

Підтримка життєвого циклу у
виробничій інженерії

Невлюдов І. Ш., Филипенко О. І.,
Андрусевич А. О., Стародубцев М. Г.

Невлюдов І. Ш., Филипенко О. І.,
Андрусевич А. О., Стародубцев М. Г.



ПІДТРИМКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ У ВИРОБНИЧІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

**Невлюдов І.Ш., Филипченко О.І.,
Андрусевич А.О., Стародубцев М.Г.**

**ПІДТРИМКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ
У ВИРОБНИЧІЙ ІНЖЕНЕРІЇ**

Кривий Ріг

2019

Рецензенти:

Левикін В.М. д.т.н., професор, завідувач кафедри Інформаційних управляючих систем Харківського національного університету радіоелектроніки.

Осадчий С.І. д.т.н., професор, завідувач кафедри Автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету.

Невлюдов І.Ш. Підтримка життєвого циклу у виробничій інженерії: Монографія / І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипенко, А.О. Андрусевич, М.Г. Стародубцев. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 252 с.

Проаналізовано процеси, що протікають у системі, і типові моделі життєвого циклу. Розглянуто принципи і способи інформаційної підтримки життєвого циклу виробів на основі CALS-технологій. Викладено концепцію CALS, описано стандарти і програмні засоби, що використовуються в автоматизованих системах. Особливу увагу приділено системам керування даними про виробу і способам зберігання інформації, що представлена в цифровій формі.

Розглянуто методологію рішення комплексу функціональних задач моніторингу ЖЦ РЕЗ. Визначено функціональні задачі моніторингу, як частини інформаційної підтримки ЖЦ РЕЗ. Наведено результати досліджень по розробці математичного і програмного забезпечення систем відображення інформації при моніторингу ЖЦ РЕЗ, результати практичної реалізації досліджень.

Монографія може бути корисна вченим і фахівцям, що займаються питаннями моніторингу ЖЦ РЕЗ.

Ил. 53, табл. 7, библиограф. 79 назв.

Рекомендовано Науково-технічною радою Харківського національного університету радіоелектроніки (протокол № 3 від 19 квітня 2019 року)

ISBN 978-617-5182-02-2

© І.Ш. Невлюдов
О.І. Филипенко
А.О. Андрусевич
М.Г. Стародубцев
2019

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	6
Вступ	10
Частина I. СИСТЕМА І ЇЇ ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ. ВВЕДЕННЯ В CALS-ТЕХНОЛОГІЇ.....	19
1. Життєвий цикл системи.....	19
1.1. Основні терміни і визначення.....	19
1.2 Життєвий цикл продукції.....	20
1.3 Зовнішнє і внутрішнє проектування в життєвому циклі технічної системи.....	24
2. Процеси життєвого циклу.....	27
2.1. Основні терміни і визначення.....	27
2.2. Основні процеси.....	30
2.2.1. Процес замовлення.....	30
2.2.2. Процес закупівлі комплектуючих виробів.....	33
2.3. Допоміжні процеси.....	36
2.4. Організаційні процеси.....	37
3. Моделі життєвого циклу.....	38
4. Імітаційне моделювання життєвого циклу.....	47
4.1. Структурна схема процесів життєвого циклу.....	47
4.2. Математична модель.....	48
4.3. Алгоритм статистичного моделювання.....	51
4.4. Наближене співвідношення у випадку пуасонівського попиту.....	52
5. Стратегічні аспекти технології в життєвому циклі.....	54
5.1. Технологія як засіб конкуренції.....	54
5.2. Життєві цикли попиту і технологій.....	55
5.3. Мінливість технології.....	59
6. Інформаційна підтримка життєвого циклу на основі CALS технологій.....	65
6.1. Концепція CALS.....	69
6.1.1. Стратегія CALS.....	69
6.1.2. Ідеологія і методологія CALS.....	70
6.1.3. CALS-технології.....	71

6.1.4. CALS системи.....	72
6.2. Види забезпечення CALS-систем.....	74
6.3. Перехід підприємств на CALS-технології.....	75
7. Інформаційна підтримка життєвого циклу виробів.....	81
7.1. Автоматизовані системи для підтримки життєвого циклу виробів.....	81
7.2. Маркетингові дослідження.....	88
7.3. Керування ресурсами підприємства.....	89
7.4. Керування якістю.....	91
7.5. Керування конфігурацією.....	96
Частина II МЕТОДОЛОГІЯ РІШЕННЯ КОМПЛЕКСУ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗАДАЧ МОНІТОРИНГУ ЖЦ РЕЗ.....	100
1. Сучасний стан і шляхи вдосконалювання моніторингу ЖЦ РЕЗ.....	100
1.1 Аналіз сучасного стану, проблем, функціональних задач моніторингу ЖЦ РЕЗ.....	100
1.2. Аналіз вимог CALS-технологій, що торкаються шляхів і методів вдосконалювання моніторингу ЖЦ РЕЗ.....	111
2. Дослідження і розробка методології вирішення комплексу функціональних задач моніторингу ЖЦ РЕЗ.....	115
2.1. Дослідження функціональних задач моніторингу ЖЦ РЕЗ.....	115
2.2. Дослідження і розробка методів рішення задачі відображення інформації при моніторингу ЖЦ РЕЗ.....	118
2.3. Задачі оцінки ефективної множини ознак ЖЦ РЕЗ.....	127
2.4. Теоретичні основи методів ідентифікації стану ЖЦ РЕЗ.....	132
2.5. Дослідження і розробка методології рішення задач вибору інформативних ознак, що характеризують стан ЖЦ РЕЗ.....	145
2.6. Відображення програмної моделі моніторингу ЖЦ РЕЗ.....	152

3. Розробка математичного і програмного забезпечення систем відображення інформації.....	160
3.1. Відображення процесу витрати ресурсу РЕЗ.....	160
3.1.1. Алгоритм і програмне забезпечення системи моніторингу витрати ресурсу РЕЗ.....	160
3.1.1.1. Опис алгоритму.....	168
3.1.1.2. Опис інтерфейсу розроблювальної програми.....	171
3.1.2. Відображення і використання інформації про процес витрати ресурсу РЕЗ.....	172
3.1.2.1. Методика досліджень.....	172
3.1.2.2. Результати досліджень по відображенню інформації і перевірці моделі процесу витрати ресурсу РЕЗ.....	175
3.2. Відображення інформації при розв'язанні задач моніторингу ТП складання і монтажу РЕЗ.....	180
4. Розробка і застосування методів моніторингу процесів проектування, виробництва і експлуатації ЖЦ РЕЗ.....	184
4.1. Розробка методів моніторингу технологічного процесу складання і монтажу РЕЗ.....	184
4.2. Розробка засобів моніторингу технологічного середовища при виготовленні РЕЗ.....	207
4.3. Практичні додатки результатів досліджень.....	218
4.3.1. Уніфікований комплекс моніторингу цифрових модулів систем ЧПК.....	218
4.3.2. Моніторинг процесу витрати технічного ресурсу РЕЗ.....	219
4.3.3. Система технічного обслуговування і профілактики ТП виробництва РЕЗ.....	221
Висновки.....	224
Перелік посилань.....	227
Додаток А. Алгоритм розробленої програми.....	235
Додаток Б. Блок примусової діагностики.....	242

ВСТУП

Сучасне проектування і виробництво складних науко-містких виробів характеризується підвищенням їх ресурсоемності і прагненням до кооперації між учасниками їх життєвого циклу (ЖЦ). Остання тенденція проявляється в створенні віртуальних підприємств, які забезпечують інтеграцію і керування інформаційними процесами при розв'язанні задач корпоративного, галузевого, міжгалузевого і міждержавного співробітництва.

Мета монографії – розгляд базових принципів і особливостей побудови, створення, підтримки і керування складними організаційно-технічними системами на всіх етапах життєвого циклу.

У першій частині монографії аналізуються процеси, що протікають у системі, і типові моделі життєвого циклу. Розглядаються принципи і способи інформаційної підтримки життєвого циклу виробів на основі CALS-технологій. Викладається концепція CALS, описуються стандарти і програмні засоби, використовувані в автоматизованих системах. Особлива увага приділяється системам керування даними про вироби і способам зберігання інформації, представленої в цифровій формі.

Поняття життєвого циклу поширюється на будь-який змінний об'єкт або процес, що має початок і кінець. Для освоєння цього поняття в першому розділі розглядається термінологія, що відноситься до життєвого циклу, з різними прикладами. У другому розділі описуються процеси життєвого циклу продукції і схема керування процесом, основні, допоміжні і організаційні процеси. У якості конкретних прикладів розглядається структура процесів на етапі замовлення і закупівлі виробів.

Третій розділ присвячений моделям життєвого циклу систем як структурам, які визначають послідовність взаємного зв'язку процесів, виконуваних протягом ЖЦ, описуються шість моделей життєвого циклу, відзначаються їхні переваги і недоліки.

У четвертому розділі приводиться модель розрахунку прибутків підприємства, яке випускає продукцію, на основі каскадної моделі життєвого циклу. Для побудови моделі використовується імітаційне моделювання процесів на підприємстві методом статистичних випробувань.

У п'ятому розділі розглядаються життєві цикли попиту і технологій, визначаються основні характеристики технологій і розглядаються шляхи їх обліку в процесі формування і планування стратегії розвитку підприємства.

У шостому розділі викладається концепція інформаційної підтримки життєвого циклу наукомістких виробів на основі CALS-технологій. Викладаються стратегія, ідеологія і методологія організації інформаційної підтримки життєвого циклу наукомістких виробів. Аналізуються особливості переходу вітчизняних підприємств на CALS-технології.

У сьомому розділі приводиться загальна характеристика автоматизованих систем, що застосовуються для підтримки життєвого циклу виробів в інтегрованому інформаційному середовищі. Описуються технології керування ресурсами підприємства, якістю продукції і конфігурацією виробів.

У другій частині монографії розглянуто методологію рішення комплексу функціональних задач моніторингу життєвого циклу радіоелектронних засобів (ЖЦ РЕЗ). Визначено функціональні задачі моніторингу, як частини інформаційної підтримки ЖЦ РЕЗ. Наведено результати досліджень по розробці математичного і програмного забезпечення систем, відображення інформації при моніторингу ЖЦ РЕЗ, результати практичної реалізації досліджень.

Сучасний рівень розвитку техніки характеризується підвищенням складності, наукоємності, якості техніки і появою у зв'язку із цим нових проблем, що торкаються багатofункціональних РЕЗ, до числа яких можна віднести бортову радіоелектронну апаратуру (БРЕА), що входить до складу наземних і бортових засобів, що забезпечують політ повітряного судна (ПС).

Діючим засобом вирішення подібних проблем в останнє десятиліття виступають нові технології наскрізної інформаційної підтримки складної наукомісткої продукції на всіх етапах її життєвого циклу від маркетингу до утилізації, що базуються на електронному представленні даних і використанні цих даних для забезпечення ЖЦ. Моніторинг, виконуючи по своєму визначенню функції по нагляду за станом об'єктів, припускає збір і обробку інформації про ЖЦ і, отже, є частиною цих технологій.

До числа найбільш важливих функцій моніторингу, реалізованих у наш час, є контроль і прогнозування стану РЕЗ і процесів забезпечення її ЖЦ. Для складних систем, у тому числі і ЖЦ РЕЗ, виникає необхідність прийняття рішень у ситуації відсутності формальних прийомів. Найбільш ефективними стають людино-машинні процедури, засновані на «діалозі» людини з ЕОМ, і задачі керування вирішуються в рамках автоматизованих людино-машинних систем. Тут моніторинг, здатний відображати суть процесів, що відбуваються, стає дієвим інструментом забезпечення ЖЦ РЕЗ.

Таким чином, розробка методів і засобів моніторингу для забезпечення прийняття ефективних рішень за підтримки ЖЦ РЕЗ є актуальною проблемою, метою якої є підвищення якості РЕЗ.

Виконання поставленої мети може бути забезпечене вирішенням таких задач:

- проведення системного аналізу існуючих методів і підходів до реалізації моніторингу ЖЦ РЕЗ для підвищення якості та надійності РЕЗ;

- розробка методології рішення комплексу функціональних задач моніторингу процесів ЖЦ РЕЗ;

- розробка математичного, програмного, технічного забезпечення і синтез систем, відображення процесів і етапів ЖЦ РЕЗ.

У першому розділі міститься аналіз сучасного стану і шляхів удосконалювання моніторингу ЖЦ РЕЗ. Моніторинг можна розглядати як елемент реалізації CALS-технології, прийнятої в

якості сучасної концепції вирішення проблем ЖЦ РЕЗ. В основу CALS-технології покладена наскрізна інформаційна підтримка складної наукомісткої продукції на всіх етапах її життєвого циклу від маркетингу до утилізації, що базується на електронному представленні даних. Практика показує, що на окремих етапах ЖЦ складних наукомістких виробів використання моніторингу є важливою умовою забезпечення ЖЦ. Для різноманітних виробів існують методи і засоби моніторингу, що мають різні рівні й обсяг рішення задач.

Визначено, що в теперішній час моніторинг здійснюється в рамках систем збору і обробки інформації, які можуть виконувати функції контролю параметрів діагностування, прогнозування, оцінки 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, здійснювані на всіх етапах ЖЦ РЕЗ, вимагають удосконалювання. Для складних систем, у тому числі і ЖЦ РЕЗ, виникає необхідність прийняття керуючих рішень у ситуації відсутності формальних прийомів. Найбільш ефективними стають людино-машинні процедури, засновані на «діалозі» людини з ЕОМ, і задачі керування вирішуються в рамках автоматизованих людино-машинних систем. І тут моніторинг, здатний відображати суть процесів, що відбуваються, стає діючим інструментом керування ЖЦ РЕЗ. Відсутність достатніх можливостей такого відображення в сучасному моніторингу визначає актуальність і напрямки проведених у роботі досліджень.

Наведено аналіз основних положень CALS-технологій. Суть концепції CALS складається в створенні єдиної інтегрованої моделі виробу. Така модель повинна відбивати всі аспекти виробу, знання про виріб, супроводжувати виріб протягом його життєвого циклу. При цьому ЖЦ виробу може бути розбитий на такі етапи:

а) створення моделі виробу – концептуальне і робоче проектування;

б) створення екземплярів виробу – матеріально-технічне забезпечення, виготовлення, контроль і діагностика;

в) реалізація і експлуатація виробу.

Таким чином, моніторинг, виконуючи за своїм визначенням функції по нагляду за станом об'єктів, припускає збір і обробку інформації про стан об'єкта і факторів процесу ЖЦ, що формують задані властивості об'єкта. До числа найбільш важливих функцій моніторингу відносяться контроль і прогнозування стану РЕЗ, відображення процесів на всіх етапах ЖЦ РЕЗ. ЖЦ продукту притаманна велика різноманітність процесів, найбільш впливаючих на зміну стану продукту: процес проектування, виробничий процес, процес експлуатації. Рішення комплексу функціональних задач моніторингу ЖЦ РЕЗ на цих етапах дає можливість визначити предметну область додатка результатів досліджень, наведених у роботі. Моніторинг у рамках CALS-технології, здатний відображати суть процесів, що відбуваються, стає діючим інструментом керування ЖЦ РЕЗ. Відсутність достатніх можливостей такого відображення в сучасному моніторингу визначає актуальність і напрямок проведених у роботі досліджень.

У другому розділі розглядається методологія рішення комплексу функціональних задач моніторингу ЖЦ РЕЗ. Визначено функціональні задачі моніторингу як частини інформаційної підтримки ЖЦ РЕЗ.

У загальному виді моніторинг такого технічного об'єкта, як РЕЗ, можна розглядати як частину (підсистему) інформаційної системи, що забезпечує виконання функцій по плануванню, обліку, контролю, аналізу і регулюванню процесів проектування, виробництва і експлуатації (параметрів предметної області). Розроблювальні методи і засобу повинні намітити шлях переходу до моніторингу, що забезпечує одержання не тільки довідкової інформації, але і рекомендацій з вибору найкращого рішення в людино-машинній системі керування ЖЦ РЕЗ при діалозі ЛПР

і ЕОМ з використанням ефективних засобів відображення інформації.

Для відображення інформації в такій людино-машинній системі представляється перспективним використання концепції образного аналізу, що вирішує задачі 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 кольорових півтонових представлень даних, а людина візуально або на слух виявляє і описує аналізовану ситуацію і цілісні образи класів, підбираючи в діалозі з ЕОМ представлення, що забезпечує рішення задачі. Геометричний підхід до розпізнавання образів і класів у ознаковому просторі, які відповідають моделюємим і контролюємим станам ЖЦ, допускає візуалізацію і, таким чином, наочне представлення процесів ЖЦ.

Одним з можливих переваг візуалізації є можливість “бачити” 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 й ін. Можна припустити, що така можливість полегшує рішення задачі ухвалення рішення в керуванні ЖЦ.

Відмінною рисою РЕЗ може бути наявність великої кількості контрольованих параметрів. Моніторинг, що забезпечує можливість виміряти і фіксувати значення, і швидкості зміни параметрів РЕЗ, може мати додаткові можливості, що дають представлення про стан РЕЗ при множини параметрів як статистичному ансамблі. У науці відомий прийом, коли опис поведінки мікроансамблю параметрів часток дає можливість визначити макропараметри систем, що з них складаються, створити феноменологічну теорію і використовувати для оцінки та керування станом таких систем. Прикладом може служити 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. Спосте-

реження, у поле зору якого попадає фазова площина, на якій можна спостерігати розпад і переміщення статистичного ансамблю параметрів РЕЗ, дає додаткові можливості моніторингу ЖЦ РЕЗ. Спостерігаючи за цим переміщенням, ЛПР одержує можливість оцінювати міру невизначеності в поведінці об'єкта.

Функціональні задачі вибору інформативних ознак для моніторингу ЖЦ РЕЗ, а також скорочення їх переліку, зменшення невизначеності можуть 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 слід використовувати лише ознаки, які, з одного боку, найбільш інформативні й, з іншого боку, можуть бути доступними (наприклад, по витратах) для виміру. Визначення словника ознак в умовах обмежень на вартість створення технічних засобів спостережень має особливості.

Рішення задачі ідентифікації ЖЦ РЕЗ припускає створення правил, що визначають стан РЕЗ. Ознаками, що дозволяють розрізнити стану об'єкту моніторингу, є показники ефективності, які для виділеного стану будуть мати задане або екстремальне значення. Для ідентифікації в процесі моніторингу стану РЕЗ за спостережувальними параметрами необхідно виділити множину параметрів, на якій значення показників ефективності будуть мати задані або екстремальні значення. Застосування функції для поділу множин у просторі параметрів і формулювання правил, що встановлюють відповідність між множинами параметрів і значеннями показників ефективності, може забезпечити ідентифікацію станів у процесі моніторингу ЖЦ РЕЗ.

Розглядається візуальна 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.

У третьому розділі наведено результати досліджень по розробці 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 був розроблений алгоритм відображення поверхні розриву (ПР) із урахуванням зміни її розмірів і форми на інтервалі прогнозування. Наведений алгоритм дає можливість спостерігати на екрані монітора ситуацію, яка виникає щораз, коли після виміру параметрів необхідно приймати рішення щодо можливості подальшої експлуатації РЕЗ. Зображення, які спостерігається, у достатній мірі характеризує розмір частини ПР і її розташування щодо границь припустимої області зміни параметрів.

У четвертому розділі наведено результати практичної реалізації досліджень. Реальні технологічні процеси характеризуються необхідністю постійного настроювання режимів і устаткування через наявність великої кількості об'єктивних та суб'єктивних факторів, викликаних зміною характеристик вихідних матеріалів і енергоносіїв, зношуванням і нестабільністю роботи устаткування, технологічного оснащення, інструмента, кваліфікацією виконавців і т.д. Методи розглянутого моніторингу ЖЦ РЕЗ на етапі виробництва вбудовуються в систему міжопераційного контролю. Розглядається задача визначення кількості і періодичності перевірок з'єднань при використанні розроблених методів моніторингу, одержана інформація використовується в системі технічного обслуговування і профілактики технологічного процесу (ТП) складання і монтажу РЕЗ.

Розроблено спеціальні пристрої сполучення між технічним об'єктом (ТО) і ЕОМ, включаючи блоки примусової діагностики. Вирішено задачу спостереження затримок до 100 нс, викликану необхідністю спостерігати змагання сигналів при появі несправностей. Пошук таких несправностей представляє значну проблему, тому що за допомогою стандартних методів візуаль-

ного контролю осцилограм і індикаторів логічних аналізаторів виявити затримку 100 нс неможливо. Апробовано у виробництві РЕЗ розроблені засоби моніторингу технологічного середовища, які дозволяють спостерігати стан систем ЧПК. Апробовано методи візуалізації процесу витрати технічного ресурсу в одному із блоків РЕЗ, отримані в процесі електротермотренування при випробуваннях, проведених у відповідності зі стандартною методикою.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Невлюдов І.Ш., Филипенко О.І.,
Андрусевич А.О., Стародубцев М.Г.

**ПІДТРИМКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ У ВИРОБНИЧІЙ
ІНЖЕНЕРІЇ**

Рекомендовано Науково-технічною радою Харківського національного університету радіоелектроніки (протокол № 3 від 19 квітня 2019 року)

Коректор В.Г. Андріященко

Комп'ютерна верстка Н.К. Ляшова

Підписано до друку 23.05.2019 р. Формат 60×84 1/16.
Папір офсет. Гарнітура Таймс 16,0 Умов. Друк. Арк..
11,6 Умов. вид. арк. Тираж 300 прим. Зам. № 17.

Видано на замовлення ХНУРЕ