

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Харківський національний університет радіоелектроніки

АНДРУСЕВИЧ АНАТОЛІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.37/39.029.3

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОНІТОРИНГУ ЖИТТЄВОГО
ЦИКЛУ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ НА ЕТАПАХ
ПРОЕКТУВАННЯ, ВИРОБНИЦТВА І ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків 2012

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у Харківському національному університеті радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Невлюдов Ігор Шакірович,
 Харківський національний університет
 радіоелектроніки, завідувач кафедри технології і
 автоматизації виробництва радіоелектронних засобів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Піза Дмитро Макарович,
 Запорізький національний технічний університет
 проректор з перспектив розвитку університету,
 директор інституту інформатики і радіоелектроніки;
 доктор технічних наук, старший науковий
 співробітник **Зубков Анатолій Миколайович**,
 Львівський науково-дослідний радіотехнічний
 інститут, головний науковий співробітник, головний
 конструктор;
 доктор технічних наук, професор,
Овчаренко Віталій Євгенович,
 Державне підприємство „Науково-дослідний
 технологічний інститут приладобудування”,
 Національне космічне агентство України, заступник
 директора з наукової роботи.

Захист відбудеться «21» листопада 2012 р., о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.0.03 Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: пр. Леніна, 14, м. Харків, 61166.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки, за адресою: пр. Леніна, 14, м. Харків, 61166.

Автореферат розіслано «____» _____ 2012 р.

Вчений секретар
 спеціалізованої вченої ради _____ В.М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний етап розвитку радіоелектронних засобів (РЕЗ), характеризується підвищенням рівня складності, наукоємності і вимог щодо якості та живучості їх зразків. Особливо інтенсивно прогресують засоби зв'язку, радіолокації, навігації, телеметрії (наприклад, наземні і бортові комплекси радіоелектронного устаткування (РЕУ), які забезпечують політ повітряних засобів (ПЗ)).

Сьогодні при вирішенні проблем підвищення якості техніки широко використовується концепція життєвого циклу технічних об'єктів (ЖЦ ТО). Концепція визначає основні принципи організації безперервної інформаційної підтримки складної наукоємної продукції на всіх етапах її ЖЦ, що базується на електронному поданні даних. При цьому ЖЦ ТО включає такі основні етапи:

- створення моделі виробу – концептуальне і робоче проектування;
- створення екземплярів виробу – матеріально-технічне забезпечення, виготовлення, контроль і діагностика;
- експлуатація виробу і технічне обслуговування.

Перераховані етапи повинні мати матеріальну, теоретичну та безперервну інформаційну підтримку для керування процесами ЖЦ із метою забезпечення якості та живучості сучасної техніки.

До нових технологій безперервної інформаційної підтримки складної наукоємної продукції необхідно віднести моніторинг на всіх етапах її ЖЦ. Моніторинг, що базується на моделюванні, електронному поданні і використанні інформації для забезпечення ЖЦ, виконує за своїм визначенням функції щодо нагляду за станом об'єктів, припускає збір і обробку інформації про ЖЦ і, отже, є частиною технологій забезпечення якості і живучості РЕЗ.

До найбільш важливих функцій моніторингу, реалізованих на сьогодні, відноситься контроль і прогнозування стану РЕЗ і процесів забезпечення їх ЖЦ. Для складних технічних систем виникає необхідність прийняття рішень за відсутності формальних методів постановки і вирішення задач забезпечення життєвого циклу РЕЗ. При цьому найбільш ефективними стають людино-машинні процедури, засновані на інтелектуальних можливостях систем, що реалізують згадані процедури в «діалозі» людини з ЕОМ. Таким чином, моніторинг, здатний відображати сутність процесів, які відбуваються в ЖЦ РЕЗ, і, отже, що дає можливість використовувати штучний інтелект для побудови математичних і логічних моделей, стає діючим інструментом життєвого циклу РЕЗ.

Ідеї моніторингу ЖЦ, використання його можливостей при забезпеченні ЖЦ РЕЗ знайшли відображення в роботах багатьох учених і фахівців. Однак реалізовані до сьогодні системи моніторингу дозволяють визначати стан РЕЗ тільки окремо на кожному з його етапів (проектування, виробництво, експлуатація). Ця обставина є стримуючим чинником на шляху подальшого розвитку методів підвищення якості та живучості РЕЗ, оскільки сьогодні не подолано труднощі відображення інформації слабкоформалізованих процедур моніторингу, що охоплює всі етапи ЖЦ.

Із цієї причини в радіоелектронному приладобудуванні утворилося протиріччя між підвищенням вимог щодо якості та живучості РЕЗ і відсутністю наскрізного

моніторингу ЖЦ РЕЗ, що охоплює всі його етапи: проектування, виробництво та експлуатацію. Це протиріччя є змістом актуальної науково-технічної проблеми, що полягає в необхідності створення і реалізації методів та засобів цілісного, а не поетапного моніторингу ЖЦ РЕЗ. Таким чином, тема, присвячена розробці теоретичних основ моніторингу для забезпечення можливості прийняття ефективних рішень при підтримці ЖЦ РЕЗ на базі більш досконалих моделей, що повніше відображають процеси, які відбуваються в ЖЦ РЕЗ, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота за своєю спрямованістю і змістом відповідає паспорту спеціальності – 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Дослідження з дисертаційної роботи пов'язано з виконанням науково-дослідних робіт у Харківському національному університеті радіоелектроніки (ХНУРЕ) в рамках держбюджетних тем: №189-1 “Теоретичні основи логістичних систем у технології автоматизованого виробництва радіоелектронного приладобудування” (ДР № 0105U002739); № 224 “Конструкторсько-технологічні основи створення перспективних компонентів мікроелектромеханічних систем і технологій їх виробництва” (ДР № 0108U002216); № 248-1 «Теоретичні основи мікроелектромеханічних систем, проектування та технології їх виробництва для гнучких інтегрованих систем» (ДР № 0110U002594) на підставі наказу Міністерства освіти і науки України № 686 від 22.07.09 р. У зазначених роботах здобувач брав участь як виконавець. Ним розроблено методи та моделі життєвого циклу на етапах проектування, виробництва та експлуатації РЕЗ.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка основ теорії цілісного моніторингу ЖЦ РЕЗ на етапах їх проектування, виробництва, експлуатації і застосування цієї теорії для створення програмно-технічних засобів підвищення якості та живучості радіоелектронної апаратури.

Досягнення поставленої мети забезпечується в роботі шляхом вирішення таких задач:

- проведення системного аналізу існуючих методів щодо реалізації моніторингу ЖЦ РЕЗ для підвищення якості та надійності РЕЗ;
- розробка методології вирішення функціональних задач цілісного моніторингу процесів ЖЦ РЕЗ;
- розвиток моделей і заснованих на них методів моніторингу показників ЖЦ РЕЗ на стадії проектування;
- розвиток і використання інформаційних моделей для моніторингу показників життєвого циклу у виробництві РЕЗ;
- розвиток методів моніторингу, моделей еволюції і живучості РЕЗ у процесі експлуатації;
- розробка математичного, програмного, технічного забезпечення і синтезу систем відображення процесів ЖЦ РЕЗ;
- верифікація і апробація розроблених методів й засобів моніторингу ЖЦ РЕЗ.

Об'єктом дослідження є процеси життєвого циклу радіоелектронних засобів і їх взаємозв'язки на етапах проектування, виробництва і експлуатації радіоелектронної апаратури.

Предметом дослідження є методи та моделі здобування інформації про

процеси життєвого циклу радіоелектронних засобів на етапах проектування, виробництва і експлуатації.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач використовувалися основні положення функціонального аналізу, нерівноважної термодинаміки, спектрального аналізу й обробки сигналів, оцінювання і прогнозування випадкових процесів, методи імітаційного та ситуаційного моделювання, оптимізації, розпізнавання образів, надійності, синтезу і тестування цифрових схем. Для обробки, відображення результатів експериментальних досліджень і під час розробки програмного забезпечення систем відображення інформації використовувалися можливості програмних систем, методи візуального проектування на основі мови UML.

Наукова новизна отриманих результатів

Основним науковим результатом дисертації є запропонована концепція моніторингу ЖЦ РЕЗ, відмінна ознака якої від відомої концепції – це реалізація можливості відображення поточної інформації про стан всіх етапів ЖЦ за рахунок застосування принципів візуального аналізу фізико-хімічної сутності процесів ЖЦ РЕЗ і, отже, можливості прийняття рішень в умовах невизначеності шляхом створення системи «людина-машина». Впровадження згаданої концепції при створенні цілісного моніторингу, що пов'язує етапи проектування, виробництва та експлуатації, забезпечує більш об'єктивне визначення стану ЖЦ РЕЗ, а отже, і прийняття більш ефективних проектних рішень, спрямованих на підвищення якості та живучості створюваних РЕЗ.

У рамках основного отримано ряд окремих наукових результатів:

- вперше розроблено метод відображення і візуалізації результатів моніторингу, що характеризується поданням множин параметрів РЕЗ, як «статистичного ансамблю», що дає можливість отримувати зображення фазової площини. Спостерігаючи розпад і перемішування ансамблю точок фазової площини, особа, що приймає рішення (ОПР), оцінює технічний стан і невизначеність у поведінці об'єкта;

- вперше розроблено метод візуалізації технічного стану та ресурсних характеристик РЕЗ, відмінною рисою якого є геометрична інтерпретація ситуації, що допускає аналогію опису кінетики деградаційних процесів і процесів зміни параметрів РЕЗ, що дає можливість створити математичне і програмне забезпечення систем моніторингу, та дозволяє на основі візуалізації процесу зміни технічного ресурсу прогнозувати відмови РЕЗ;

- набули подальшого розвитку методи ідентифікації станів РЕЗ, відмінною рисою яких є забезпечення формулювання правила поділу множин у просторі станів і правила, що встановлюють відповідності між множинами параметрів і значеннями показників ефективності ЖЦ РЕЗ, застосування згаданих правил дає можливість побудови і контролю алгоритмів оптимізації показників ЖЦ РЕЗ;

- набули подальшого розвитку методи вирішення задач вибору інформативних ознак РЕЗ і відображення моніторингу, як процесу ЖЦ РЕЗ, які відрізняються використанням геометричної інтерпретації, розглядом задач вибору в ознаковому просторі, а отже, і візуалізації процесів аналізу й оптимізації моніторингу;

- набули подальшого розвитку методи моделювання і відображення ЖЦ РЕЗ на стадії проектування, які відрізняються візуалізацією програмних моделей процесів функціонування і контролю функціонування РЕЗ у вигляді діаграм UML. Розробка таких моделей і їх відображення пропонується як частина підсистеми концептуального макромодельювання в САПР. Отримані результати заносяться в PDM-систему «SQL-PDM», що дає можливість ухвалювати рішення про конструктивне і схемотехнічне виконання, функціональний контроль РЕЗ;

- набули подальшого розвитку методи представлення переліку електрорадіовиробів (ЕРВ), відмінні риси яких полягають у “розфарбовуванні” таблиць, що відображують і зіставляють варіанти оптимального, з урахуванням багаторежимності, впливу навантажень, і реального вибору ЕРВ (перелік ЕРВ є одним з основних конструкторських документів РЕЗ). Запропонований метод відображення дає можливість оцінити оптимальність вибору ЕРВ за критеріями надійності і вартості;

- удосконалено методи та засоби моніторингу виробничого середовища при виготовленні РЕЗ, відмінністю яких є зменшена трудомісткість процесу діагностики в умовах відсутності принципових електричних схем складних цифрових модулів систем керування технологічним устаткуванням (СКТУ), відсутності інформаційної або функціональної моделі деяких елементів СКТУ, що забезпечує можливість зменшення трудомісткості процесу;

- удосконалено модель опису зв'язку між зовнішнім виглядом монтажних з'єднань і фізико-хімічними процесами, які не піддаються контролю, що протікають при утворенні монтажних з'єднань РЕЗ, що характеризується формулюванням і розв'язанням задач на основі застосування теорії флуктуацій і нерівноважної термодинаміки, що дає можливість отримати інформацію про розладнання і порушення технології виробництва РЕЗ;

- удосконалено модель процесу зміни технічного ресурсу на стадії експлуатації РЕЗ, яка характеризується використанням термодинамічного опису фізико-хімічного механізму явищ масопереносу та структурних перетворень у матеріалах, формуючих властивості РЕЗ і значення інформативних параметрів РЕЗ, це дало можливість проводити оцінку кінетики деградаційних процесів і динаміки ресурсних характеристик РЕЗ.

Обґрунтованість і вірогідність отриманих наукових результатів підтверджено достатнім обсягом натурних і обчислювальних експериментів, практичним використанням розглянутих теоретичних положень і отриманих на їхній основі висновків, які дали можливість створити достовірні математичні моделі для розробки ефективних методів і засобів моніторингу ЖЦ РЕЗ на етапах проектування, виробництва та експлуатації.

Практична значущість отриманих результатів визначається:

- методами створення технічних і програмних засобів, які реалізовані відповідно до розроблених теоретичних основ моніторингу життєвого циклу радіоелектронних засобів на етапах проектування, виробництва і експлуатації;

- застосуванням запропонованого моніторингу процесу оптимізації при виборі переліку елементів у ході проектування РЕЗ, що сприяє раціональному розподілу

засобів на придбання ЕРВ і, як наслідок, зниженню собівартості багаторежимних радіоелектронних систем;

- технологічними інструкціями та рекомендаціями з проведення випробувань і контролю РЕЗ, зразками технічних засобів, необхідним математичним і програмним забезпеченням, що сприяє вирішенню задач оптимального вибору матеріалів, атестації, підготовки, обґрунтування режимів і оснащення технологічних процесів складання й монтажу у виробництві РЕЗ;

- методиками й інструкціями моніторингу технічного ресурсу РЕЗ, що дає можливість: оцінити ефективність вхідного і прийомного контролю, підвищити результативність механічних, електричних, теплових, виробничих випробувань, відкоригувати процеси виробництва й експлуатації РЕЗ;

- методами і засобами моніторингу технологічного середовища у вигляді примусової діагностики, *n*-значного моделювання, експертної діагностики із застосуванням зростаючих пірамідальних мереж, що дає можливість забезпечувати контроль і підтримку цифрових систем керування технологічним устаткуванням.

Результати розробок і досліджень впроваджені:

- у ДП “Комунар” під час складання оптимального переліку елементів при проектуванні РЕЗ (акт № 1 від 10 березня 2012 р.);

- у ДП НДТІП м. Харків під час оцінки технічного ресурсу дослідних зразків РЕА в процесі їх випробувань і дослідної експлуатації з використанням запропонованих автором методів моніторингу (акт № 2 від 14 березня 2012 р.);

- у ПАО “Дослідно-експериментальний завод № 20 цивільної авіації” під час моніторингу виробничого середовища в умовах часткової невизначеності під час виготовлення РЕЗ літальних апаратів (акт № 4/118 від 15 лютого 2012 р.);

- у ДП “Харківський науково-дослідний університет технології машинобудування” під час моніторингу технічного устаткування, з використанням інформації, отриманої за допомогою запропонованих автором методів діагностики і прогнозування технічного ресурсу (акт № 6 від 23 березня 2012 р.);

- у ДП «АНТОНОВ» під час проведення випробувань і контролю РЕЗ (акт № 2 від 18 січня 2012 р.);

- у РСП “Київцентраеро” під час вирішення задач оптимального проектування, контролю технологічних процесів виготовлення, а також прогнозування технічного стану при експлуатації РЕЗ ЛА (акт № 7 від 20 грудня 2011 р.);

- у Харківському національному університеті радіоелектроніки під час розробки навчальних курсів і НДР (акт № 1 від 17 лютого 2012 р.);

- у Запорізькому національному технічному університеті під час розробки навчальних курсів (акт № 1 від 4 квітня 2012 р.);

- у Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» під час розробки навчальних курсів і НДР (акт № 1 від 22 березня 2012 р.).

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримано безпосередньо автором. У друкованих наукових працях, опублікованих у співавторстві, авторові належить: в [5] – методи діагностики і контролю в процесі моніторингу технологічного середовища; в [6, 25] – методи термодинаміки при моделюванні процесу витрати ресурсу електронної апаратури; в [9, 22] –

термодинамічні моделі життєвого циклу електронної апаратури; в [8, 12, 14, 16, 18, 24] – методи створення засобів моніторингу ЖЦ РЕЗ і системи технічного обслуговування і налаштування ТП; в [2, 7, 13, 20, 21, 23, 27] – методи та моделі моніторингу технологічного устаткування у виробництві РЕЗ; в [1, 3, 4, 10, 11, 15, 17, 19, 26, 28, 29] – теоретичні основи та моделі методів візуалізації, обробки інформації і прийняття рішень, у процесі моніторингу ЖЦ РЕЗ на етапах проектування, виробництва й експлуатації.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи представлені на: 16-й Міжнародній конференції «Нові технології в машинобудуванні», (м. Харків-Рибаче, 3-8 вересня 2006 р.), XVI International conference “New leading technologies in machine building”, (Rybachie, Ukraine September 3-8 2007), 3-й МРФ «Прикладна РЕ. Стан і перспективи розвитку», (м. Харків-Судак, 30 вересня-3 жовтня 2008 р.), 5-й Міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми радіотехніки і телекомунікацій РТ-2009», (Севастополь, 20-25 квітня 2009 р.), XIX International conference “New leading technologies in machine building”, (Kharkov-Rybachie, September 3-8 2009), 9-й Міжнародній науково-технічній конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів», (Кременчук, 05-07 листопада 2010 р.), IV-й Міжнародній науковій конференції «Функціональна база наноелектроніки», (Харків-Кацивелі, 30 вересня – 3 жовтня 2011 р.), X-й Міжнародній науково-технічній конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів», (Кременчук, 4-6 листопада 2011 р.), а також на науково-технічних семінарах і конференціях ДП НДТІ Приладобудування, м. Харків і Запорізького національного технічного університету.

Публікації. Основні результати за темою дисертації опубліковані автором дисертаційної роботи в чотирьох монографіях [1–4], у наукових статтях у періодичних виданнях, що входять до переліку спеціалізованих видань України [5–21], у доповідях науково-технічних конференцій [22–29] – усього в 29 публікаціях.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота є рукописом і складається із вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Обсяг дисертації – 249 с. основного тексту, додатків на 28 с.; 53 рис. в основному тексті і 22 у додатках; 13 табл. в основному тексті і 4 у додатках; 197 використаних джерел на 22 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність наукової проблеми, наведено зв'язки дисертаційної роботи з науковими напрямками. Сформульовано наукову проблему, наведено відомості про наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, реалізацію результатів роботи. Наведено інформацію про наукові публікації автора за темою роботи, його особистий внесок у вирішення наукової проблеми моніторингу життєвого циклу РЕЗ. Викладено короткий зміст дисертаційної роботи.

У **першому розділі** міститься аналіз сучасного стану та шляхів удосконалювання моніторингу ЖЦ РЕЗ. ЖЦ продукту властива велика різноманітність процесів, які найбільше впливають на зміну стану продукту: процес проектування, виробничий процес, процес експлуатації.

Моніторинг, виконуючи за своїм визначенням функції щодо нагляду за станом об'єктів, сьогодні здійснюється в рамках систем збору і обробки інформації, які можуть виконувати функції, контролю параметрів діагностування, прогнозування, оцінювання техніко-економічного рівня, якості. Ці функції реалізовані в рамках систем автоматизації процесів ЖЦ РЕЗ.

Наведено огляд основних типів автоматизованих систем, що використовуються у життєвому циклі виробів. Аналіз сучасного стану моніторингу, реалізованого в системах автоматизації процесів ЖЦ РЕЗ, показав, що методи моніторингу, які є інструментом інформаційної підтримки ЖЦ, дають можливість отримати ознаки, що характеризують окремі сторони ЖЦ на кожному з етапів, разом з тим за результатами моніторингу необхідно оцінити стан ЖЦ у цілому з урахуванням природного взаємозв'язку процесів, що проходять на всіх етапах ЖЦ РЕЗ. Очевидно, тільки цілісний моніторинг дає можливість приймати обґрунтовані, багатоальтернативні рішення про необхідність проведення заходів щодо модернізації, настроювання, технічного обслуговування, зниження витрат, безпеки, утилізації РЕЗ.

Відомі методи вирішення функціональних задач цілісного моніторингу і побудова відповідних автоматизованих інформаційно-аналітичних систем нашою хуються на труднощі, пов'язані з формалізацією вхідної і вихідної інформації і моделей, що визначають взаємозв'язки в задачах обробки інформації. Так, можливий принцип побудови таких систем, коли на етапі проектування і виробництва за результатами моніторингу можна дати оцінку відповідності РЕЗ сучасному рівню розвитку науки і техніки, на етапі експлуатації оцінити технічний ресурс, на підставі цієї інформації ухвалити рішення щодо стану ЖЦ РЕЗ і необхідності реалізації вищезазначених заходів.

Для складних систем, у тому числі цілісного моніторингу ЖЦ РЕЗ, виникає необхідність прийняття керуючих рішень у ситуації відсутності формальних прийомів. Тут найбільш ефективними стають людино-машинні процедури, засновані на «діалозі» людини, інакше особи, що приймає рішення (ОПР), з ЕОМ і задачі керування вирішуються в рамках автоматизованих людино-машинних систем, а моніторинг, здатний відображати суть процесів, що відбуваються, стає діючим інструментом керування ЖЦ РЕЗ. Відсутність достатніх можливостей такого

відображення в сучасному моніторингу визначає напрямок проведених у роботі досліджень.

У другому розділі розглядається методологія цілісного розв'язання комплексу функціональних задач моніторингу ЖЦ РЕЗ. Визначено функціональні задачі моніторингу, як частини інформаційної підтримки ЖЦ РЕЗ.

У загальному вигляді моніторинг технічного об'єкта, як РЕЗ, можна розглядати як частину (підсистему) інформаційної системи, що забезпечує виконання функцій з планування, обліку, контролю, аналізу і регулювання процесів проектування, виробництва і експлуатації (параметрів предметної області), і готує відповідні рішення. Схема на рис. 1 дає уявлення про суть моніторингу і комплекс функціональних задач моніторингу процесів, що відбуваються в технічних об'єктах (ТО), у тому числі РЕЗ, на етапах проектування, виробництва і експлуатації ЖЦ.

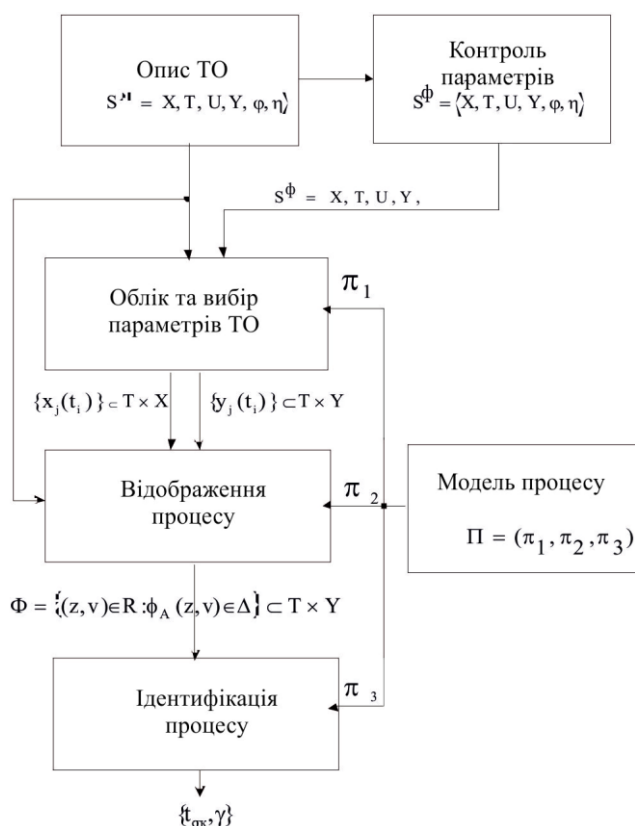


Рисунок 1 – Схема взаємозв'язку функціональних задач моніторингу ЖЦ РЕЗ

1. РЕЗ можна подати в термінах динамічної системи, обумовленої множиною $S = \langle X, T, U, Y, \varphi, \eta \rangle$, де X – множина параметрів, що характеризують стан РЕЗ, T – множина моментів часу; U – множина зовнішніх впливів; Y – множина вихідних величин; $\varphi: T \times X \rightarrow X$; $\eta: T \times X \rightarrow Y$ – функції РЕЗ, що визначають динаміку вихідних величин.

2. Задача контролю дає можливість визначити множину $S^\Phi = \langle X, T, U, Y \rangle$ фактичних значень величин, спостережуваних у певні моменти часу. В ході розв'язання задач контролю параметрів використовується інформація про діапазони вимірюваних величин, їхні часові характеристики, “еталонні” вимоги щодо виконуваних функцій і зовнішніх впливів, що надходить з опису РЕЗ (з бази даних).

Можна припустити, що при визначенні діапазону параметрів “еталонних” характеристик виникає задача оцінки граничних станів, що визначають межі множини S , поза якими втрачається ефективність і оптимальність процесів ЖЦ РЕЗ.

3. Задача вибору параметрів РЕЗ, що є інформативними ознаками для ідентифікації станів, тобто множина фактичних значень параметрів, що характеризують стани $\{x_j(t_i)\} \in X$ і виконання основних функцій $\{y_j(t_i)\} \in Y$ у фіксовані моменти часу t_i . Правила π_1 забезпечують вибір, який дає можливість оптимальним способом характеризувати процес.

4. Задача відображення процесу, необхідного як інструмент для ухвалення рішення відповідно до правил π_2 . Ці правила встановлюють відношення Φ між ознаками z зображення, отриманого в результаті розв’язання попередньої задачі, і характеристиками стану РЕЗ v , пари (z, v) належать множині R , елементи якої утворені множиною Δ функцій $\phi_A(z, v)$, що відповідають заданому критерію A . У формуванні функцій $\phi_A(z, v)$ беруть участь результати порівняння значень еталонних і фактичних значень параметрів РЕЗ.

5. Задача ідентифікації процесу, відповідно до правил π_3 , дає можливість отримати підготовлену для прийняття рішень інформацію про стан ЖЦ, наприклад, $\{t_{\text{відм}}, \gamma\}$, час відмови $t_{\text{відм}}$ і значення його вірогідності γ і забезпечити в такий спосіб досягнення мети моніторингу.

6. Забезпечення вирішення поставлених задач виконується на основі моделі процесу, що управляє вирішенням системних задач за допомогою множини правил $\Pi = (\pi_1, \pi_2, \pi_3)$.

Розроблювальні методи та засоби мають намітити шлях переходу від моніторингу, що забезпечує одержання не тільки довідкової інформації, але й рекомендацій з вибору найкращого рішення в людино-машинній системі керування ЖЦ РЕЗ при діалозі ОРП і ЕОМ з використанням ефективних засобів відображення інформації.

Для відображення інформації в такій людино-машинній системі є перспективним використання концепції образного аналізу, що вирішує задачу пошуку і побудови складних високорозвинених структур спостережуваних даних. У його основі – нетрадиційний поділ функцій між людиною і ЕОМ, при якому машина використовується в основному для формування різних звукових, контурних і кольорожскравих півтонових подань даних, а людина візуально або на слух виявляє і описує аналізовану ситуацію і цілісні образи класів, підбираючи в діалозі з ЕОМ подання, що забезпечує вирішення задачі. Геометричний підхід щодо розпізнавання образів і класів в ознаковому просторі, які відповідають модельованим і контрольованим станам ЖЦ, допускає візуалізацію і, таким чином, наочне подання процесів ЖЦ.

Однією з можливих переваг візуалізації є можливість “спостерігати” кілька процесів, один з яких відбиває поточний стан, інші – можливі стани, у тому числі граничні, що характеризують втрату ефективності РЕЗ, наприклад, втрату працездатності, показників якості та ін. Можна припустити, що така можливість полегшує вирішення задачі прийняття рішення в керуванні ЖЦ.

Відмінною рисою РЕЗ може бути наявність великої кількості контрольованих параметрів. Моніторинг, що забезпечує можливість виміряти та зафіксувати значення і швидкості зміни параметрів РЕЗ, може мати додаткові можливості, що дають уявлення про стан РЕЗ при поданні множини параметрів як статистичного ансамблю. У науці відомий прийом, коли опис поведінки мікроансамблю параметрів часток дає можливість визначити макропараметри систем, що з них складаються, створити феноменологічну теорію і використовувати її для оцінки та керування станом таких систем. Прикладом може бути фізичне середовище, що складається з атомів і молекул, мікропараметрами тут є координати й імпульси цих часток, феноменологічною теорією – термодинаміка, макропараметрами – обсяг, тиск, температура і т.п.

У роботі пропонується як макропараметр, що характеризує стан РЕЗ, використовувати ентропію, розглядаючи її як міру невизначеності в поведінці об'єкта, що має початкове значення і зростає із часом життя РЕЗ.

Як визначення нерівноважної ентропії можна використовувати вираз, запропонований Гіббсом

$$S^* = -k \int_{(\mathbf{x})} w^*(\mathbf{x}, t) \ln w^*(\mathbf{x}, t) d\mathbf{x}, \quad (1)$$

де k – постійна Больцмана;

t – час;

$\mathbf{x}$ – вектор параметрів.

Тут застосовується дискретизація $w^*(\mathbf{x}, t)$ щільності розподілу $w(\mathbf{x}, t)$ вектора параметрів, використовуючи модифіковану функцію Дірака $\mathcal{D}\left(\frac{\mathbf{x}}{\Delta}\right)$, за допомогою виразів

$$w^*(\mathbf{x}, t) = \int_{(\chi)} g(\mathbf{x} - \chi) w(\chi, t) d\chi; \quad (2)$$

$$g(\mathbf{x}) = \frac{1}{\Delta} \mathcal{D}\left(\frac{\mathbf{x}}{\Delta}\right) = \prod_{k=1}^{2N} \frac{1}{\Delta_k} \mathcal{D}\left(\frac{x_k - \mathbf{x}}{\Delta_k}\right), \quad (3)$$

де Δ – розмір фазового гнізда;

χ – допоміжна змінна;

Δ_k – інтервал прирощення k -ї змінної;

N – кількість параметрів.

Визначена в такий спосіб нерівноважна ентропія зростає, якщо прийняти гіпотезу Гіббса. Відповідно до цієї гіпотези, внаслідок досить складного і нерегулярного руху точок фазового ансамблю будь-який обмежений обсяг фазового простору із часом розподіляється по всьому доступному фазовому обсягу G . Справедливість цієї гіпотези очевидна, якщо врахувати крайню заплутаність фазових траєкторій.

Для спостереження процесу перемішування, що характеризує зміну ентропії, можна від $2N$ -вимірному простору змінних $\mathbf{x}$ перейти до двовимірного фазового

простору змінних з координатами і швидкостями x, v . Можна припустити, що функція розподілу ансамблю залежить від щільності розподілу параметрів $W_k(x, v)$ індексу k , так при статистичній незалежності параметрів один від одного $p_n(x, v) = \prod_{k=1}^n W_k(x, v)$, середнє число параметрів (елементів фазового простору) у

фазовому гнізді $\Delta x, \Delta v$ визначається за формулою $\bar{n} = \sum_{n=1}^N p_n(x, v) \Delta x \Delta v$, отже,

розподіл часток по фазових осередках визначається як і ентропія розподілом фазового ансамблю, розпад і перемішування якого збільшується із часом.

На рис. 2 наведено приклад розпаду і перемішування фазового ансамблю параметрів РЕЗ. Зображено частину фазової площини в нормованих (що змінюється від 0 до 1) координатах (по вертикалі значення параметра x_k , по горизонталі швидкість зміни параметра v_k). Тут: а) – початковий стан, усі параметри і швидкості їх зміни групуються близько своїх номінальних значень; б) і в) – стани, спостережувані зі збільшенням часу протягом ЖЦ РЕЗ.

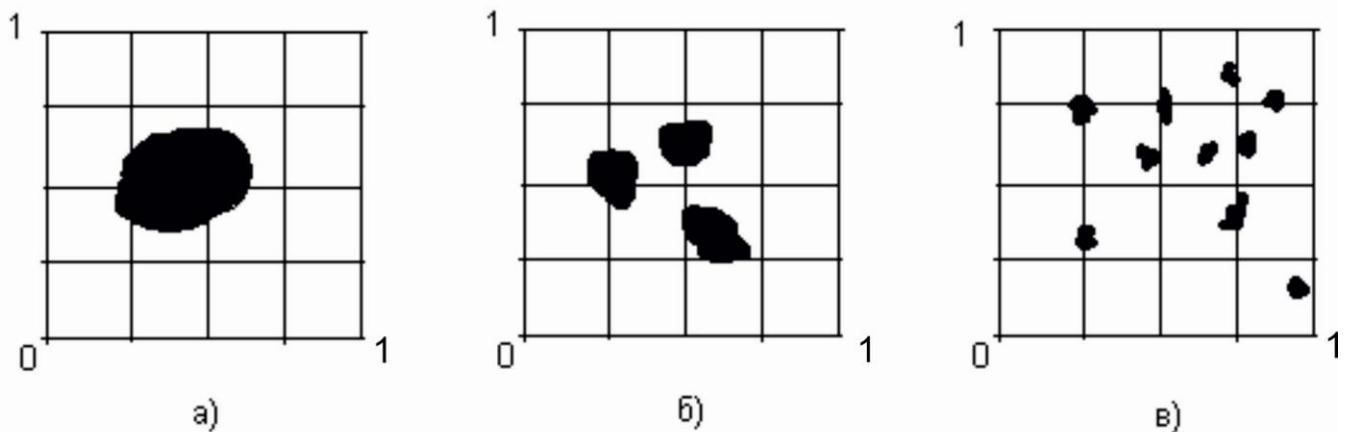


Рисунок 2 – Розпад і перемішування статистичного ансамблю параметрів РЕЗ

Таким чином, спостереження, у поле зору якого попадає фазова площа, на якій можна спостерігати розпад і перемішування статистичного ансамблю параметрів РЕЗ, дає додаткові можливості моніторингу ЖЦ РЕЗ. Спостерігаючи за цим перемішуванням, ОПР отримує можливість оцінювати міру невизначеності в поведженні об'єкта.

Функціональна задача вибору інформативних ознак для моніторингу ЖЦ РЕЗ, а також скорочення їх переліку зменшення невизначеності може вирішуватися в рамках методології розробки словника ознак у системах класифікації і розпізнавання стану об'єктів. Тут метою вибору є забезпечення оптимального розпізнавання. У робочому словнику необхідно використовувати лише ознаки, які, з одного боку, найбільш інформативні і, з іншого, можуть бути доступними (наприклад, по витратах) для виміру. Визначення словника ознак в умовах обмежень на вартість створення технічних засобів спостережень має особливості. Якщо ознаки об'єктів позначити через x_j , $j=1, 2, \dots, N$, то кожний об'єкт у N -вимірному просторі

ознак може бути поданий у вигляді вектора $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, координати якого характеризують властивості об'єктів. Для визначення міри близькості або подібності між об'єктами в N -вимірному векторному просторі ознак уводиться метрика.

Сукупність ознак об'єктів, використовуваних у робочому словнику, можна описати N -вимірним вектором $\mathbf{a} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N)$, компоненти якого приймають значення 1 або 0, залежно від того є або відсутня можливість визначення відповідної ознаки об'єкта. Тоді для визначення відстані між точками ознакового простору на основі, наприклад, евклідової метрики можна використовувати вектор $\mathbf{d}(w_{pk}, w_{ql}) = \{ (x^{(j)}_{pk} - x^{(j)}_{ql})^2 \}$ і скалярний добуток $d^2(w_{pk}, w_{ql}) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{d}(w_{pk}, w_{ql})$, а витрати на використання ознак $C = C(\alpha_1, \dots, \alpha_N) = \sum_{j=1}^N c_j \alpha_j$, де c_j – витрати на визначення j -ї ознаки.

Метою пошуку робочого словника в цьому випадку є зменшення величин $S(\Omega_p)$, кожна з яких має сенс середньоквадратичного розкиду або можливість «стиску» об'єктів усередині класу, при одночасному збільшенні $R(\Omega_p, \Omega_q)$, тобто «розведення» об'єктів, що належать різним класам. Отже, задача вибору робочого словника зводиться до пошуку умовного екстремуму функціонала, що реалізує $\underset{\alpha}{extr} I = \underset{\alpha}{extr} F [S(\Omega_p); R(\Omega_p, \Omega_q)]$, за обмежень $C = \sum_{j=1}^N C_j \alpha_j \leq C_0$.

З великим обсягом робочого словника може виникнути потреба в евристичних методах оптимізації, в роботі запропоновано деякі з них.

Ідентифікація ЖЦ РЕЗ припускає наявність правил, що визначають стани РЕЗ. Ознаками, що дозволяють розрізняти стани об'єкта моніторингу, є показники ефективності, які для виділеного стану матимуть задане або екстремальне значення. Для ідентифікації стану РЕЗ у процесі моніторингу потрібно перевірити чи є спостережувані параметри такими, які забезпечують критерії ефективності, чи належать вони множині, на якій значення показників ефективності матимуть задані або екстремальні значення. Для вирішення задач оцінки станів можна використовувати методи функціонального аналізу.

Об'єкти спостережень – параметри і характеристики РЕЗ можна розглядати, як точки векторних і функціональних просторів. Для всіляких пар точок існує бінарне відношення порівняльної ефективності: точка x ефективніше у тоді і тільки тоді, коли $(x, y) \in \Phi$ або в іншому записі $x \Phi y$. При забезпеченні ефективності ЖЦ РЕЗ розв'язується задача виділення ядра – множини максимальних елементів з X за бінарним відношенням $\Phi: X^* = \text{Max}(X, \Phi)$. Передбачається, що розв'язання задачі існує, тобто множина X^* не порожня і складається хоча б з одного елемента. У багатьох задачах можна вважати, що простори, у яких існують розглянуті точки є топологічними лінійними просторами E , а відношення між елементами встановлюються за допомогою лінійних функціоналів Λ , що утворюють сполучені простори E^* , тобто $\Lambda \in E^*$. Вид цих функціоналів визначається в процесі математичного моделювання на всіх етапах ЖЦ РЕЗ. Наприклад, точка x

ефективніше у тоді, коли $\Lambda(x) < \Lambda(y)$ або $\Lambda(x) > \Lambda(y)$. Тоді необхідною умовою для точки $x_0 \in X^*$ можна вважати $\Lambda(x_0) < \Lambda(x)$ для всіх $x \in Q_1$, де множина Q_1 визначає обмеження відповідно до вимог щодо параметрів і характеристик РЕЗ і можливість їх реалізації.

Більш змістовний вигляд задача оцінки ефективності спостережуваної точки $x_0 \in X^*$ набуває при розгляді множин спеціального виду – конусів K і дотичних їм K^* , розглянутих як сукупність усіх безперервних лінійних функціоналів, ненегативних на K (тобто $K^* = \{\Lambda \in E', \Lambda(x) > 0 \text{ для всіх } x \in K\}$). Безпосередньо з визначення випливає, що K^* – опуклий загострений конус із вершиною в 0.

Аналіз методів функціонального аналізу дозволяє виявити такі основні ознаки точки x_0 .

Нерівність $\Lambda(x) < \Lambda(x_0)$, подана у вигляді $\Lambda(x_0 + g) < \Lambda(x_0)$, визначає напрямок спадання функціонала $\Lambda(x)$ в точці x_0 . Множина $\{\lambda g\}, \lambda > 0$ утворюють конус K_0 із вершиною в точці 0.

Обмеження Q_1 дають можливість визначити можливі і дотичні напрямки та відповідні їм конуси K_a і K_b .

Знайдуться безперервні лінійні функціонали $\Lambda_0(x_0) \in K_0^*$, $\Lambda_i(x_0) \in (K_a^* \vee K_b^*)$, такі, для яких виконуються співвідношення $\sum_{i=0}^n \Lambda_i(x_0) = 0$, що є формою рівняння Ейлера.

У роботі розглянуто методи знаходження K_0, K_a, K_b для різних способів оцінки ефективності спостережуваних параметрів і завдання обмежень за допомогою різних функціоналів.

Інший приклад, у процесі моніторингу потрібно визначити чи забезпечується ефективне значення функції – характеристики РЕЗ $w(z)$, у найпростішому випадку екстремальне значення диференціювальної цільової функції одного змінного, для чого необхідно перевірити чи рівна похідна нулю при спостережуваному значенні параметра. Для багатовимірних цільових функцій і їх аргументів ця задача може розглядатися в рамках теорії множин і функціонального аналізу. Наприклад, задача спостереження оптимального настроювання частотних, часових, фазових і ін. характеристик, як одного із процесів ЖЦ РЕЗ, полягає в тому, що необхідно оцінити оптимальність функції процесу настроювання $v(z) \in M$, де z – параметр, що визначає числове значення необхідної характеристики $w(z)$ об'єкта настроювання для забезпечення такої фазової траєкторії, що забезпечує рівність $w(0) = c$, $w(Z) = d$

і екстремальне значення інтегрального функціонала $\int_0^Z F(w(z), v(z), z) dz$, за наявності зв'язку, що задається диференціальним рівнянням $\frac{dw(z)}{dz} = \varphi(w(z), v(z), z)$. Опорні

функції задаються виразами $f_0(\bar{w}, \bar{v}) = -h \int_0^Z [(F_w(w^0, v^0, z), \bar{w}) + (F_v(w^0, v^0, z), \bar{v})] dz$, і

$$f_1(\bar{w}, \bar{v}) = \int_0^Z [(\varphi_w(w^0, v^0, z), \bar{w}) + (\varphi_v(w^0, v^0, z), \bar{v})] dz, \text{ де } h \in R^1, h > 0, \bar{w}, \bar{v} - \text{вектори}$$

функціонального простору $E = C^{(n)}(0, Z) \times L_\infty$, що утворюють конуси K дотичних напрямків. При цьому самі функціонали є елементами сполученого простору і перебувають у сполучених конусах $K^* = \{hF'(w^0, v^0)\}$. Прирівнювання цих функцій, одержання і розв'язання відповідних диференціальних рівнянь дає можливість визначити ефективні точки гільбертових просторів $E_1 = C^{(n)}(0, Z)$ і $E_2 = L_\infty$, а також оцінити вплив відхилень спостережуваних точок від ефективних на функціонали.

У третьому розділі розглядаються моделі та методи моніторингу ЖЦ РЕЗ на етапі проектування. Для моніторингу проекту РЕЗ запропоновано відображення програмних моделей процесів функціонування і контролю функціонування РЕЗ. Однією з основних задач проектування відповідно до вимог CALS-технологій є розробка електронної моделі процесу, доведеної до об'єктно-орієнтованої програми, що є частиною інтегрованої моделі ЖЦ об'єкта. Зручним методом візуалізації тут може бути побудова діаграм UML.

На рис. 3 показано діаграму послідовності, що відображує процес радіозв'язку. Існують чотири об'єкти, залучені в процес: два суб'єкти зв'язку (subject – s1 і s2), пристрій зв'язку interCoupler і екземпляр класу infGenerator – джерело інформації між двома суб'єктами зв'язку.

Послідовність починається з того, що один суб'єкт (subject s1) посилає сигнал активації процесу зв'язку (conActivat) об'єкту interCoupler. У свою чергу, interCoupler посилає повідомлення про готовність reportAbout об'єкту subject, що починає ітерацію повідомлень setKoda (набір коду суб'єкта). Потім об'єкт interCoupler викликає самого себе для виконання операції – виконати виклик exeCall. Далі він створює екземпляр infGenerator, якому доручає всю іншу роботу. Об'єкт infGenerator повідомляє об'єкт (subject s2), який асинхронно посилає повідомлення про готовність до обміну інформацією exchInformat. Потім об'єкт infGenerator повідомляє interCoupler, щоб той викликав операцію connect (з'єднати), і повідомляє обом суб'єктам зв'язку, що потрібно виконати connect, після чого вони обмінюються інформацією.

Наводиться візуалізація програм у вигляді діаграми класів UML процесу контролю функціонування підсилювача радіостанції, призначеної для забезпечення телефонного радіозв'язку вертольотів і літаків, підсилювач також забезпечує передачу і приймання телекодОВОЇ інформації в режимі частотної телеграфії в метровому і дециметровому діапазоні довжин хвиль.

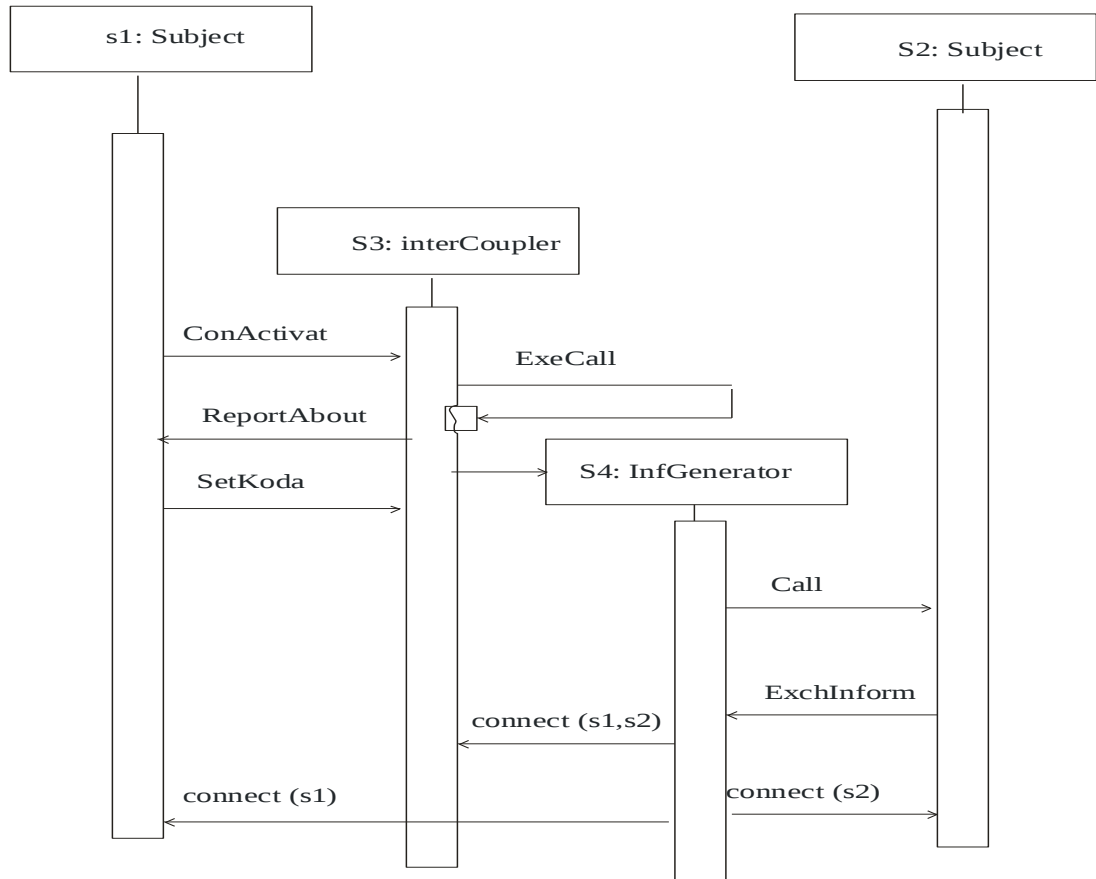


Рисунок 3 – Діаграма послідовності, що відображує процес радіозв'язку

Істотною особливістю РЕЗ є те, що значна частина виконання вимог ЖЦ обумовлюється елементною базою, тоді основною задачею моніторингу процесу проектування РЕЗ може стати перевірка оптимізації вибору електрорадіовиробів (ЕРВ) за критерієм витрат на їхнє придбання за умови виконання вимог до безвідмовності. Очевидно, сполучена задача становить вибір, що забезпечує максимальний ресурс при мінімальних витратах.

У зв'язку з моніторингом вибору ЕРВ розглядається наступна постановка задачі. Однотипні ЕРВ, призначені для виконання тих самих функцій, можуть мати різні рівні надійності. ЕРВ цих рівнів мають абсолютно ті самі значення електричних параметрів. Відмінність становить рівень їх надійності і ціни. Кожний із q застосовуваних елементів має певне значення базової інтенсивності відмов λ_q^μ , $q = \overline{1, Q}$ відповідно до одного з умовних рівнів надійності μ , $\mu = \overline{1, M}$, (у роботі $M = 4$) і певне значення ціни C_q^μ . Це призводить до задачі оптимізації, що передбачає вибір такого набору μ_q , який забезпечує мінімальні витрати на придбання ЕРВ

$$C = \sum_{q=1}^Q C_q^{\mu_q} \Rightarrow \min, \quad (4)$$

де $C_q^{\mu_q}$ – вартість q -го ЕРВ, що має умовний рівень надійності μ_q , за обмежень на інтенсивність відмов РЕЗ λ_{mp}

$$\sum_{q=1}^Q \lambda_q^{\mu_q} \cdot \sum_{j=1}^m (\psi_q(K_p^q(j)) \cdot \xi_j) \leq \lambda_{mp},$$

де $\psi_q(K_p^q(j))$ – функція впливу j -го режиму, аргументами якого є поправкові коефіцієнти $K_p^q(j)$;

ξ_j – імовірність знаходження елемента в j -му режимі.

При невеликому переліку можна використовувати методи комбінаторики, що передбачають перебір і аналіз варіантів, кількість яких визначається розмірністю задачі, використання цих методів в умовах великого переліку елементів РЕЗ може виявлятися нереальним, так для μ рівнів надійності має місце μ^Q варіантів.

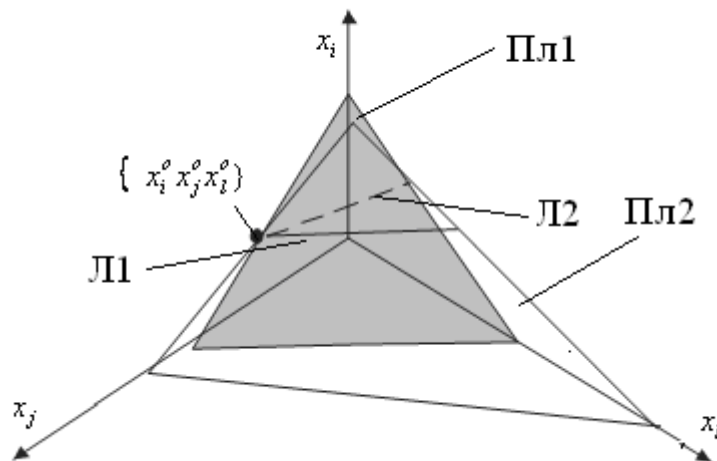
Оскільки зменшення інтенсивності відмов зі збільшенням витрат є об'єктивною закономірністю, вибираючи ЕРВ, у тому числі з каталогів і довідників, можна використовувати методи інтерполяції і апроксимації залежностей між вартістю та інтенсивністю відмов ЕРВ за допомогою опуклих функцій $\lambda_q(C_q)$, визначених на опуклих множинах $\{C_q\}$, обмежених граничними значеннями $\min C_q$ і $\max C_q$.

Запропоновано метод, що значно скорочує час пошуку за рахунок вибору оптимального початку і напрямку пошуку. Очевидно інтерполяційний лінійний функціонал $\lambda(C) = \sum_1^Q (-a_q C_q + b_q)$ утворює опорну гіперплощину

$\sum_1^Q (-a_q C_q + b_q) = \lambda_{mp}$. Ця гіперплощина проходить через множину вершин і визначає додаткові умови до обмежень $\min C_q \leq C_q \leq \max C_q$. Перетворення $x_q = C_q - \min C_q$, $\max x_q = \max C_q - \min C_q$ дають можливість виконати декомпозицію пошуку на окремі задачі у вигляді лінійного програмування у підпросторах R^3 . На рис. 4 наведено ілюстрацію вибору, зображення підпростору R^3 , що входить у простір R^Q , для координатних осей цього підпростору виконується умова $a_i \geq a_j \geq a_l$, яка визначає правило індексації в переліку елементів.

Проглядається правило вибору: оптимальна точка x_i^0 має бути крайньою точкою на множині позитивних значень x_i . При розгляді трійки $\{x_i, x_j, x_l\}$ площина $C_{ijl} = x_i + x_j + x_l$, що проходить через вершину $\{x_i^0, x_j^0, x_l^0\}$ тетраедальної множини припустимих рішень, відповідає оптимальному значенню координат, тому що із $(a_i - a_j)x_i + a_j C = \Pi - a_j \sum_{l \notin Q} x_l - \sum_{k \notin Q} a_k x_k$ випливає

$$C = \frac{(a_j - a_i)}{a_j} x_i + \frac{\Pi}{a_j} - a_j \sum_{l \notin Q, l \neq i, j} (1 - \frac{a_l}{a_j}) x_l. \quad (5)$$



Л1 – лінія перетинання площин $x_i = \max x_i$ і Пл2;

Л2 – лінія перетинання площин Пл1 і Пл2;

Пл1 – площина $x_i + x_j + x_l = C_{ijl}$;

Пл2 – площина $\sum_{k=i,j,l} a_k x_k = \Pi$

Рисунок 4 – Вибір оптимального (мінімального) значення функціонала $C = (1 \cdot x)$ на множині обмежень

Умова $a_i \geq a_j \geq a_l$, з якої згідно з (5) випливає $\frac{dC}{dx_i} \leq 0$, визначає напрямок

спадання для C , коли $C(x) \geq (1, C_{\min})$, підтверджує запропоноване правило індексації елементів.

У наведених виразах зв'язки між змінними визначаються співвідношеннями:

$$\Pi = \sum_{q \in Q} a_q \min c_q - \lambda_{mp}, q = \underset{q \in Q}{\text{Arg min}} a_q, x_i^0 = \frac{1}{a_i} (\Pi - \sum_{q \in Q} a_q x_q^0).$$

Для відображення інформації про оптимальність вибору можна запропонувати розфарбовування осередків таблиць, що відображують залежність між вартістю і інтенсивністю відмов різного рівня надійності ЕРВ. Дані можна знайти в комерційних інформаційних джерелах, що характеризують можливості різних постачальників. Ці дані можна розбити на групи і відобразити у вигляді таблиць. Приклад фрагмента такої інформації наведений у табл. 1. Тут більш темні осередки відповідають оптимальному варіанту, менш темні – реалізованому варіанту.

У таблиці в рядку 1 у стовпцях 6 і 7 виділено оптимальний варіант вибору першого з переліку елемента, у стовпцях 8 і 9 – фактичний вибір. Аналогічне розфарбування і відповідно варіанти вибору відображені в інших рядках таблиці. Наведений у таблиці ("моніторинг переліку елементів РЕЗ") вибір, який проведено з урахуванням оптимізації, і реальний рівень у достатньому ступені відображує якість

проектування в частині розв'язання основної задачі протиставлення альтернатив і прийняття рішень при виборі ЕРВ.

Таблиця 1 – Відображення результатів вибору ЕРВ (моніторинг переліку елементів РЕЗ)

№ п/ п	General		Industrial		Military		Space	
	C_q^1 , грн.	$\lambda_q^1 _{K'p}$, $10^{-6}1/\text{год}$	C_q^2 , грн.	$\lambda_q^2 _{K'p}$, $10^{-6}1/\text{год}$	C_q^3 , грн.	$\lambda_q^3 _{K'p}$, $10^{-6}1/\text{год}$	C_q^4 , грн.	$\lambda_q^4 _{K'p}$, $10^{-6}1/\text{год}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,01	0,00463	0,015	0,00320	0,02	0,00241	0,03	0,001312
2	0,01	0,00641	0,015	0,00325	0,02	0,00254	0,03	0,00125
...								
91	1,54	0,03928	1,93	0,030069	2,89	0,015151	3,75	0,006015
92	0,17	0,03687	0,21	0,025407	0,32	0,013396	0,41	0,005915
93	1,54	0,03820	1,93	0,029361	2,89	0,014520	3,75	0,005504
94	1,54	0,03474	1,93	0,025862	2,89	0,013887	3,75	0,005723
95	1,54	0,03474	1,93	0,025862	2,89	0,013887	3,75	0,005723
...								

У четвертому розділі розглядаються задачі створення і використання інформаційних технологій для забезпечення і моніторингу показників ЖЦ РЕЗ у виробництві.

Запропоновано вдосконалені методи та засоби моніторингу виробничого середовища, який сьогодні здійснюється в рамках систем технічного обслуговування технологічного устаткування, що використовує цифрові системи керування і контролю. Тут моніторинг використовується безпосередньо для налагодження, контролю, діагностики несправностей і ремонту устаткування, що є, по суті, технічним забезпеченням виробничого середовища.

Особливістю моніторингу є необхідність його реалізації в умовах часткової невизначеності. Розроблено принципи та методи створення систем примусової діагностики (СПД), які дозволяють зменшити трудомісткість процесу діагностики в умовах відсутності принципової схеми складних цифрових модулів систем керування технологічним устаткуванням (СКТУ), відсутності їх інформаційної або функціональної моделі деяких елементів ОД.

Принципи програмного забезпечення СПД базуються на адаптованих для примусової діагностики методах шестизначного моделювання цифрових систем, що допускають відображення у вигляді модифікованих зростаючих мереж (МЗМ). На рис. 5 наведено МЗМ на етапі визначення стану елемента D4 схеми.

Запропоновано методи моніторингу ТП складання і монтажу РЕЗ, які засновані на візуалізації ознак фізико-хімічних процесів, пов'язаних з мікро- і макроструктурою з'єднань, відображуваної на спостережуваній поверхні при утворенні монтажних з'єднань.

При розгляді процесів утворення монтажного з'єднання може бути прийнята модель багатокомпонентної гідротермодинамічної системи, нерівноважна термодинаміка і теорія флуктуацій при цьому дозволяє виявити ознаки, що характеризують стан з'єднання.

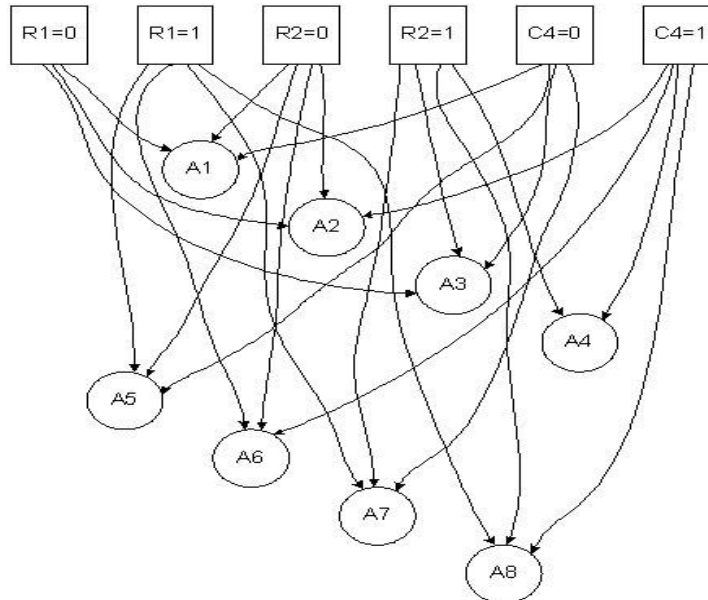


Рисунок 5 – Відображення процесу контролю стану об'єкта у вигляді МЗМ

При утворенні з'єднання, супроводжуваного зміною фазового стану матеріалів, що беруть участь у процесі, можна спостерігати зміну характеру флуктуацій геометрії поверхні. Зв'язок між флуктуаціями різних величин x_i , x_k , у тому числі характеристики розсіювання відбитого світла в різних точках поверхні при візуальному контролі характеризується величиною $\Delta x_i \cdot \Delta x_k$. Ця величина має сенс значення просторової кореляційної функції.

Можна визначити співвідношення, що зв'язують квадратичні кореляційні моменти з деякими нерівноважними середніми величинами. Нерівноважний ансамбль утворюється з канонічного рівноважного шляхом включення в початковий момент часу $t=0$ додаткової постійної сили g , що діє в напрямку узагальненої координати a . Якщо H_0 – функція Гамільтона вихідної рівноважної системи, то після включення додаткової сили функція Гамільтона системи, вважаючи $a = x$, стає рівною $H_0 + g(x|_t - x|_0)$. У момент часу t щільність імовірності відповідно до макроканонічного розподілу Гіббса канонічної змінної Z дорівнюватиме

$$w(Z) = e^{\frac{(\psi(Z) - H_0(Z) + g(x|_t - x|_0))}{kT}}. \quad (6)$$

Середнє значення узагальненої координати по нерівноважному ансамблю (6) у момент t запишеться у вигляді

$$\overline{x|_t} = \int_{(Z|_t)} x(Z) e^{\frac{(\psi(Z) - H_0(Z) + g(x|_t - x|_0))}{kT}} dZ. \quad (7)$$

Середній квадрат зсуву $\overline{(x|_t - x|_0)^2} = \Delta x^2$, відповідний до флуктуації, запишеться у вигляді

$$\overline{\Delta x^2} = 2kT \left[\frac{\partial a}{\partial q} \right]_{q=0}. \quad (8)$$

Отже, якщо відоме рівняння процесу, яке описує зміну “координат” під дією “сил”, тобто рух у системі, то можна визначити флуктуацію макропараметра, спостережуваного в процесі контролю з'єднання. Для знаходження рівняння руху систем, відповідних до середовища, у якому йде процес, що призводить до утворення монтажних з'єднань РЕЗ, можна запропонувати два методи, перший з яких засновано на феноменологічній теорії нерівноважних процесів, другий використовує кінетичну теорію статистичної фізики.

У першому методі закон зростання ентропії, як макроскопічної величини, за рахунок її виробництва дозволяє знайти рівняння руху і дати оцінку “силам” за допомогою рівняння балансу ентропії, що відіграє в теорії нерівноважних процесів центральну роль.

Можна визначити конкретну форму рівняння балансу ентропії для достатньо загальної моделі багатокомпонентної гідротермодинамічної системи, якою є середовище під час формування з'єднання

$$\sigma = \sum_{j=1}^R J_j g_j + J_q g_q + \sum_{k=1}^K J_k g_k + p^v g_v + P^{vs} g^s_v + P^{va} g^a_v \geq 0. \quad (9)$$

Тут J_i і g_k позначають незалежні скалярні термодинамічні потоки і сили, а у випадку векторних і тензорних процесів – усі декартові компоненти відповідних тензорних і векторних величин, що входять у білінійний вираз для виробництва ентропії.

Згідно з (9), створення ентропії містить у собі чотири члени, які відповідають джерелам, що відносяться до нерівноважних процесів, які мають істотно різну фізичну природу. Так, джерело ентропії, обумовлене хімічними реакціями, визначається як сума білінійних форм скалярів J_j і g_j

$$\sigma_c \equiv \sum_{j=1}^R J_j g_j. \quad (10)$$

Створення ентропії, що відноситься до теплопровідності, визначається добутком полярних векторів J_q і g_q

$$\sigma_q \equiv J_q g_q. \quad (11)$$

Створення ентропії, обумовлене дифузією, є сума скалярних добутоків полярних векторів J_k і g_k , тобто

$$\sigma_d \equiv \sum_{k=1}^K J_k g_k. \quad (12)$$

Створення ентропії, обумовлене в'язкими явищами

$$\sigma_v \equiv p^v g_v + P^{vs} g^s_v + P^{va} g^a_v, \quad (13)$$

визначається білінійною формою від щільностей потоку імпульсу і відповідних термодинамічних сил, що відносяться до явищ об'ємної в'язкості, зсувної в'язкості і в'язкості внутрішнього обертання.

При термодинамічній рівновазі створення ентропії σ дорівнює нулю. Ця умова, а також найбільш загальний зв'язок між незалежними потоками і силами виражаються в лінійному наближенні за допомогою лінійних кінематичних конститутивних рівнянь (законів) Онзагера

$$J_i = \sum_{k=1}^f L_{ik} g_k \quad (i = 1, 2, \dots, f). \quad (14)$$

Коефіцієнти Онзагера L_{ik} є функціями локальних параметрів стану: температури, тиску, хімічних потенціалів, що залежать від концентрацій, і т.п.

Другий метод опису руху в системі використовує кінетичну теорію статистичної фізики. Тут задачі оцінки характеристик нерівноважних процесів можуть бути вирішені за допомогою рівнянь руху, що звичайно називаються кінетичними рівняннями.

Кінетичне рівняння для функції розподілу можна отримати, знаходячи рівняння для щільності ймовірності, частки зі статистичного ансамблю W_1 , тобто

$$W_1(r_1, p_1, t) = \int w(r_1, \dots, p_N; t) dr_2 dp_2 dr_3 dp_3 \dots dr_N dp_N.$$

Кінетичне рівняння здобуває більш простий вигляд, якщо від функції W_1 , що має зміст щільності ймовірності даної частки мати задані координату і імпульс, перейти до функції розподілу $f(r, v, t)$

$$f(r, v, t) = m^2 N W_1(r, p, t). \quad (15)$$

Таким чином, знання функції розподілу, отриманої на основі методу Гіббса з урахуванням термодинамічних сил у виразі для Гамільтоніана, використання рівнянь нерівноважної термодинаміки, що визначають взаємодію термодинамічних сил і рух потоків, а також кінетичних рівнянь статистичного ансамблю, дає можливість давати оцінку макроскопічних, спостережуваних при моніторингу величин, що характеризують монтажне з'єднання РЕЗ.

П'ятий розділ присвячено задачам забезпечення моніторингу процесів зміни стану РЕЗ під час їх експлуатації. Одним з основних застосувань такого моніторингу

є прогнозування відмов. Використання концепції візуалізації процесів дає можливість із великим ступенем наочності спостерігати процес зміни стану РЕЗ. Тут відображується ознаковий простір і області, що відповідають можливим і реальним контрольованим значенням параметрів системи, під час ЖЦ відбувається рух, змінюється конфігурація, розміри і обриси областей. Цим областям можна присвоїти відповідні назви – область наявного ресурсу (НР), область виробленого ресурсу (ВР).

Аналогічне зображення можна отримати при відображенні реального фізичного процесу, який відбувається в реальному фізичному середовищі, при цьому може йти мова про фізичний об'єкт, у якому перебувають частини взаємореагуючих речовин, обсяги яких змінюються із часом, і ці зміни відбуваються відповідно до закономірностей протікання реальних реакцій.

Для моделювання процесу витрачання ресурсу РЕЗ пропонується використання термодинамічного підходу, де розглядається характерна для розглянутих реакцій необоротність ентропії, як несиметричної щодо часу функції стану системи, у формі другого початку термодинаміки. З позиції термодинамічного підходу для опису процесів, що відбуваються у відображуваному середовищі, які супроводжуються зміною її внутрішніх параметрів V_j , що характеризують стан середовища, можна використовувати рівняння Онзагера у вигляді

$$I_j = \frac{dV_j}{dt} = \sum_{k=1}^m M_k F_{kj}, \quad (16)$$

де I_j – потік складових термодинамічного середовища (швидкість зміни параметрів, що характеризують стан середовища, речовини, зарядів, тепла і т.д.), який визначає швидкість зміни параметрів V_j ;

F_{kj} – термодинамічні сили (градієнти щільності, напруг, температури і т.д.);

M_k – лінійні феноменологічні коефіцієнти.

Прикладами феноменологічних коефіцієнтів можуть бути коефіцієнти дифузії, теплопровідності тощо. Аналогічне рівняння може мати місце і для V – обсягу (площі) спостережуваного зображення ВР, тоді рівняння процесу, що поєднує термодинамічний і фізико-хімічний підходи, можна подати у вигляді

$$\frac{dV}{dt} = K(W_0 - V)^r = f(V), \quad (17)$$

де показник r – порядок реакції, може дорівнювати нулю або одиниці для лінійної і двом для нелінійної моделі.

Враховуючи статистичний характер зміни ресурсу РЕЗ аналогічного поводженню ансамблю і області ВР, можна навести відповідну ілюстрацію (рис. 6). Середнє значення $\bar{V}$ зображено тут жирною лінією. Істинне випадкове значення V у даному конкретному експерименті зображено тонкою нерегулярною лінією.

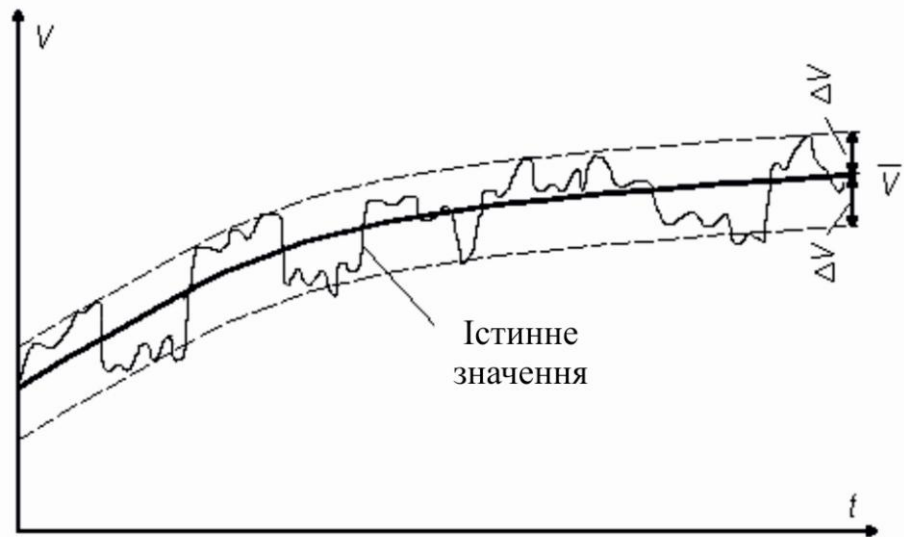


Рисунок 6 – Вплив випадкових факторів на обсяг ВР

Запропоновано використання методів оптимальної фільтрації для прогнозування параметрів процесу в часі. Опис поведінки процесу в часі представляється сумою двох складових детермінованої (трендової) і випадкової. Розв'язання рівняння (17) може бути використане для знаходження детермінованої частини часової залежності обсягу ВР. Особливістю розв'язання задачі, пов'язаної із застосуванням оптимальної фільтрації для виділення і прогнозування випадкової складової з моделі процесу, є нелінійність еволюційних рівнянь. Запропоновано лінеаризацію задачі на основі концепції опорної траєкторії і розкладання нелінійної функції в ряд. Подальше оцінювання і прогнозування випадкового адитивного виправлення до детермінованого розв'язання еволюційних диференціальних рівнянь дає можливість отримати модель процесу витрачання ресурсу технічних систем, що враховує випадковий компонент при його відображенні і ухваленні гарантованого розв'язання при прогнозуванні зміни параметрів.

Тоді рівняння еволюції матиме вигляд

$$\frac{dV_{on}}{dt} + \frac{dz}{dt} = f(V_{on}) + \frac{df(V)}{dV} \Delta V. \quad (18)$$

Розглядається розв'язання задачі прогнозування випадкової складової на основі алгоритму екстраполяції Калмана, що передбачає використання моделей еволюції випадкової складової і спостереження в дискретні моменти часу, що задаються номером k . Початкові умови визначаються при $k=0$, при $k=1$ виконується спостереження, прогнозування здійснюється для $k=2$. Ці моделі визначаються рівняннями

$$z(k+1) = \frac{df(V)}{dV} z(k) + w(k), \quad (19)$$

$$g(k) = z(k) + v(k). \quad (20)$$

Тут $w(t)$ – нормальний білий шум з нульовим середнім значенням $\text{cov}\{\omega(t), \omega(\tau)\} = d_w \delta(t - \tau)$, де $\delta(t - \tau)$ – дельта-функція Дірака, $v(t)$ – процес, обумовлений похибкою спостереження. Природа процесу $w(t)$ обумовлена флуктуаціями параметрів нерівноважних середовищ, що відповідають основним положенням статистичної фізики, яка дає можливість обґрунтувати поведінку ансамблю мікрочастинок, що визначають термодинамічні параметри середовищ, з яких вони складаються. Як наслідок такого поводження можна побачити теплові шуми, броунівський рух і інші подібні явища. У розглянутій задачі шум характеризує імовірнісну розмитість меж області ВР, обумовлену флуктуаціями її розмірів, які носять випадковий характер. Тут також проглядається аналогія з реальним середовищем, яке складається з ансамблів мікрочастинок, розподілених по енергіях, наприклад, канонічний розподіл Гіббса для ізотермічної системи, розподіл Максвелла-Больцмана, як наслідок цього розподілу, для ідеального газу, що дозволяє дати “механічне” трактування термодинамічним параметрам.

Можна припустити, що початкові значення випадкової складової $z(0)$ і початкова дисперсія d_w визначаються середніми значеннями $z(t)$ і дисперсією, отриманими в попередні моменти спостережень.

Рівняння екстраполяції мають вигляд

$$z(k + 1/k) = \frac{df(V)}{dV} z(k/k - 1) + K(k + 1, k)[g(k) - z(k/k - 1)], \quad (21)$$

з коефіцієнтом підсилення $K(k + 1, k)$, впливаючим з рівняння

$$K(k + 1, k) = \frac{df(V)}{dV} D(k/k - 1)[D(k/k - 1) + D_v]^{-1}, \quad (22)$$

де D_v – дисперсія, обумовлена похибками спостереження.

Рівняння дисперсії має вигляд

$$D(k + 1/k) = \left(\frac{df(V)}{dV} \right)^2 D(k/k - 1) + d_w - \left(\frac{df(V)}{dV} D(k/k - 1) \right)^2 [D(k/k - 1) + D_v]^{-1}. \quad (23)$$

Очевидно, отримані вирази за результатами спостережень $g(k)$ у момент часу, що відповідає $k = 1$, дозволяють оцінити значення $z(\delta t_p) = z(k + 1/k)$ і $D(\delta t_p) = D(k + 1/k)$ через інтервал часу прогнозу δt_p , що відповідає $k + 1 = 2$, тобто зробити прогноз розвитку процесу й оцінити помилку прогнозу.

Розроблені моделі можна використовувати при побудові алгоритму відображення області ВР із урахуванням зміни її розмірів і форми на інтервалі прогнозування. У результаті на екрані монітора відображується прямокутна область, розміри і форма якої визначаються відповідно до пропонованої, і відображується

канва (можна використовувати колірну палітру монітора), ширина якої відповідає інтервалу помилки прогнозування при заданій гарантії.

Наведений алгоритм дає можливість спостерігати на екрані монітора ситуацію, що виникає щоразу, коли після виміру параметрів необхідно ухвалювати рішення щодо можливості подальшого коректування ЖЦ РЕЗ.

У шостому розділі наведено результати досліджень з розробки математичного і програмного забезпечення систем, відображення інформації при моніторингу ЖЦ РЕЗ.

Розроблено алгоритми, програми, проведено експериментальні роботи з відображення інформації і перевірки моделі розвитку виробничих дефектів РЕЗ. На основі проведеного теоретичного обґрунтування розроблено алгоритм відображення області ВР із урахуванням зміни її розмірів і форми на інтервалі прогнозування. Наведений алгоритм дає можливість спостерігати на екрані монітора ситуацію, яка виникає щоразу, коли після виміру параметрів необхідно ухвалювати рішення щодо можливості подальшої експлуатації РЕЗ. Зображення, яке спостерігається, достатньою мірою характеризує розмір частини ВР і її розташування щодо меж припустимої області зміни параметрів. Канва навколо області ВР (відображення розмитості меж) дає можливість оцінити гарантовану помилку пророкування.

На рис. 7 наведено результати відображення зміни параметрів у вигляді графіків часових функцій відповідного процесу.

Суцільними лініями наводяться графіки рівнянь регресії, отримані за допомогою традиційного методу найменших квадратів (МНК).

На рис. 8 відображено ситуацію, коли після прискорених випробувань протягом 389 годин було ухвалене рішення про відмову ЕРВ через 50 ± 15 год., фактично відмова відбулася в інтервалі 442–447 год., тобто в найгіршому випадку через 58 год. Тут за допомогою розробленої програми відображено 64 прямокутники, що відповідають частинам виробленого ресурсу.

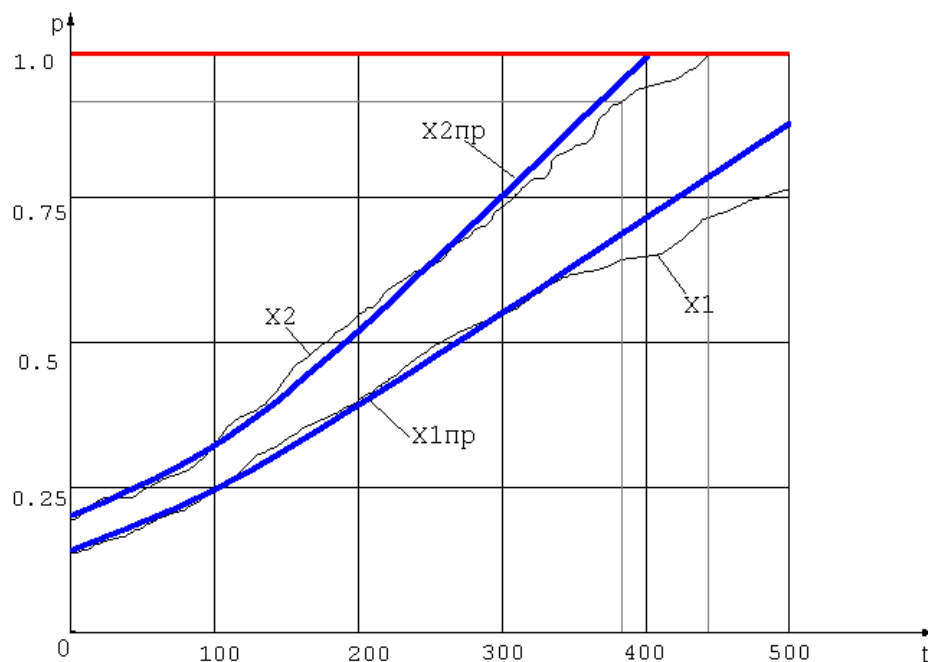


Рисунок 7 – Відображення зміни параметрів у вигляді графіків часових функцій

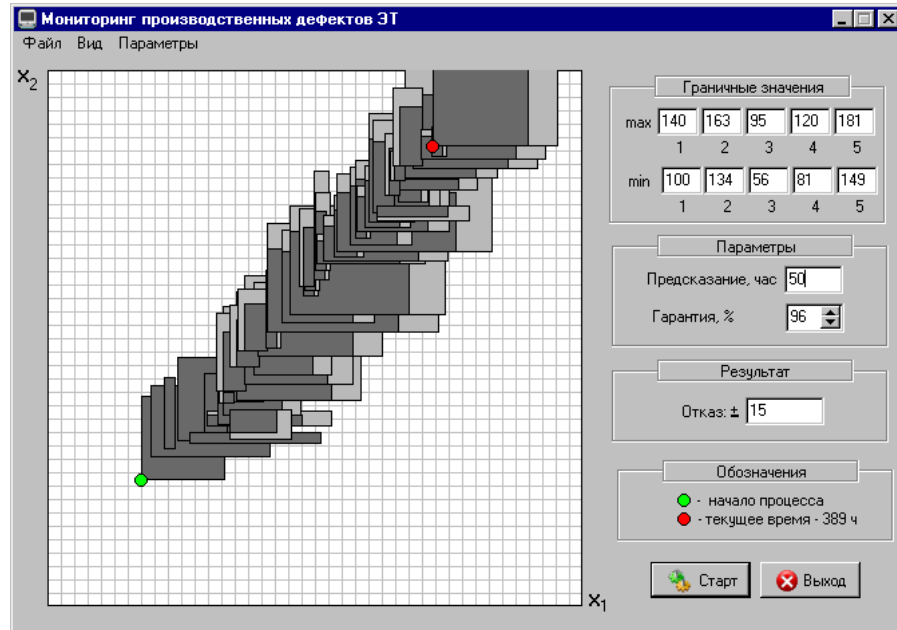


Рисунок 8 – Відображення процесу витрачання ресурсу РЕЗ

На рис. 9 відображено ситуацію, що характеризує стабільність стану РЕЗ. Тут частина ВР, спостережувана також протягом 389 год., займає невелику область, що дає підставу зробити припущення про відсутність дефектів і невеликої ймовірності параметричних відмов на інтервалі прогнозування 50 год.

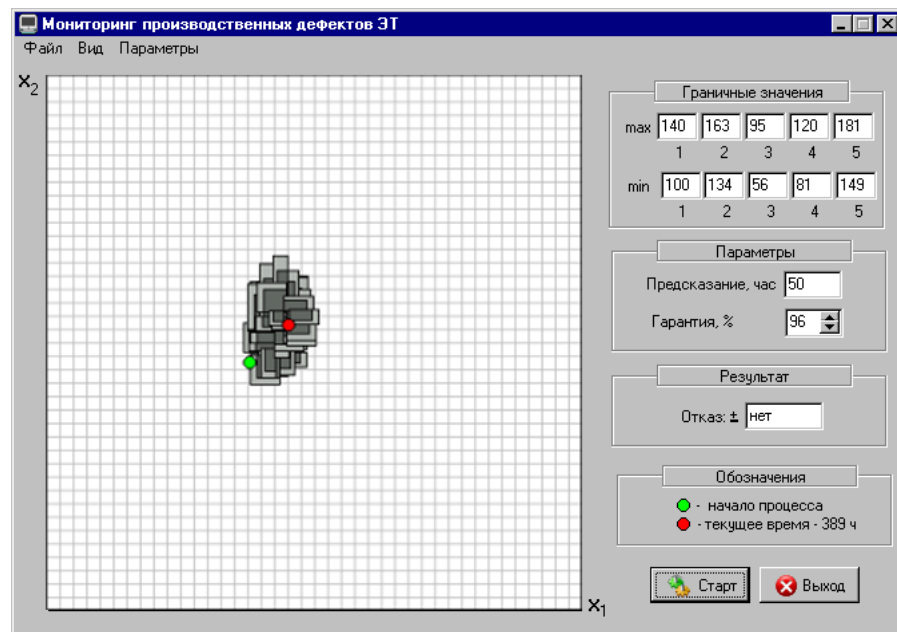


Рисунок 9 – Відображення процесу зміни технічного стану РЕЗ

Експериментальні роботи і наступний дисперсійний аналіз дають підставу зробити висновок про те, що на рівні вірогідності 0,96 імовірність виходу помилки за прогнозовані межі склала 0,07, інтервальна оцінка точності прогнозу в

наведеному прикладі на рівні вірогідності 0,04 склала 20%. В умовах проведеного в роботі експерименту точність прогнозування була в 1,9 раз вище.

Порівняння відображень процесу, отриманого на рис. 7, рис. 8 і рис. 9, свідчить на користь запропонованого методу моніторингу, у частині наочності і вірогідності прогнозування. Що стосується гарантії прогнозування, то крім кількісної характеристики її можна переглядати на екрані монітора у вигляді вищезгаданої канви. Відображення процесу на екрані крім цього характеризує значення спостережуваних у заданий момент часу параметрів, технічний стан і ресурс РЕЗ, що дає підставу в досить ефективному вдосконалюванні моніторингу РЕЗ.

У сьомому розділі наведено результати практичної реалізації досліджень. Реальні технологічні процеси характеризуються необхідністю постійного настроювання режимів і устаткування за наявності великої кількості об'єктивних і суб'єктивних факторів, викликаних зміною характеристик вихідних матеріалів і енергоносіїв, зношуванням і нестабільністю роботи устаткування, технологічного оснащення, інструмента, кваліфікацією виконавців і т.д. Розглядається розв'язання задачі, що дає можливість визначити кількість, час перевірок з'єднань і запропонувати методику оцінки періодичності профілактичних робіт у системі технічного обслуговування ТП.

Розроблено спеціальні пристрої сполучення між ТО і ЕОМ, включаючи блоки примусової діагностики. Розв'язано задачу спостереження затримок до 100 нс, викликана необхідністю спостерігати змагання сигналів з появою несправностей. Пошук таких несправностей становить значну проблему, тому що за допомогою стандартних методів візуального контролю осцилограм та індикаторів логічних аналізаторів виявити затримку 100 нс неможливо.

Апробовано у виробництві РЕЗ розроблені засоби моніторингу технологічного середовища, які дозволяють спостерігати стан систем ЧПК. Апробація проводилася на цифрових модулях таких систем ЧПК: 2C42, НЦ-31, BOSCH CC-300, CNC-600, ELSA-1000, SINUMERIC-8.5M, SIMATIC-S5. Вона показала істотне збільшення ефективності моніторингу цифрових модулів із застосуванням розроблених методів. При цьому трудомісткість процесу із застосуванням розробленого уніфікованого комплексу діагностики і контролю знизилася в 3,6 рази.

Апробовано методи візуалізації процесу витрати технічного ресурсу в одному із блоків РЕЗ, отримані в процесі електротермотренування при випробуваннях, проведених згідно з стандартною методикою. Тут критичними виявилися два параметри. Точність прогнозування часу відмови склала не менш 14% з вірогідністю 0,98.

ВИСНОВКИ

Тема дисертаційної роботи присвячена вирішенню проблеми, що полягає в необхідності створення і реалізації методів та засобів цілісного, а не поетапного моніторингу ЖЦ РЕЗ. Обґрунтованість проблеми полягає в необхідності оцінки та прогнозування станів процесів ЖЦ РЕЗ в умовах відсутності формальних методів моделювання для забезпечення можливості прийняття ефективних рішень при

підтримці ЖЦ РЕЗ, у тому числі систем дистанційного керування, орієнтації, навігації, радіолокації, зв'язку, захисту інформації.

В основу вирішення проблеми покладено запропоновану концепцію цілісного моніторингу ЖЦ. Від відомих її відрізняє використання при побудові системи моніторингу ЖЦ двох базових принципів:

- обов'язкова однотипна візуалізація інформації про сутність процесів, що відбуваються на кожному з етапів ЖЦ;

- створення в рамках інформаційної системи цілісного моніторингу підсистеми «людина-ЕОМ», у якій на основі аналізу візуалізованої інформації управлінське рішення приймає людина, що поєднує своїм інтелектом усі етапи моніторингу життєвого циклу, перетворюючи його в цілісний безперервний процес.

У підсумку проведених досліджень отримано такі результати:

1. Створено основи теорії цілісного моніторингу ЖЦ, як сукупності взаємопов'язаних методів і моделей здобування інформації про поточний стан процесів ЖЦ РЕЗ, її візуалізації і використання для вироблення ОПР на кожному з етапів ЖЦ управлінських або проектних рішень. При цьому інтелект ОПР є частиною системи «людина-ЕОМ» як необхідна ланка, що поєднує різні етапи моніторингу ЖЦ в одне ціле.

2. Розроблено моделі процесів відображення інформації при моніторингу ЖЦ РЕЗ, що дало можливість забезпечити виконання вимог у частині подання даних і доступу до них на принципах наочного, відповідного методам візуального аналізу змістовного опису процесів ЖЦ РЕЗ, і реалізації процедур ухвалення рішення в людино-машинних системах забезпечення ЖЦ на основі розпізнавання і класифікації зорових образів, що відповідають ефективним, граничним і реальним станам процесів ЖЦ РЕЗ.

3. Запропоновано метод відображення і візуалізації результатів моніторингу, заснований на поданні множини параметрів РЕЗ, як статистичного ансамблю, поведінка якого визначається законом зростання ентропії, і одержання зображення, у поле зору якого попадає фазова площина, де можна спостерігати розпад і перемішування цього ансамблю. Спостерігаючи за щільністю заселення осередків фазової площини і цим перемішуванням, ОПР отримує можливість оцінювати і технічний стан і міру невизначеності в поведінці об'єкта моніторингу.

4. Розроблено методи розв'язання задач вибору інформативних ознак для моніторингу ЖЦ РЕЗ, шляхом класифікації станів РЕЗ і процесів ЖЦ у просторі ознак, кожний з яких має певну значущість, що дозволило знайти комплексний критерій і формалізувати процедури вибору. Запропоновано візуальну модель моніторингу ЖЦ РЕЗ у вигляді комплексу діаграм, уніфікованої мови візуального моделювання UML, що забезпечує відображення моніторингу як одного із процесів, що діють на етапах проектування, виробництва і експлуатації РЕЗ.

5. Удосконалено методи ідентифікації станів РЕЗ, які інтерпретують їх як елементи сполучених лінійних просторів і завдання вихідних множин за допомогою лінійних і нелінійних функціоналів, що дає можливість сформулювати правила поділу множин у просторі станів і правила, що встановлюють відповідності між множинами параметрів і значеннями показників ефективності ЖЦ РЕЗ.

Застосування цих правил дає можливість побудови алгоритмів оптимізації показників ЖЦ РЕЗ.

6. Удосконалено методи моделювання ЖЦ РЕЗ на стадії проектування, у яких приділяється істотна роль моніторингу програмних моделей, розроблено методи відображення програмних моделей процесів функціонування і контролю функціонування РЕЗ у вигляді діаграм UML. Розробка таких моделей пропонується, як частина підсистеми концептуального макромодельювання в САПР, отримані результати заносяться в PDM – систему «SQLPDM» і є основою для ухвалення рішення про конструктивне і схемотехнічне виконання, функціональний контроль РЕЗ.

7. Розроблено метод побудови пошукових алгоритмів в умові задачі оптимізації великої розмірності і візуалізації переліку ЕРВ за допомогою розфарбовування таблиць, що відображують і зіставляють варіанти оптимального, з урахуванням багаторежимного, а також впливу навантажень, і реального вибору ЕРВ. Перелік ЕРВ є одним з основних конструкторських документів РЕЗ, що є предметом моніторингу ЖЦ РЕЗ, розроблений метод дає можливість оцінити оптимальність вибору ЕРВ за критеріями надійності та вартості.

8. Удосконалено методи та засоби моніторингу виробничого середовища при виготовленні РЕЗ у напрямку вдосконалювання систем технічного обслуговування технологічного устаткування, що використовує цифрові системи керування і контролю. Особливістю моніторингу тут є необхідність його реалізації в умовах часткової невизначеності. Розроблено принципи та методи створення СПД, які дозволяють зменшити трудомісткість процесу діагностики в умовах відсутності принципової схеми складних цифрових модулів СКТУ, відсутності інформаційної або функціональної моделі деяких елементів СКТУ, запропоновано методику функціонування СПД.

9. Наведено теоретичне обґрунтування зв'язку, що використовує теорію флуктуацій і нерівноважної термодинаміки, між зовнішнім виглядом монтажних з'єднань, і що не піддаються контролю фізико-хімічними процесами, які протікають при утворенні монтажних з'єднань РЕЗ. Це дає можливість отримати своєчасну інформацію про розладнання і порушення технології виробництва РЕЗ, і вдосконалити систему технічного обслуговування і настроювання технологічних процесів складання і монтажу РЕЗ, з використанням розроблених методів і засобів візуального моніторингу монтажних з'єднань, показано можливість зниження браку до 15%.

10. Розроблено модель процесу зміни технічного ресурсу на стадії експлуатації РЕЗ, що заснована на термодинамічному описі фізико-хімічного механізму явищ масопереносу і структурних перетворень у матеріалах, що формують властивості РЕЗ і, у результаті, значення інформативних параметрів РЕЗ, що дало можливість проводити оцінку кінетики деградаційних процесів і динаміки ресурсних характеристик РЕЗ.

11. Розроблено метод візуалізації технічного стану і ресурсних характеристик РЕЗ, заснований на геометричній інтерпретації ситуації, що допускає аналогію опису кінетики деградаційних процесів і зміни параметрів РЕЗ, що дало можливість створити математичне і програмне забезпечення систем, які дозволяють на основі

візуалізації зміни технічного ресурсу прогнозувати відмови РЕЗ. Показано, що точність прогнозування часу відмови може скласти 14% з вірогідністю 0,98.

12. Розроблено програмно-технічні засоби моніторингу ЖЦ РЕЗ. Наведено матеріали з експериментальної і практичної апробації результатів досліджень під час розв'язання задач оптимального проектування, контролю технологічного середовища і технологічних процесів виготовлення, а також прогнозування технічного стану при експлуатації РЕЗ, що входить у БРЕО. Розроблено спеціальні пристрої сполучення між ТО і ЕОМ, включаючи блоки примусової діагностики. Вирішено задачу спостереження затримок до 100 нс, викликану необхідністю спостерігати змагання сигналів з появою несправностей. Показано, що трудомісткість процесу із застосуванням розробленого уніфікованого комплексу діагностики і контролю наведених систем ЧПК у виробництві РЕЗ може бути знижено в 3,6 рази. Розроблено і апробовано в одному із блоків РЕЗ метод прогнозування відмов на основі візуалізації процесу витрачання технічного ресурсу. Показано що точність прогнозування часу відмови може скласти не менш 14% з вірогідністю 0,98.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Андрусевич А.А. Визуальный мониторинг физико-химических процессов в производстве и эксплуатации электронной аппаратуры: монография / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, М.А. Омаров. – Харьков: ХНУРЕ, 2006. – 226 с.
2. Андрусевич А.А. Методология решения комплекса функциональных задач мониторинга ЖЦ РЭС: монография / А.А. Андрусевич. – Киев: КНАУ, 2010. – 164 с.
3. Андрусевич А.А. Мониторинг процессов проектирования, производства и эксплуатации жизненного цикла электронной аппаратуры: монография / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов. – Харьков: ФЛП Цуварев А.Ф., 2009 – 272 с.
4. Андрусевич А.А. Основы теории и практика мониторинга жизненного цикла радиоэлектронных средств на этапах проектирования, производства и эксплуатации: монография / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов. – Харьков: Коллегиум, 2011 – 292 с.
5. Андрусевич А.А. Оценивание свойств материалов, образующих монтажные соединения электронной техники / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, Ю.М. Роздоловский, Е.П. Второв, С.В. Сотник // «Технология приборостроения». – 2005. – №2. – С. 51–59.
6. Андрусевич А.А. Методы термодинамики при моделировании процесса расходования ресурса электронной аппаратуры / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, М.А. Омаров, Е.П. Второв // Науч.–техн. журнал «Технология приборостроения». – 2007. – № 2. – С. 10–12.
7. Андрусевич А.А. Метод расчета оформляющих деталей формообразующей оснастки для технологического обеспечения жизненного цикла пластмассовых изделий РЭС / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, С.В. Сотник // Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно–технический сборник. – 2009. – Вып. 156. – С. 240–243.

8. Андрусевич А.А. Интегрированная система проектирования оснастки для изготовления деталей из пластмассы / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, С.В. Сотник // Науч.–техн. журнал «Технология приборостроения». – 2009. – № 1. – С. 10–13.
9. Андрусевич А.А. Термодинамическая модель процесса расходования ресурса электронной аппаратуры / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, С.В. Сотник // Восточно–Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 4/11(40). – С. 24–26.
10. Андрусевич А.А. Анализ жизненного цикла разработки программного обеспечения для корпоративных информационных систем технической подготовки производства / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, В.В. Евсеев // Восточно–Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 6/8(48). – С. 25–27.
11. Невлюдов И.Ш. Мониторинг проектирования РЭС в рамках САПР / И.Ш. Невлюдов, А.А. Андрусевич, Н.Г. Стародубцев // Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно–технический сборник. – 2011. – Вып. 167. – С. 185–189.
12. Невлюдов И.Ш. Алгоритм вибору і відображення оптимального переліку ЕРВ на етапі проектування РЕЗ / И.Ш. Невлюдов, А.А. Андрусевич // «Радіoeлектронні і комп'ютерні системи». – 2011. – № 4. – С. 25–28.
13. Невлюдов И.Ш. Мониторинг технического обслуживания и профилактики технологического процесса сборки и монтажа РЭС / И.Ш. Невлюдов, А.А. Андрусевич, И.С. Хатнюк // Науч.–техн. журнал «Технология приборостроения». – 2011. – № 2. – С. 46–49.
14. Андрусевич А.А. Анализ возможностей мониторинга жизненного цикла РЭС в рамках CALS–систем / А.А. Андрусевич, С.В. Сотник // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2012. – № 17. – С. 48–54.
15. Андрусевич А.А. Мониторинг процесса проектирования РЭС при решении задачи выбора оптимального перечня ЭРИ / А.А. Андрусевич // Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно–технический сборник. – 2012. – Вып. 168. – С. 151–155.
16. Андрусевич А.А. Алгоритм работы системы мониторинга расходования ресурса радиоэлектронных средств / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов // «Радіoeлектронні і комп'ютерні системи». – 2012. – № 1. – С. 7–10.
17. Андрусевич А.А. Мониторинг живучести радиоэлектронных средств при эксплуатации / А.А. Андрусевич, Е.П. Второв // Прикладная радиоэлектроника: науч.–техн. журнал. – 2012. – № 1. – С. 95–99.
18. Невлюдов И.Ш. Разработка и применение методов мониторинга процессов проектирования, производства и эксплуатации ЖЦ РЭС / И.Ш. Невлюдов, А.А. Андрусевич, А.Н. Донсков // Научно–технический журнал «АСУ и Приборы автоматизации». – 2011. – Вып. 156. – С. 82 – 89.
19. Nevlydov I.Sh. Research and development solution methodology of informative features choosing for the RES life cycle processes analysis / I.Sh. Nevlydov, A.A. Andrusevich, I.S. Khatnyk // Научно–технический журнал «Radioelectronics & informatics». – 2012. – № 1. – P. 17–21.
20. Андрусевич А.А. Методы мониторинга технологического оборудования при производстве радиоэлектронных средств / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов,

И.В. Жарикова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2012 г. – Вып. № 9. – С.44–51.

21. Невлюдов И.Ш. Мониторинг технологического процесса сборки и монтажа РЭС / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, Н.Г. Стародубцев // Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – 2012. – Вып. 169. – С. 349–353.

22. Андрусевич А.А. Термодинамическая модель жизненного цикла электронной аппаратуры / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, С.В. Сотник // материалы XVI International conference “New leading technologies in machine building”. – Rybachie, 2007.

23. Андрусевич А.А. Створення конструкцій оптичних з'єднувальних пристроїв та розробка технології їх збирання / А.А. Андрусевич, М.А. Омаров, Р.Ю. Аллахверанов, И.С. Хатнюк // 3-й МРФ «Прикладная РЭ. Состояние и перспективы развития». – Харьков–Судак, 2008. – Т. II. – С. 202–205.

24. Андрусевич А.А. Параболическая интерполяция в системах автоматизированной подготовки управляющих программ для ЧПУ / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, С.С. Великодный // 3-й МРФ «Прикладная РЭ. Состояние и перспективы развития». – Харьков–Судак, 2008. – Т. III. – С. 191–194.

25. Андрусевич А.А. Расчетные соотношения для термостабилизации в технологической оснастке при изготовлении изделий РЭС / А.А. Андрусевич, С.В. Сотник // 5-я Международная молодежная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ–2009». – Севастополь, 2009. – С. 53–56.

26. Андрусевич А.А. Дослідження оптичного фільтра для спектроскопії дифуздорозсіюючої поверхні / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов // XIX International conference “New leading technologies in machine building” – Kharkov–Rybachie, 2009.

27. Андрусевич А.А. Основные принципы конструктивно-технологической реализации оптических соединительных устройств на микролинзах / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, Р.Ю. Аллахверанов, И.С. Хатнюк // 9-я Международная научно-техническая конференция «Физические процессы и поля технических и биологических объектов» – Кременчуг, 2010 г.

28. Андрусевич А.А. Мониторинг процесса проектирования РЭС при решении задачи выбора оптимального перечня ЭРИ / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, М.А. Омаров // Сборник научных трудов IV Международной научной конференции «Функциональная база нанoeлектроники». – Харьков–Кацивели, 2011 г.

29. Андрусевич А.А. Моделирование процесса идентификации жизненного цикла электронной аппаратуры / А.А. Андрусевич, И.Ш. Невлюдов, Е.П. Второв // X Международная научно-техническая конференция «Физические процессы и поля технических и биологических объектов». – Кременчуг, 2011 г.

АНОТАЦІЯ

Андрусевич А.О. Теоретичні основи моніторингу життєвого циклу радіоелектронних засобів на етапах проектування, виробництва та експлуатації. – Рукопис.

Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи. – Харківський національний університет радіоелектроніки.

Тема дисертаційної роботи присвячена вирішенню проблеми, що полягає в необхідності створення і реалізації методів та засобів цілісного, а не поетапного моніторингу ЖЦ РЕЗ. Обґрунтованість проблеми полягає в необхідності оцінки та прогнозування станів процесів ЖЦ РЕЗ в умовах відсутності формальних методів моделювання для забезпечення можливості прийняття ефективних рішень при підтримці ЖЦ РЕЗ, у тому числі систем дистанційного керування, орієнтації, навігації, радіолокації, зв'язку, захисту інформації.

В основу вирішення проблеми покладено запропоновану концепцію цілісного моніторингу ЖЦ. Від відомих її відрізняє використання при побудові системи цілісного моніторингу ЖЦ двох базових принципів:

- обов'язкова однотипна візуалізація інформації про сутність процесів, що відбуваються на кожному з етапів ЖЦ;
- створення в рамках інформаційної системи цілісного моніторингу підсистеми «людина-ЕОМ», у якій на основі аналізу візуалізованої інформації управлінське рішення приймає людина, що поєднує своїм інтелектом усі етапи моніторингу життєвого циклу, перетворюючи його в цілісний безперервний процес.

На базі запропонованої концепції розроблено моделі процесів відображення інформації при моніторингу ЖЦ РЕЗ, що дало можливість забезпечити виконання вимог у частині подання даних і доступу до них на принципах наочного, відповідного методам візуального аналізу змістовного опису процесів ЖЦ РЕЗ, і реалізації процедур ухвалення рішення в людино-машинних системах забезпечення ЖЦ на основі розпізнавання і класифікації зорових образів, що відповідають ефективним, граничним і реальним станам процесів ЖЦ РЕЗ.

Розглядаються задачі моделювання ЖЦ РЕЗ на етапах проектування, виробництва, експлуатації РЕЗ. Наведено матеріали з експериментальної і практичної апробації результатів досліджень під час розв'язання задач оптимального проектування, контролю технологічного середовища і технологічних процесів виготовлення, а також прогнозування технічного стану під час експлуатації РЕЗ, що входить у БРЕО.

Ключові слова: радіоелектронна апаратура, моніторинг, життєвий цикл, візуалізація процесів, програмна модель, фізико-хімічний процес, технічний ресурс, деградаційний процес.

АННОТАЦИЯ

Андрусевич А.А. Теоретические основы мониторинга жизненного цикла радиоэлектронных средств на этапах проектирования, производства и эксплуатации. – Рукопись.

Диссертационная работа на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.12.17 – радиотехнические и телевизионные системы. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники.

Тема диссертационной работы посвящена решению проблемы, состоящей в необходимости создания и реализации методов и средств целостного, а не поэтапного мониторинга ЖЦ РЭС. Обоснованность проблемы состоит в необходимости оценки и прогнозирования состояний процессов ЖЦ РЭС в условиях отсутствия формальных методов моделирования для обеспечения возможности принятия эффективных решений при поддержке ЖЦ РЭС, в том числе систем дистанционного управления, ориентации, навигации, радиолокации, связи, защиты информации.

В основу этого решения положена предложенная концепция целостного мониторинга ЖЦ. От известных ее отличает использование при построении системы целостного мониторинга ЖЦ двух базовых принципов:

- обязательная однотипная визуализация информации о сущности процессов происходящих на каждом из этапов ЖЦ;

- создание в рамках информационной системы целостного мониторинга подсистемы «человек-ЭВМ», в которой на основе анализа визуализированной информации управленческое решение принимает человек, объединяющий своим интеллектом все этапы мониторинга жизненного цикла, превращая его в целостный непрерывный процесс.

На базе предложенной концепции разработаны модели процессов отображения информации при мониторинге ЖЦ РЭС, что дало возможность обеспечить выполнение требований в части представления данных и доступа к ним на принципах наглядного, соответствующего методам визуального анализа содержательного описания процессов ЖЦ РЭС, и реализации процедур принятия решения в человеко-машинных системах обеспечения ЖЦ на основе распознавания и классификации зрительных образов, соответствующих эффективным, предельным и реальным состояниям процессов ЖЦ РЭС.

Приводится решение задач математического моделирования функций эффективности процессов ЖЦ РЭС и выбора информативных признаков для мониторинга ЖЦ РЭС. Рассматриваются случаи недостаточного для корректной классификации количества априорных данных, предложены эвристические методы выбора по критериям использования базовых прототипов и информационных приоритетов.

Рассматриваются задачи моделирования ЖЦ РЭС на стадии проектирования, в которых отводится существенная роль мониторингу программных моделей, разработаны методы отображения программных моделей процессов функционирования и контроля функционирования РЭС в виде диаграмм UML. Разработан метод визуализации перечня ЭРИ с помощью раскрашивания таблиц, отображающих и сопоставляющих варианты оптимального, с учетом многорежимности, а так же воздействия нагрузок, и реального выбора ЭРИ. Разработанный метод дает возможность оценить оптимальность выбора ЭРИ по критериям надежности и стоимости.

Для обеспечения мониторинга ЖЦ РЭС на этапе производства приводится решение задач по усовершенствованию методов и средств мониторинга производственной среды при изготовлении РЭС в направлении совершенствования систем технического обслуживания технологического оборудования,

использующего цифровые системы управления и контроля. Особенностью мониторинга здесь является необходимость его реализации в условиях частичной неопределенности. Разработаны принципы и методы создания СПД, которые позволяют уменьшить трудоемкость процесса диагностики в условиях отсутствия принципиальной схемы сложных цифровых модулей СУТО, отсутствия информационной или функциональной модели некоторых элементов СУТО, предложена методика функционирования СПД.

Разработаны методы мониторинга ТП сборки и монтажа РЭС, на основе визуализации признаков физико-химических процессов, связанных с микро- и макроструктурой соединений, отображаемой на наблюдаемой поверхности при образовании монтажных соединений, что, в свою очередь, позволило определить методы выявления и оценивания информативных признаков живучести РЭС, выбрать и контролировать технологические режимы при подготовке производства и выполнении основных технологических операций при изготовлении РЭС.

Разработана модель процесса изменения технического ресурса на стадии эксплуатации РЭС, которая основана на термодинамическом описании физико-химического механизма явлений массопереноса и структурных превращений, в материалах, формирующих свойства РЭС и, в результате, значения информативных параметров РЭС, что дало возможность приводить оценку кинетики деградационных процессов и динамики ресурсных характеристик РЭС.

Разработан метод визуализации технического состояния и ресурсных характеристик РЭС, основанный на геометрической интерпретации ситуации, допускающей аналогию описания кинетики деградационных процессов и изменения параметров РЭС, что дало возможность создать математическое и программное обеспечение систем, позволяющих на основе визуализации изменения технического ресурса прогнозировать отказы РЭС.

Разработаны средства мониторинга ЖЦ РЭС. Приведены материалы по экспериментальной и практической апробации результатов исследований при решении задач оптимального проектирования, контроля технологической среды и технологических процессов изготовления, а также прогнозирования технического состояния при эксплуатации РЭС, входящей в БРЭО. Предложена и апробирована система выбора оптимальных технологических режимов сборки и монтажа РЭС, с использованием разработанных методов и средств визуального мониторинга монтажных соединений. В результате апробации наблюдалась возможность снижения брака до 15%. Разработаны специальные устройства сопряжения между ТО и ЭВМ, включая блоки принудительной диагностики. Решена задача наблюдения задержек до 100 нс, вызванная необходимостью наблюдать состязания сигналов при появлении неисправностей. Показано, что трудоемкость процесса с применением разработанного унифицированного комплекса диагностики и контроля приведенных систем ЧПУ в производстве РЭС может быть снижена в 3,6 раза. Разработан и апробирован в одном из блоков РЭС метод прогнозирования отказов на основе визуализации процесса расходования технического ресурса. Показано, что точность предсказания времени отказа может составить не менее 14% с достоверностью 0,98.

Ключевые слова: радиоэлектронная аппаратура, мониторинг, жизненный цикл, визуализация процессов, программная модель, физико-химический процесс, технический ресурс, деградационный процесс.

ABSTRACT

Andrusevich A.A. The basics of life cycle monitoring theory for radio electronic devices on stages of planning, production and exploitation. – Manuscript.

Thesis for the degree of doctor of technical sciences on specialty 05.12.17 – radio techniques and television systems. – Kharkov national university of radio electronics.

Thesis considers the new decision of scientific and technical problem, which is in need of development and implementation of methods and tools on complex not sequent life cycle monitoring, which provides the achievement of higher quality and vitality level of radio electronic devices (RED).

Thesis is devoted to the improvement of monitoring for stages of design, manufacturing and exploitation of radio electronic devices (RED). There is shown, that the implementation of such concept is essential add-on of informational support of the life cycle, which provides the decision making in case of indefinite inclusion of human to the life cycle control. Such tasks, which are typical for complex systems appear constantly for all the stages of life cycle.

For the base of this decision there is set the proposed concept of integral life cycle monitoring. It is different from existing by application two basic principles on system development:

- obligatory one-type information visualization about the essence of processes, which happen in every stage of life cycle;
- development of information system for integral monitoring of subsystem «human-computer» for which on base of analysis of visualized information, the control decision is defined by human, which unites all the life cycle stages by his intellect and makes it as integral continuous process.

On base of proposed concept there are developed the models of information visualization for RED life cycle monitoring. They give the possibility to supply the execution of requirements in part of data representation and access to them on principles of intuitive, correspondent to methods of visual analysis essential description of RED life cycle processes and implementation of decision-making procedures in computer-human systems of life cycle support on base of recognition and classification of visual objects, correspondent to effective, limited and real states for RED life cycle processes.

There are considered the tasks of RED life cycle simulation for the stages of design, manufacturing and exploitation of RED. The materials of experimental and practical research results approbation to decide the tasks of optimal design, of technological environment observation, of technological manufacturing processes, also of technical conditions forecast for on-board RED exploitation are presented.

Keywords: radio electronic equipment, monitoring, life cycle, process visualization, software model, physical-chemical process, technical resource, degradation process.

Підп. до друку 9.10.12. Формат 60×84 1/16. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 2,1. Облік. вид. арк. 1,9. Тираж 100 прим.
Зам. № 2-882. Ціна договірна.

ХНУРЕ. Україна. 61166, Харків, просп. Леніна, 14

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
61166, Харків, просп. Леніна, 14