

то для неї ініціюється новий процес навчання. Надалі планується дослідити варіанти цього алгоритму, в яких би агент при виникненні нових ситуацій не починав навчання з початку, а використовував результати навчання в подібних ситуаціях (навчання на прикладах).

**Висновки.** Розглянуто проблему самоорганізації колективу автономних мобільних агентів (багатоагентної системи) у деякому просторі з погляду узгодженого цілеспрямованого переміщення та взаєморозташування агентів колективу. Наведено основні передумови проблеми просторової самоорганізації (повністю децентралізоване управління, обмежена локальна взаємодія агентів колективу, децентралізована локальна навігація тощо). Запропоновано три тестові задачі для розробки та оцінки розподілених алгоритмів просторової самоорганізації (формування многокутників, автономне розгортання в обмеженому просторі, гра у поглинання). Наведено низку рішень запропонованих тестових задач та обговорені можливості їхнього вдосконалення.

1. Michael Woolridge, *An Introduction to MultiAgent Systems*, John Wiley & Sons, 2002. 2. Liu J., Wu J. *Multiagent Robotic Systems*, CRC Press, 2001. 3. Sugihara K., Suzuki I. *Distributed Algorithms for Formation of Geometric Patterns with Many Mobile Robots* // *Journal of Robotic Systems* 13, 3, March, 1996. – P. 127–139. 4. Duncan Crombie. *The Examination and Exploration of Algorithms and Complex Behaviour to Realistically Control Multiple Mobile Robots*, Faculty of Engineering and Information Technology, The Australian National University, 1997. 5. Craig W. Reynolds, *Steering Behaviors For Autonomous Characters*, Sony Computer Entertainment America, presented on Game Developers Conference, 10 February 1999. 6. Cem Ünsal, John S. Bay, *Spatial Self-Organization in Large Populations of Mobile Robots*, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1998. 7. H. Van Dyke Parunak, Sven Brueckner, *Entropy and Self-Organization in Multi-Agent Systems*, *Proceedings of the International Conference on Autonomous Agents (Agents 2001)*, 2001. – P. 124–130. 8. Бочкар'єв О.Ю., Голембо В.А., Попад'юк Х.Р. Самоорганізація колективу мобільних агентів у просторі: формування многокутника // *Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 2004. – № 523. – С. 15–23.

УДК 621.372

Є.Я. Ваврук

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра електронних обчислювальних машин

## ДЕЯКІ АСПЕКТИ ОРГАНІЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТИКИ СИСТЕМ І ПРОЦЕСОРІВ ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

© Ваврук Є.Я., 2005

**Проаналізовано особливості контролю і діагностики систем і процесорів опрацювання сигналів. Розроблені схеми діагностики і контролю на прикладі системи обробки радіолокаційної інформації.**

**Verification and diagnostic features for systems and processors of digital signal processing have been reviewed in this article. Verification and diagnostic schemes for system of processing information of radar are proposed.**

**Вступ.** Технічні особливості (складність алгоритмів, висока тактова частота, рівень інтеграції елементів, кількість каналів вхідних даних тощо) та складні умови експлуатації сучасних систем опрацювання сигналів (СОС) ускладнюють процедуру їхнього контролю і діагностики (КіД). Якщо системи такого класу працюють в складі великих технічних комплексів, додатково з'являється проблема виявлення впливу зовнішніх пристроїв на параметри СОС.

Для контролю працездатності СОС використовують методи параметричного, функціонального контролю, контролю за характеристиками вихідних сигналів системи і за показниками якості [1]. Аналіз параметрів реальних систем показує [2], що в СОС доцільно використовувати контроль за характеристиками вихідних сигналів, як СОС, так і окремих функціональних елементів (ФЕ).

Розробники здебільшого розглядають задачі контролю і діагностики тільки окремих груп алгоритмів і їхньої програмної чи апаратної реалізації [3, 4], або теоретичні основи організації систем з підвищеною заводстійкістю, без урахування властивостей роботи в режимі реального часу (РРЧ) і умов експлуатації відповідних систем. Тому дослідження у такому напрямку становлять певний інтерес як в теоретичному плані, так і в напрямку практичної реалізації.

**Окреслення проблеми організації контролю та діагностики СОС.** Однією з проблем організації СОС є забезпечення їхнього тривалого функціонування в поєднанні з високою надійністю, готовністю і зручністю обслуговування. В ідеальному випадку в системах повинна забезпечуватись: висока готовність (High Availability), еластичність до відмов (Fault Resiliency), стійкість до відмов (Fault Tolerance), безперервна готовність (Continuous Availability), стійкість до стихійних лих (Disaster Tolerance).

Зрозуміло, що засоби контролю і діагностики повинні характеризуватись малою вартістю, високою гнучкістю, можливістю перевірки складних вузлів; забезпечувати контроль і діагностику в РРЧ, мати розвинуте математичне і програмне забезпечення. Крім того, треба зважати на такі параметри, як об'єм контролю, трудозатрати на його підготовку і здійснення.

Для виконання цих вимог недостатньо оцінювати тільки параметри засобів КіД (вибрана стратегія, методи та практична реалізація), але і конструктивне виконання системи та місце засобів контролю в цій структурі.

Причому одні і ті самі засоби КіД повинні визначати несправність і збійність інформації мінімум на трьох ієрархічних рівнях: СОС – ФЕ – ФВ (функціональний вузол).

Тому проблемним є питання вибору процедури, методу контролю та діагностики і пошуку компромісу між окремими складовими системи в двох площинах: “контроль – діагностика” і “апаратний – програмний” контроль.

**Постановка задачі.** Врахувавши, що в більшості технічних комплексів схеми опрацювання сигналів конструктивно розміщені поряд з іншими системами, визначимо основні етапи їхньої побудови з урахуванням вимог до засобів КіД. Такими етапами є:

1. Вибір стратегії організації контролю і діагностики.
2. Розроблення діагностичної моделі (ДМ) СОС.
3. Розроблення схем СОС з урахуванням особливостей ДМ.
4. Перевірка окремих ФЕ і СОС в такій послідовності: функціональний контроль для отримання якісної оцінки працездатності ФЕ, функціональний контроль для отримання якісної оцінки працездатності СОС, діагностичний тест для визначення місця і часу виникнення несправності (при непрацездатній системі).

Крім того, необхідно забезпечувати працездатність засобів КіД в РРЧ або псевдоРРЧ в робочих режимах СОС і їхні мінімальні вагогабаритні показники.

**Вибір способів реалізації поставленої задачі.** Стратегія організації контролю і діагностики повинна базуватись на одному з трьох основних принципів побудови діагностичних систем: централізованого діагностування, розкручування, розподіленого діагностичного ядра.

Для діагностики вибирають принцип розкручення, граф якого для чотирьох елементів контролю/діагностики  $V_i$  наведений на рис. 1, де  $i$  – послідовність тестування, ДЯ $_i$  – номер діагностичного ядра.

Розробляючи ДМ на основі аналізу функціональних можливостей СОС, кінцевим продуктом якого є граф-модель (МФ) функціонування, необхідно розробити параметричну модель (ПМ). Її отримують за результатами МФ неперервним відображенням множини функціональних властивостей

в множину параметрів. Причому множину параметрів об'єкта діагностування можна розділити на такі підмножини:

$C$  – підмножина параметрів вхідних сигналів, що подають на СОС в процесі оцінки технічного стану;

$V$  – підмножина параметрів, яка характеризує працездатність системи;

$U$  – підмножина параметрів вихідних сигналів системи;

$S$  – підмножина параметрів, яка характеризує працездатність ФЕ.

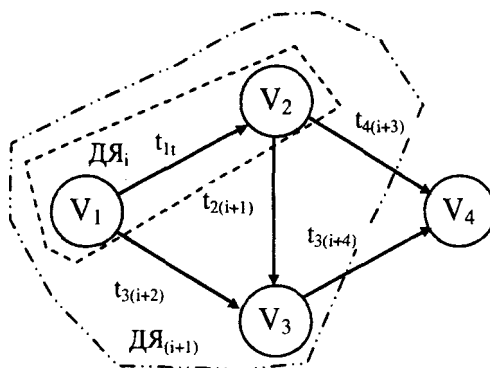


Рис. 1. Діагностичний граф принципу розкручення

ПМ вказує тільки на наявність зв'язку між параметрами, тобто залежність  $U = U(C, S)$  без кількісних співвідношень між ними.

Далі потрібно вибрати вид і повноту кількісного описання зв'язків між параметрами. На практиці технічний стан системи оцінюють при фіксованих значеннях  $C$ . У такому разі параметри підмножини  $U$  є функцією тільки параметрів ФЕ, тобто  $U = U(S)$ .

Оскільки перевірка окремо СОС в складі технічного комплексу ускладнюється через необхідність введення комутаційних елементів, елементів зберігання тестових масивів і вузлів аналізу результату, треба намагатися замінити перевірки окремих елементів системи комплексною перевіркою, яка б дала змогу визначити стан цих вузлів (для зменшення апаратних затрат на реалізацію вузлів КіД).

На особливу увагу заслуговує пошук варіантів контролю системи в РРЧ за непрямими методами, які аналізують працездатність всього комплексу за станом певної групи сигналів.

При розробленні схем доцільно розрізнити функціональне діагностування з метою контролю і з метою пошуку несправностей. Загальна структурна схема системи діагностування апаратними засобами з метою контролю наведена на рис. 2, де СП – схема порівняння,  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  – вектор входу,  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$  – вектор виходу,  $\epsilon = \{\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n\}$  – вектор помилок.

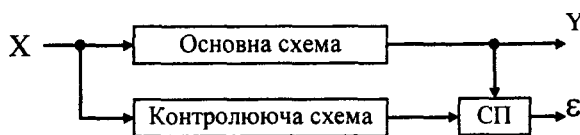


Рис. 2. Структурна схема апаратного контролю

Коефіцієнт надлишкового обладнання для цієї схеми дорівнює:

$$K_n = \frac{L_o + L_n + L_k + L_{cn}}{L_o + L_n}, \quad (1)$$

де  $L_o$  – об'єм обладнання основної схеми, охопленої апаратним контролем;  $L_n$  – об'єм обладнання основної схеми, не охопленої апаратним контролем (неконтрольована частина схе-

ми);  $L=L_o + L_n$  – об’єм обладнання основної схеми;  $L_k$  – об’єм обладнання схеми контролю;  $L_{сп}$  – об’єм обладнання схеми порівняння.

Враховуючи, що  $L_{сп} \ll L$  і  $L_{сп} \ll L_k$ , значенням  $L_{сп}$  можна знехтувати.

В будь-якому разі при оцінці затрат треба враховувати два випадки: коли схема контролю контролюється повністю і коли вона не контролюється.

Тестове діагностування передбачає подачу на контролюючий пристрій спеціальних збурень (тестів), які дають змогу за вихідними сигналами пристрою порівнянням отриманих результатів із заздалегідь відомими еталонними виявити заданий клас несправностей в цьому пристрої.

Достовірність функціонування перевіряють за деякий проміжок часу

$$t = t_p + t_r, \tag{2}$$

де  $t_p$  – тривалість основної роботи,  $t_r$  – тривалість проходження тесту.

Структурна схема тестового діагностування наведена на рис. 3.

Необхідно визначити тип функціонального контролю згідно з рис. 2 і схему тестового діагностування згідно з рис. 3. Причому треба зауважити, що при визначенні технічного стану системи необхідно, щоб умови, за яких здійснювався контроль, відповідали функціонуванню системи. Оскільки цю умову виконати достатньо важко, можна допустити певні спрощення, замість складних вхідних сигналів (корисний сигнал + завада) на вхід системи подати стимулюючі сигнали простої форми.

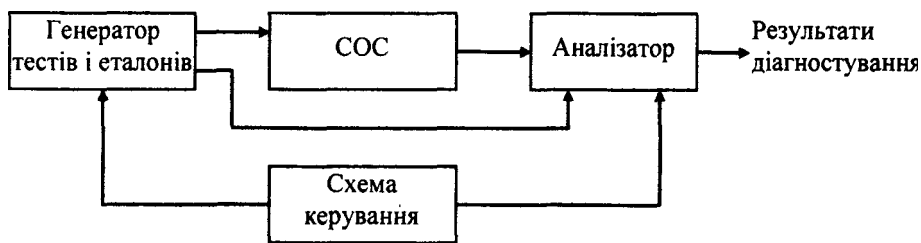


Рис. 3. Структурна схема діагностування

Подача стимулюючих сигналів і спостереження вихідних реакцій здійснюється в контрольних точках системи, від вибору яких залежить рівень завад в сигналах, що спостерігаються та інформативність параметрів.

**Розроблення схем системи та окремих вузлів.** Найповніше розроблені схеми контролю і діагностики ФЕ і ФВ. Аналіз таких схем, аналогічних рис. 2, наведений в [5]. В більшості з них забезпечується 100 % здатність виявлення помилки за значних додаткових апаратних затрат. Тому їх використовують тільки для виконання задач спеціального призначення у відмовостійких системах. Для більшості ж систем використовують методи, які основані на генерації кодових послідовностей, наприклад, на генеруванні контрольної суми [6]. В [7] розроблено великий клас алгоритмів тестування, які базуються на псевдовипадковій стратегії, але не можуть забезпечити 100 % виявлення помилок. Автономний псевдовичерпний підхід [8] забезпечує виявлення всіх помилок; при контролі результатів тестування зовнішнім пристроєм. Перспективними є методи автономного визначення помилок, які базуються на підході “проекування для забезпечення тестування”. На окрему увагу заслуговують методи контролю ФВ, в яких функції обчислюють за наближеними формулами. Наприклад, для контролю вузла обчислення модуля комплексного числа згідно з (3) пропонують використовувати (4).

$$Y = \max \left\{ |X_i|, \left( \frac{7}{8} |X_i| + \frac{1}{2} |X_j| \right) \right\}, \quad \text{при } |X_i| \geq |X_j|; \tag{3}$$

$$Y_{\text{mod}3} = (2K_1 + 2b_1 + 2K_2 + b_2)_{\text{mod}3}, \tag{4}$$

де  $K_1, K_2$  – значення контрольних розрядів, відповідно,  $X_1$  і  $X_2$ ,  $b_1$  – значення трьох молодших розрядів  $X_1$ ,  $b_2$  – значення молодшого розряду  $X_2$ .

Для контролю СОС і програмованих процесорів опрацювання сигналів (DSP), що входять до складу системи, запропоновано використовувати схему згідно з рис. 2. Для цієї системи автор [5] розробив алгоритм формування вхідних послідовностей та схема апаратних засобів його реалізації, які забезпечують мінімальні апаратні затрати. Алгоритм діагностики базується на формуванні вхідних даних для аналізу амплітудно-частотної характеристики і може бути використаний, наприклад, для перевірки системи опрацювання радіолокаційної інформації, яка входить до складу радіолокаційного комплексу (РЛК) когерентно-імпульсного локатора.

Структурна схема системи з елементами діагностики наведена на рис. 4, де СС – сигнали синхронізації, ШД – шина даних; жирними лініями показано інформаційні шини, простими – сигнали керування і синхронізації.

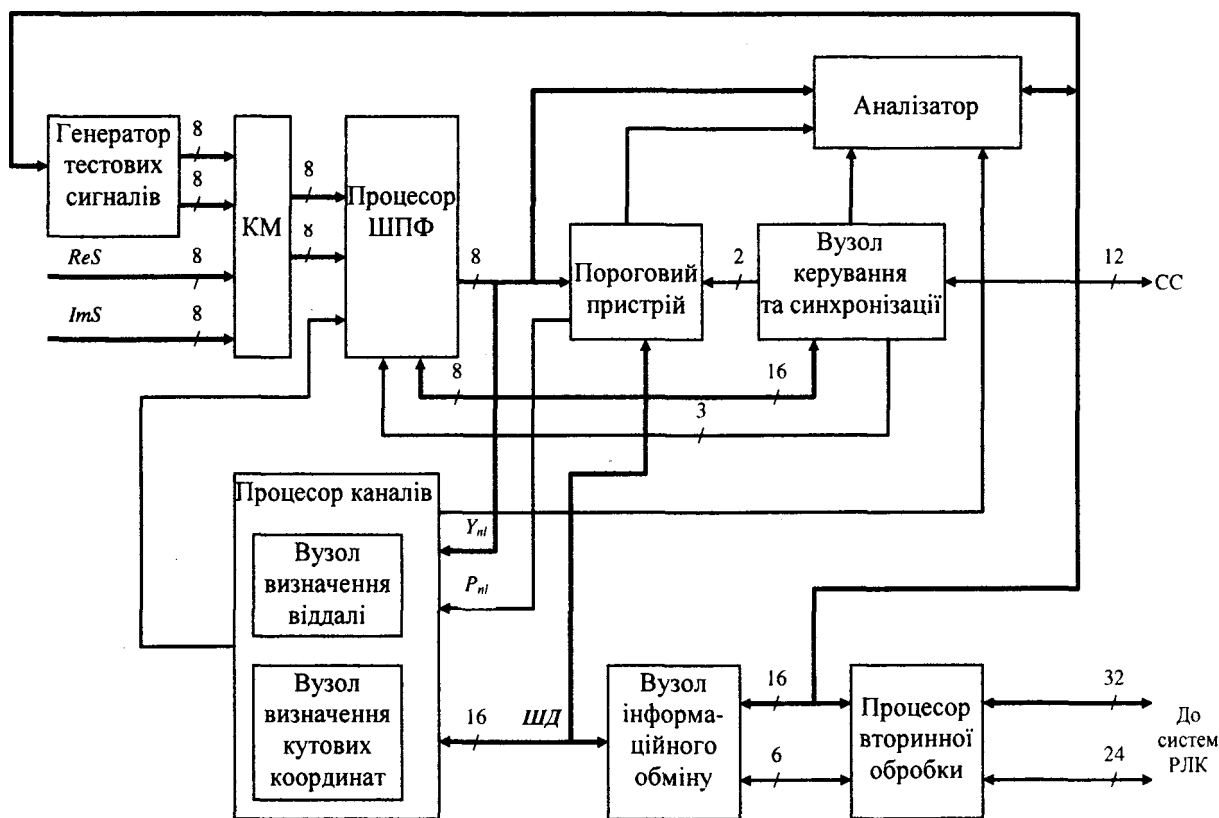


Рис. 4. Структурна схема СОС з засобами діагностики

Процесор ШПФ обчислює в РРЧ 1024-точкове амплітудне ДПФ (залежно від режиму роботи системи) зі зважуванням над черезперіодними вибірками  $S(n,i)$  ( $n$  – поточний номер елемента дальності,  $i$  – номер черезперіодної вибірки в межах одного циклу обчислень) комплексної огинаючої вхідного сигналу, що приймають з  $N$  суміжних елементів дальності (віддалі до об'єкта), визначає ковзаюче середнє значення сигналу.

В пороговому пристрої здійснюється порівняння інформації, що надходить з процесора ШПФ з кодом порога, формуються ознаки порівняння, які повинні перемножуватись на значення режесуючої функції.

У вузлі керування та синхронізації формуються набір синхроімпульсів і зондувальних сигналів, які використовують для синхронізації роботи всіх вузлів радіолокаційного комплексу.

Вузол інформаційного обміну використовується для обміну між процесорами первинної і вторинної обробки.

На вхід системи обробки надходять з приймача проміжкової частоти 8-розрядні значення  $ReS$  і  $ImS$ , які приймаються і обробляються в стробі приймання інформації (СПІ), що є одним з імпульсів стеження, що вирабляється в каналі визначення віддалі. Інформація з виходу процесора

ШПФ  $Y(n,l)$  ( $l$  – номер коефіцієнта Фур'є – номер гармоніки) надходить на вузол визначення віддалі (на схему визначення максимальної гармоніки). В пороговому пристрої значення  $Y(n,l)$  порівнюються з еталонними значеннями (порогом). Результати порівняння  $P(n,l)$  надходять на схему формування коду дальності у вузлі визначення віддалі до мети.

*Режими роботи СОС.* Вузли діагностики і контролю не впливають на функціонування і, відповідно, на характеристики системи. Враховуючи це, визначені такі режими роботи системи: “Робочий”, “Робочий, з проведенням діагностики”, “Діагностики”, “Тест”.

На виході генератора тактових сигналів (ГТС) формуються синусоїдальні сигнали або сигнали завод з тактом надходження вхідної інформації  $S$ . В процесі роботи здійснюється апаратний контроль в процесорі ШПФ, пороговому пристрої (ПП), вузлах визначення віддалі (ВВВ) і керування та синхронізації (ВКС). При виникненні несправності відбувається перехід в режим “Діагностики”, в якому на виході ГТС формуються тестові масиви для почергової перевірки складових системи, а саме: ШПФ, ШПФ + ПП, ШПФ + ПП + процесор каналів і т. д.; тобто реалізовується принцип розкручування. В режимі “Робочий, з проведенням діагностики” на вхід системи надходять сигнали з робочих системних вузлів, результати обробки, наприклад, з процесора ШПФ, аналізуються вузлом аналізатора. Це дає можливість перевірити вузли, які розміщені перед системою обробки. У такому разі час  $t_r$  (див. (2)) буде істотно більшим від  $t_p$ , особливо в системах спектрального аналізу.

Вхідні дані, що надходять на вхід системи в робочому режимі, можна використати для непрямих методів контролю, які забезпечують не тільки контроль власної апаратури, але й вхідних каналів. Структура пристрою для виявлення сигналів, що виконує ці вимоги, наведена на рис. 5.

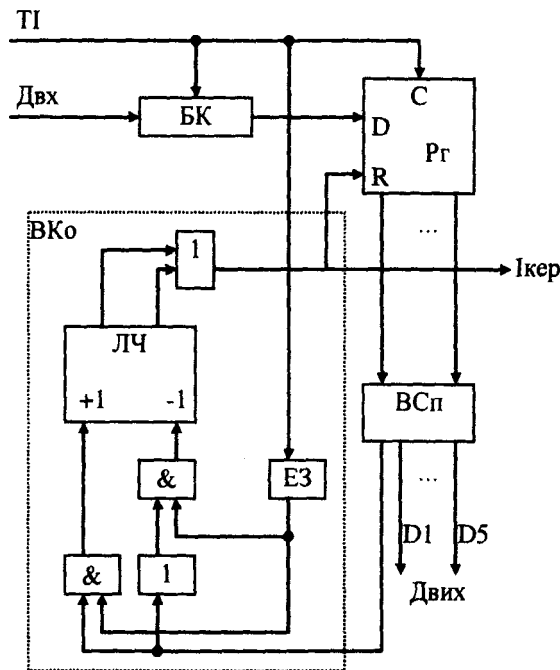


Рис. 5. Структурна схема виявляча сигналів

На бінарному квантувачі (БК) послідовно формуються сигнали виявлення, які зсуваються на регістрі зсуву (Рг) по сигналах ТІ. На виході Рг формується код, на основі якого на виходах вузла збігу (ВСП), що реалізований на ПЗП, формуються ознаки виявлення за певним законом, наприклад, на D2 – “8 ознак з 8”, на D3 – “6 одиниць підряд”, на D5 – “5 ознак з 8”, і т. п. Інформація з останнього виходу ВСП (узагальнююча ознака виявлення) через комунікаційні елементи надходить на входи підсумовування/віднімання Лч. У разі постійного рівня сигналу упродовж  $n$  періодів, на одному з виходів Лч буде сформовано сигнал несправності, який встановлює Рг в нульовий стан і надходить на вихід пристрою.

**Результати досліджень.** При реалізації вузлів системи СОС (див. рис. 4) на базі ПЛІС сім'ї FLEX10K (ф. Altera) і процесорів типу ADSP-2181 (ф. Analog Devices) коефіцієнт надлишковості обладнання  $K_n$  (див. ф-лу 1) становить: 1,14 (для вузлів з апаратним контролем – ШПФ, ПП, ВВВ, ВКС, без врахування затрат на реалізацію ГТС і аналізатора); для всієї системи  $K_n = 1,2$ . Тривалість проходження тесту  $t_r$  (див. (2)) співрозмірна з періодом основної роботи  $t_p$ . Час діагностики ( $t_d$ ) для цієї системи визначається розмірністю ШПФ  $N$  і дорівнює:  $t_d \approx 1,04 t_p * N$ .

**Висновки.** Проаналізовано основні підходи до діагностики і контролю систем і процесорів опрацювання сигналів у режимі реального часу. На основі цього запропонована процедура діагностики і контролю на основі багаторівневої архітектури, з можливістю контролю на рівні виконання задач (алгоритмів) роботи. Ієрархічність передбачає:

- на рівні СОС – використання непрямих методів контролю, насамперед, діагностики на базі зовнішньої КДА (генератор тестових сигналів + аналізатор), тестові масиви якої орієнтовані на перевірку правильності виконання комплексного алгоритму. Причому у такому разі контроль здійснюється в РРЧ, а діагностика в режимі псевдоРРЧ (вхідні дані і сигнали керування надходять з частотою аналогічною, як в робочих режимах, а тривалість діагностики визначається необхідною кількістю тестів для виявлення місця дефекту);

- на рівні ФЕ – використання загальновідомих програмних і апаратних методів контролю, і контролювання виконання алгоритму;

- на рівні ФВ – використання загальновідомих програмних і апаратних методів контролю.

Цей підхід забезпечує виявлення відхилень в роботі як самої СОС, так і зовнішніх пристроїв (давачі, АЦП, виконавчі механізми) за мінімальних додаткових апаратних затрат з можливістю виявлення місця дефекту.

Розроблені схеми системи СОС і виявляча сигналів, в яких використано запропоновані процедури діагностики і контролю.

Для цих схем визначено коефіцієнт надлишковості обладнання  $K_n$  і аналітичний вираз часу діагностики.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на пошук алгоритмів контролю і діагностики і розробку системи, яка автоматично пристосовується до дефектів і здатна автоматично здійснювати виявлення, виділення і відновлення дефектів за рахунок використання надлишковості системи і ціленаправленої зміни структури.

1. Щербаков Н.С., *Достоверность работы цифровых устройств.* – М.: Машиностроение, 1989. – 224 с.
2. Доценко Б.И. *Диагностирование динамических систем.* – К.: Техника, 1983. – 159 с.
3. Jun-Fu Li, Shyue-Kung Lu, Shih-Arn Hwang, Cheng-Wen Lu. *Easily Testable and fault-tolerant FFT butterfly network* // IEEE Trans on circuits and systems. – Sept. 2000. – Vol. 4. – P. 919–929.
4. Redinbo G.R., Manomohan R. *Fault Tolerance in Computing, Compressing and Transmitting FFT Data* // IEEE Trans on communication. – Des. 2001. – Vol. 49. – P. 2095–2105.
5. Ваврук Є.Я. *Організація контролю та діагностики ШПФ-схем у режимі реального часу в системах опрацювання сигналів* // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2004. – 523. С. 24–29.
6. Oh C.G., Youn H.Y., and V.K.R.aj. *An efficient algorithm-based concurrent error detection for FFT network* // IEEE Trans Computer. – Sept. 1995. – Vol. 44. – P. 1157–1162.
7. Yamashita K., Kanasugi A., and Goto G. *A wafe-scale 100 000-gate FFT processor with built-in test circuit* // IEEE Journ. of Solid-State Citcuits. – 1988. – Vol. 23. – P. 336–342.
8. Antola A., Sami M.G., Sciuto D. *Testing approaches for flowgraph-derived FFT arrays* // Int. Conf. jn Systolic Arrays, Killarney Ireland. – 1989. – P. 325–334.