ВИДВИД

Державне підприємство

«Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля»

РЕФЕРАТ РОБОТИ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ В ЗАДАЧАХ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ**

**РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ»**

**Автор:** Деревянко І.І., інженер II категорії

Дніпропетровськ – 2016 р.

У КБ «Південне» функціонує система менеджменту якості. Це управління станом і якістю шести основних процесів створення, вдосконалення та модернізації ракетно-космічних комплексів: проектування, розробка конструкторської та експлуатаційної документації, проведення експериментального відпрацювання, визначення характеристик ракетно-космічної техніки та моніторинг її стану. Ефективність управління цими процесами залежить від методів і засобів отримання інформації про стан та якість досліджуваних об'єктів ракетно-космічної техніки, що міститься в якісних оцінках і кількісних вимірах різної фізичної природи та їх математичної обробки, а також від формування візуально-аналітичних даних для підтримки прийняття рішень на різних рівнях менеджменту якості продукції.

В даний час ракетно-космічна техніка являє собою безліч агрегатів, котрі відрізняються своїми конструктивними особливостями. Серед них особливе місце займають металеві конструкції зі зварними з'єднаннями, як сама ненадійна ланка. Як наслідок цього неруйнівний контроль якості та визначення властивостей зварних з'єднань є однією з важливих задач оцінки надійності таких агрегатів. Одними з методів контролю зварних з'єднань є метод магнітної пам'яті металу та ультразвуковий метод, які мають ряд переваг перед іншими.

Також перспективи розвитку ракетно-космічної галузі в значній мірі пов'язані з використанням нових матеріалів та застосуванням передових технологій. Кінець 20-го та початок 21-го століть відмічені все більш широким застосуванням в конструкціях ракет-носіїв полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), та як наслідок, появою нових технологій створення та технологій контролю високоефективних виробів на їх основі. Серед вузлів ракет-носіїв особливе місце займають конструкції з ПКМ. Однією з важливих задач при створенні таких конструкцій є оцінка конструкційно-технологічних рішень, які закладаються в конструкцію вузла. Відмінною рисою роботи є унікальність об'єкта контролю - подібні великогабаритні конструкції не виготовлялися раніше з ПКМ, а їх виготовлення вимагає розробки нових інформативних параметрів і методик обробки даних. Тензометричний метод контролю є ефективним для отримання експериментальних вимірювань, що описують якісний стан таких конструкцій і їх локальних місць.

Ці два типи контрольованих об'єктів відносяться до класу просторово-розподілених. У першому випадку при магнітометричному та тензометричному контролі просторові матриці вимірювань формуються за рахунок переміщення датчиків по поверхні об'єкта та почергового зондування поверхні. У другому випадку, при тензометричному контролі, просторові матриці – це вимірювання великого числа вимірювачів, розташованих віддалено один від одного на поверхні об'єкту контролю.

Інформація про стан цих нестаціонарних об'єктів неруйнівного контролю та технічної діагностики міститься в вимірах їх параметрів, стохастичні закономірності яких невідомі, вимірювання спотворені перешкодами, а обсяг вимірювань обмежений. Математична модель таких вимірювань лінійно-протяжних об'єктів представлена у вигляді дискретної послідовності автокорельованих випадкових величин виду

, (1)

де  – контактна (моделююча) перешкода, яка описується автокорельованою послідовністю випадкових величин з законом бета-розподілу;  – вимірювальний шум, послідовність незалежних нормальних випадкових величин, як правило, з невідомою інтенсивністю;  – постійна або повільно змінювана стохастична складова, яка характеризує вплив зовнішніх джерел;  – автокорельована експоненціальна складова, породжувана структурними якісними неоднорідностями;  – складова, породжувана дефектами;  – номер вимірювання точечних об'єктів або номер координат лінійно-протяжних та просторово-протяжних об'єктів.

При контролі просторово-протяжних об'єктів шляхом їх сканування, вимірювання містять інформацію про структуру матеріалу, внутрішніх залишкових напруженнях, їх аномальних вимірах на окремих ділянках і все це відбивається на статистичних закономірностях вимірювань.

Проведено порівняльний статистичний аналіз магнітометричних вимірювань зварних з'єднань чотирьох однотипних блоків. Кожен з блоків містить 45-50 з'єднань і кожному ставиться в відповідність магнітометричні вибірки обсягом 150-250 вимірювань. Магнітометричні вимірювання зварного з'єднання представляють собою випадкові величини з невідомими статистичними закономірностями. Їх послідовність розглядається як нестаціонарний дискретний процес обмеженої тривалості, причому в одному і тому ж блоці в більшості випадків невідомі зв'язки номерів точок з координатами їх на зварних з'єднаннях, невідомо також - вибірки замкнуті або не замкнуті.

Проведено порівняльний статистичний аналіз тензометричних вимірювань відносної деформації на чотирьох етапах статичних випробувань (Транспортне навантаження, Політ-1, Політ-2, Політ-3). За допомогою тензорезисторів контролювались характеристики міцності та оцінювалася відносна деформація. Вся поверхня була розподілена на 83 точки, в кожній точці розташовано 4 тензодатчика, що роблять такі виміри: 1-й та 2-й - відносні деформації в горизонтальному та вертикальному напрямку на зовнішній поверхні, 3-й та 4-й - відносні деформації в горизонтальному та вертикальному напрямку на внутрішній поверхні конструкції.

Розв'язана задача оцінки статистичних параметрів та дослідження статистичних закономірностей експериментальних вимірювань лінійно-протяжних об'єктів. Розглянуто питання оцінки стаціонарності та незалежності вибірок, вид та порядок їх моделей, виділення різних складових моделі (1), а також дефектоскопія та дослідження якості контрольованих об'єктів.

Досліджувані об'єкти - це система пристроїв, механізмів та агрегатів. Їх параметри перебувають в причинно-наслідкових зв'язках, як між собою, так і з навколишнім середовищем, на їх якість та працездатність впливає багато факторів (навантаження, теплові впливи, вібрації, тертя, порушення зв'язків та багато інші невідомі). Щоб з'ясувати, як і на що вони впливають, необхідним є факторний аналіз, проведений шляхом дорогих фізичних експериментів. У наше століття інформаційних технологій не все, але багато чого, можна оцінити шляхом проведення комп'ютерних обчислювальних експериментів. Це потужний засіб подолання багатьох незнань, невизначеностей і навіть невідомого.

Факторні керуючі обчислювальні експерименти – це одна з можливостей отримання інформації про причинно-наслідкові зв'язки. Обчислювальні експерименти проводяться на віртуальних об'єктах менеджменту якості шляхом створення математичних моделей з керованими параметрами, факторами, причинно-наслідковими зв'язками, невизначеностями і заданими статистичними закономірностями. Керуючи ними, можна досліджувати їх вплив на стан і якість майбутньої ракетно-космічної продукції, оцінювати і прогнозувати зміни, визначати інформативність вимірювань і ефективність рішень.

Математичне забезпечення обчислювальних експериментів – це система комп'ютерно-інтегрованих алгоритмів і програм, на основі яких формуються вибірки вимірювань, що містять інформацію про стан та якість контрольованих об'єктів, і шляхом їх обробки формуються дані для підтримки прийняття рішень і впливу на них різних факторів. Результати досліджень на віртуальних об'єктах обов'язково перевіряються шляхом проведення фізичних експериментів зі значно зменшеними обсягами і витратами.

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність теми.** Система менеджменту якості «ДП «КБ «Південне» є складовою частиною загальної системи менеджменту підприємства і призначена для управління підприємством в забезпеченні виконання всіх встановлених вимог до розроблюваної продукції. Область застосування системи менеджменту якості «ДП «КБ «Південне» охоплює всі види діяльності підприємства з проектування розробки та виготовлення об'єктів ракетно-космічної техніки (РКТ), в тому числі: виготовлення складових елементів космічних апаратів і ракет-носіїв, а також експериментально-випробувальні роботи при виготовлені.

Всі об'єкти, що виготовляються підприємством на стадії проектування носять одиничний характер, тобто вони є унікальними і не мають аналогів, як наслідок відпрацювання їх якості вимагає розробки абсолютно нових інформаційних технологій обробки і аналізу експериментальних вимірювань. При цьому часто відсутня апріорна інформація про їх статистичні закономірності, а обсяг експериментальних вимірювань завжди обмежений.

Проведено дослідження двох об'єктів, це міжступеневій відсік ракети‑носія «Циклон-4» та чотири однотипних блоків зварних з'єднань.

З огляду на той факт, що помилки в оцінці якості РКТ можуть привести до руйнування ракетного комплексу під час польоту, то розробка алгоритмів і інформаційно-вимірювальних технологій в задачах їх неруйнівного контролю є затребуваною і актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження виконані відповідно з роботами по розробці ракети-носія «Циклон-4», призначеної для оперативного, високоточного виведення на кругові, геостаціонарні та сонячно-синхронні орбіти одного або групи космічних апаратів різного призначення.

Також дослідження виконувалися в рамках наступних держбюджетних договорів Дніпропетровського національного університету ім. О.Гончара на виконання науково-дослідних робіт Міністерства освіти та науки України:

– ДР № 0110U001291 «Математичне забезпечення неруйнівного контролю, моніторингу та прогнозування стану виробів та агрегатів ракетно-космічної техніки та транспорту», термін виконання 2010-2012 рр.;

– ДР № 0113U003038 «Інформаційно-аналітична система підтримки прийняття рішень в задачах технічної діагностики вузлів та агрегатів ракетно-космічної техніки», термін виконання 2012-2014 рр.

**Мета та завдання досліджень.** Мета дослідження полягає у вирішенні актуальної науково-практичної задачі оцінки якості ракетно-космічних об'єктів контролю на прикладі багатьох зварних з'єднань та міжступеневого відсіку ракети‑носія «Циклон-4», використовуючи методи стохастичного моделювання та теорії оцінювання.

Для досягнення мети в роботі необхідно вирішити наступні завдання:

– розробити алгоритми та інформаційно-вимірювальні технології в задачах дослідження лінійно-розподілених об'єктів на прикладі однотипних блоків магнітометричних вимірювань зварних з'єднань та провести статистичний візуально-аналітичний аналіз цих вимірювань;

– розробити алгоритми та інформаційно-вимірювальні технології в задачах дослідження просторово-розподілених об'єктів на прикладі тензометричних вимірювань міжступеневого відсіку ракети-носія «Циклон-4» з полімерних композиційних матеріалів та провести статистичний візуально-аналітичний аналіз цих вимірювань;

– розробити моделі випадкових стаціонарних та нестаціонарних, детермінованих та стохастичних, незалежних та автокорельованих послідовностей лінійно-протяжних об'єктів;

– дослідити методи оцінки стаціонарності та незалежності вимірювань лінійно-протяжних об'єктів;

– дослідити методи формування детермінованих та стохастичних моделей нестаціонарних лінійно-протяжних об'єктів за експериментальними вимірами;

– розробити інформаційні технології адаптивної фільтрації шумів та контактних перешкод нестаціонарних автокорельованих експериментальних вибірок вимірювань лінійно-протяжних об'єктів;

– розробити візуально-аналітичний метод дефектоскопії та контролю якості в задачах контролю лінійно-протяжних об'єктів ракетно-космічної техніки.

*Об'єкт досліджень -* процес оцінювання якості ракетно-космічної техніки за експериментальними просторово-розподіленими вимірами в умовах невизначеності та розмірних обмеженнях.

*Предмет досліджень -* моделі випадкових стаціонарних та нестаціонарних, детермінованих та стохастичних, незалежних та автокорельованих послідовностей лінійно-протяжних об'єктів, масив тензометричних вимірювань міжступеневого відсіку ракети-носія «Циклон-4» з полімерних композиційних матеріалів, масив однотипних блоків магнітометричних вимірювань зварних з'єднань.

**Методи досліджень.** Загальна та лінійна алгебра, математичний аналіз, теорія ймовірності та математична статистика, теорія детермінованих та випадкових процесів, теорії адаптивної фільтрації, чисельні методи.

**Наукова новизна отриманих результатів.** В результаті виконаних досліджень отримані нові наукові результати в напрямку розвитку стохастичного моделювання та математичного статистичного аналізу експериментальних просторово-розподілених вимірювань. Ці результати застосовані для розробки методик оцінювання якості РКТ, а саме однотипних блоків зварних з'єднань та міжступеневого відсіку ракети-носія «Циклон-4». При цьому також отримані нові наступні наукові результати:

– розроблені нові алгоритми візуально-аналітичного аналізу експериментальних вимірювань просторово-розподілених об'єктів РКТ;

– вперше використана модель виду (1) для опису вимірювань просторово-розподілених об'єктів РКТ, при цьому вивчені та описані її особливості;

– розглянуті та вивчені особливості застосування методів оцінки стаціонарності, незалежності, формування детермінованих та стохастичних моделей, визначені умови та межі їх застосування і виникаючі при застосуванні похибки;

– розроблені інформаційні технології адаптивної фільтрації шумів та контактних перешкод, а також візуально-аналітичний метод дефектоскопії та контролю якості експериментальних вибірок вимірювань лінійно-протяжних об'єктів, при цьому визначені умови та межі їх застосування і виникаючі при застосуванні похибки.

**Практичне застосування отриманих результатів.** Отримані результати статистичного візуально-аналітичного аналізу тензометричних вимірювань міжступеневого відсіку ракети-носія «Циклон-4» з полімерних композиційних матеріалів включені в підсумкові технічні звіти по створенню міжступеневого відсіку з ПКМ.

Методи оцінки стаціонарності, незалежності, фільтрації, дефектоскопії та контролю якості, вивчені при проведенні досліджень, були застосовані для оцінки якості вуглепластикових корпусів маршових двигунів, а також вуглепластикових кабельних жолобів та жолобів термостатування.

На підставі проведених досліджень розроблено методичне та програмне забезпечення, яке використовується для аналізу експериментальних вимірювань просторово-розподілених об'єктів РКТ в ДП «КБ «Південне», а також використовується в навчальному процесі Дніпропетровського національного університету ім. О.Гончара при викладанні фахових дисциплін: «Статистичні методи в неруйнівному контролі», «Проектування вимірювально-інформаційних технологій неруйнівного контролю» і «Обробка вимірювань та сигналів неруйнівного контролю».

Про практичне застосування отриманих результатів, представлених в роботі, свідчать відповідні акти про впровадження. Акти прикладені.

**Апробація результатів роботи.** Результати досліджень обговорювалися на наукових семінарах кафедри радіоелектронної автоматики фізико-технічного факультету Дніпропетровського національного університету ім. О.Гончара.

Основні положення та результати досліджень, представлені в роботі, доповідалися та обговорювалися на XX Ювілейній міжнародній конференції «Сучасні методи та засоби неруйнівного контролю та технічної діагностики» (Гурзуф – 2012 р.), V міжнародній науково-практичній конференції «Ефективність сотових конструкцій у виробах авіаційно-космічної техніки» (Дніпропетровськ – 2013), IX міжнародній науковій конференції студентів та молодих вчених «Наука та освіта – 2014» (Астана – 2014 р.), VIII міжнародній конференції «Матеріали та покриття в екстремальних умовах: дослідження та застосування екологічно чистих технологій виробництва та утилізації виробів», (Київ – 2014 р.), міжнародному форумі студентів, аспірантів та молодих вчених (Дніпропетровськ – 2013 р.), XV, XVI, XVII міжнародних молодіжних науково-практичних конференціях «Людина та космос» (Дніпропетровськ – 2013, 2014 року, 2015 рр.).

**Публікації.** За результатами наукових досліджень опубліковано 20 наукових робіт, з них 6 статей у наукових фахових виданнях України та 1 стаття в наукометричному виданні. Список публікацій прикладений.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури, додатків до роботи та доданих публікацій по темі роботи. Загальний обсяг роботи становить 249 сторінок. Основний зміст викладено на 150 сторінках. Робота містить 62 малюнки, 42 таблиці та 138 формул. Список використаної літератури містить 65 найменувань. Додатки до роботи на 37 сторінках. Прикладених публікацій – 46 сторінок.