить смуговий оптичний фільтр, фотодіод, передпідсилювач і слайсер. Але при цьому споживана потужність достатньо велика. Щоб її понизити, можна використовувати направлений пучок і пристрій активного управління пучком, що ускладнює конструкцію моти. Цю проблему можна вирішити за рахунок застосування пасивного, виконаного на базі МЕМС-структури оптичного передавача, тобто пристрою, що забезпечує передачу модульованих оптичних сигналів без витрати енергії рис. 4 [4].

Завдяки малій довжині хвилі видимого світла або ближнього ІЧ-випромінювання (400– 1600 нм), в якому працюють такі оптичні передавачі і приймачі, прилади міліметрового розміру можуть формувати вузький пучок випромінювання. Інша перевага роботи на малих довжинах хвиль – можливість приймача базової станції, оснащеного малогабаритним формувачем зображення, декодувати дані передані одночасно великим числом вузлів, розташованих в різних місцях поля огляду приймача, тобто можливість роботи в

режимі ущільнення з просторовим розділенням. В результаті конструкція мот і протоколи системи значно спрощуються. Для успішного прийому даних такою системою необхідно лише, щоб вузли не блокували лінію прямої видимості один одного (а це завдяки їх малим розмірам практично неможливо), а також щоб дані різних вузлів формувалися різними елементами зображення.

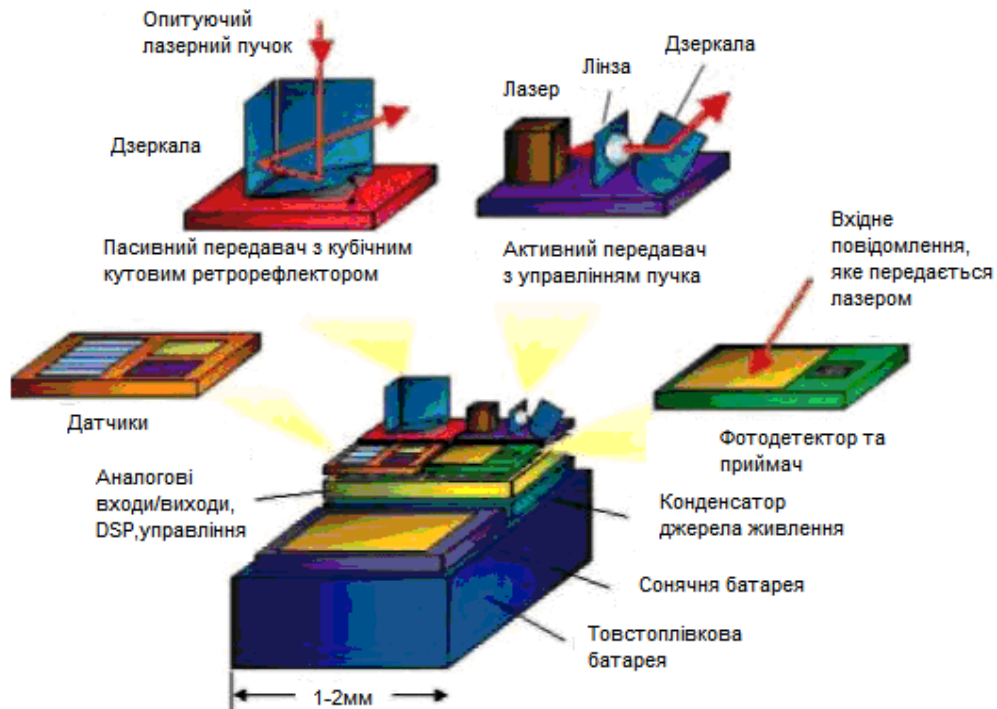


Рис. 4. Структура вузла безпроводної сенсорної мережі з оптичним зв'язком

Можливим варіантом є автономний вузол сенсорної мережі з живленням від сонячної батареї, що забезпечує двосторонній оптичний зв'язок і займає об'єм 16 мм<sup>3</sup>. Вузол перетворює сигнали датчиків в цифрову форму і передає/приймає дані, які передаються оптичним випромінюванням у вільному просторі, рис. 5.

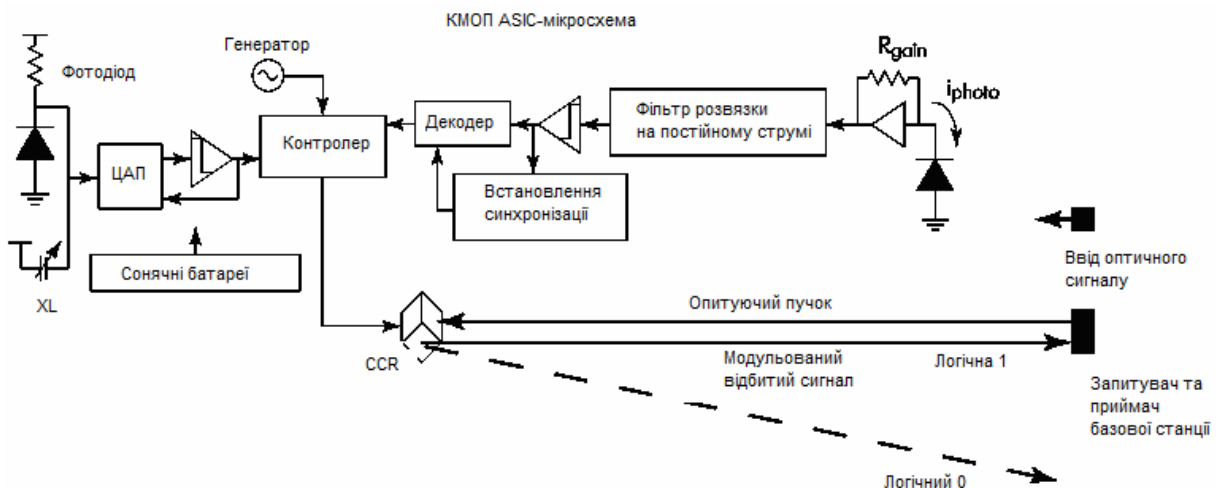


Рис. 5. Блок-схема вузла сенсорної мережі з живленням від сонячної батареї

У вузол входять три мікросхеми: спеціалізована схема, що містить світлочутливий датчик, генератор на частоту 3 МГц, оптичний приймач, 8-бітовий АЦП і контролер (кінцевий автомат); мікросхема сонячної батареї з декількома виходами; кубічний кутвим MEMS – ретрорефлектор.

Оптичний приймач містить фотодетектор, схеми обробки аналогового сигналу, цифровий блок відновлення синхронізації і логіку для декодування вхідних пакетів даних.

На основі розглянутих особливостей серенсорних мереж визначимо основні критерії оптимізації побудови такої мережі:

- повинна бути безпроводна мережа, що складається з тисяч сенсорів (вузлів мережі) з будь-якою зоною покриття і що виконує будь-які покладені на неї завдання;
- сенсори повинні самоорганізуватися в безпроводну мережу, здатну передавати довільну

інформацію між двома будь-якими сенсорами мережі, причому з необхідною швидкістю передачі (смугою пропускання);

- сенсори повинні споживати малу кількість енергії, щоб працювати впродовж декількох років без заміни батарей;
- сенсори повинні дуже швидко реагувати;
- сенсори повинні бути непомітними і високонадійними в експлуатації;
- сенсори повинні мати низьку вартість.

#### ВИСНОВКИ:

- 1) Досліджено особливості побудови сенсорних мереж та визначено її основні переваги: повна відсутність кабелів – електричних, комунікаційних і т.д.
- 2) Шляхом аналізу особливостей формування топології сенсорних мереж запропоновано можливість компактного розміщення або навіть інтеграції сенсорів в об'єкти навколишнього середовища;
- 3) Досліджені питання надійності як окремих елементів так і всієї системи сенсорної мережі в цілому: у ряді випадків мережа може функціонувати при справності тільки 10-20 % сенсорів;

#### Література

1. Борщ В.І., Коршун Є. І., Туманов Ю. Г., Чумак М. О. Сигналізація і синхронізація в телекомунікаційних системах. – К.: Наукова думка, 2004.
2. Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005. – 591 с.
3. Пантелейчук А. Построение беспроводной сети датчиков // Электронные компоненты. – 2008. – № 4.
4. Мішан В.В. Синхронизовані автогенераторні масиви з низькодобротними коливальними системами / В. В. Мішан // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: материалы 11 юбилейного международного молодежного форума 10 – 12 апреля 2008 г. – Харьков: ХНУР, 2008. – С. 185.

Надійшла 16.2.2010 р.

УДК 004.891.3

Д.М. ДРАГУН, Д.Ю. ЧАЙКОВСЬКИЙ  
Хмельницький національний університет

### ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АГЕНТНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

*Проаналізовано агентні технології як засіб діагностування комп'ютерних систем. Досліджено ефективність формальних моделей агентів та діагностичних агентних систем для діагностування спеціалізованих комп'ютерних систем, проаналізовано їх недоліки. Розглянуто можливість розподілення етапів і задач діагностування між агентами у кластерних системах.*

*Analyzed agent technology as a means of diagnosing computer systems. Investigated the effectiveness of formal models of agents and agent diagnostic system for diagnosing cpetsializovanyh computer systems, analyze their shortcomings. The opportunity of distribution of phases and tasks between agents in the diagnosis of cluster systems.*

Ключові слова: діагностування, комп'ютерні системи, агентні технології.

#### Вступ

Зростання вимог до комп'ютерних систем (КС) призводить до звуження їх спеціалізації та збільшення вимог до рівня їх надійності. Для забезпечення необхідного рівня надійності, КС потребують ряду комплексних засобів, серед яких програмно-апаратні засоби діагностування є важливим компонентом. Ускладнення сучасних КС потребує розвитку та вдосконалення методів і засобів їх діагностування. Однією із актуальних задач є діагностування спеціалізованих КС на етапі експлуатації.

Сучасні КС як об'єкти діагностування мають ряд особливостей [1-4], котрі впливають на динаміку розвитку засобів діагностування і ефективність процесу діагностування, а саме:

- 1) низький рівень контролепридатності сучасних КС та їх складових;
- 2) відсутність або надзвичайно висока вартість спеціалізованих ефективних діагностичних апаратних засобів та програм діагностування КС;
- 3) динаміка нарощення можливостей КС призводить до зростання спектру апаратних складових та їх постійної модернізації, що робить нерентабельною закупівлю вузькоспеціалізованого діагностичного обладнання;
- 4) етап експлуатації КС недостатньо забезпечений документацією. У той же час, на цьому етапі необхідно забезпечити діагностування надзвичайно широкого спектру КС, тому успішність етапу