

УДК 531.004

Ю. П. ЛЕЩЕНКО*Національний авіаційний університет, Київ, Україна***ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМИ ВИМІРЮВАЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ**

Наведено основні принципи необхідності інтелектуалізації вимірювань. Розглянуто варіанти вимірювань геометричних параметрів відхилень форми. Описано, що найбільший вплив на невизначеність вимірювань координат інтелектуальної вимірювальної системи робить невизначеність механічної реалізації системи координат, показано як зменшити її вплив. Механічна реалізація системи координат привносить неідеальність в її елементи. Таким чином, мова йтиме про інтелектуальну вимірювальну систему, яка здійснює вимірювання геометричних параметрів об'єктів (у тому числі складної поверхні).

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, складні просторові поверхні, інтелектуальні технології, вимірювальна головка, контроль, інтелектуалізація.

Постановка проблеми

У сучасних умовах розвитку промислового виробництва України надзвичайно актуальним є автоматизація вимірювання геометричних розмірів деталей з складною просторовою поверхнею із заданою точністю. Від точності виготовлення вузлів і деталей складних механізмів і машин залежить якість і надійність їх функціонування. У зв'язку з інтенсивним розвитком метрології, інформаційних технологій приладобудування, все більше застосування знаходять інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) для вимірювань геометричних величин деталей, вузлів та просторових поверхонь складної конфігурації [2].

Для проведення вимірювання геометричних розмірів деталей промисловість отримала універсальні, автоматичні координатно-вимірювальні машини (КВМ).

Однак, існуючі координатно-вимірювальні машини малопродуктивні, мають невисоку точність, завадостійкість, надійність та не можуть бути використані для вимірювання прецизійних деталей. Ці засоби вимірювання не забезпечують автоматичний контроль об'єктів із складною просторовою поверхнею (СПП) в складі гнучких виробничих систем та не відповідають сучасним вимогам щодо точності та швидкодії вимірювання.

Має місце відставання в розробці прецизійних ІВС геометричних параметрів складних просторових поверхонь. Існуючі методи підвищення точності вимірювання геометричних величин у координатно-вимірювальних машинах не задовольняють потреби виробництва при вимірюванні об'єктів із складною

просторовою поверхнею [1].

Інтелектуальні вимірювальні системи (ВС) якісно відрізняються від відомих засобів автоматизованого контролю відхилення від форми і розташування поверхонь, як по призначенню, так і по принципах керування. Все це викликає безліч нових, раніше не досліджених питань, в тому числі автоматичної корекції похибок вимірювання трикоординатних інформаційно-вимірювальних систем.

Тому роботи по створенню інтелектуальних ВС із застосуванням експертних систем, нових методів та алгоритмів вимірювання геометричних параметрів, а також розробки програмно-математичного забезпечення стають все більш актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням розробки інформаційно-вимірювальних систем геометричних розмірів складних просторових об'єктів, траєкторного управління вимірювальною головкою, програмно-математичного забезпечення КВМ, автоматизації та оптимізації процесів вимірювання присвячені роботи відомих українських вчених О. М. Новікова, П. П. Орнатського, І. Б. Сіроджа, Ю. М. Туза та інших, вчених Росії, Литви та далекого зарубіжжя А. Е. Кобринського, Л. М. Бойчука, В. С. Медведева, А. Г. Лескова, А. С. Ющенко, В. Л. Воронова, Е. І. Дружиніна, В. М. Лохіна, І. В. Мірошника, Ю. А. Борцова, Е. П. Балашова, Д. В. Пузанкова, І. Б. Юнгера, В. І. Соболева, А. А. Гапшиса, А. Ю. Каспарайтиса, І. М. Макарова, В. А. Ратмірова, М. Б. Модестова, В. А. Раманаускаса, Н. Asada, М. Kazerooni, М. Liu, М. Vukobratovic, А. West та ін.

Однак більшість теоретичних та прикладних досліджень нових прецизійних методів автоматизованого та інтелектуального вимірювання складних просторових поверхонь з мінімальною похибкою, побудови на їх основі тривимірних зображень, не мають практичного застосування. З одного боку, це пов'язано із значними технічними складнощами, з другого боку – із зниженням дії дестабілізуючих факторів, що є причиною значних похибок вимірювання. Між тим, подальше підвищення точності та швидкодії вимірювання ІВС геометричних розмірів об'єктів неможливі без вирішення задачі розробки інтелектуальних [3].

Тому розробка методів та алгоритмів вимірювання прецизійних деталей інтелектуальними ВС, представляє собою актуальну, важливу, складну наукову задачу, вирішення якої значно підвищить точність вимірювання, швидкодію, забезпечить високий ступінь інтелектуалізації процесу контролю об'єктів із складною просторовою поверхнею.

Постановка завдання

Метою є підвищення точності і швидкодії автоматичного контролю геометричних розмірів деталей за рахунок комплексного використання інформації інтелектуальних ВС.

Основний матеріал досліджень

Одним із важливих етапів аналізу ВС є дослідження їх роботи в умовах дії дестабілізуючих факторів.

У роботах, присвячених дослідженню робочих органів ВС, не знайшли відображення такі питання, як синтез структури інтелектуальної системи вимірювання складних просторових поверхонь, алгоритми інтелектуального керування вимірювальною головкою ВС.

Для цифрового моделювання та порівняльного аналізу алгоритмів програмного і адаптивного управління роботи ВС необхідна розробка пакету програм, який включає наступні елементи: модель руху вимірювальної головки вповодж об'єкту вимірювання, алгоритми побудови програмного руху ВС, що забезпечують необхідну траєкторію переміщення вимірювальної головки з врахуванням конструктивних обмежень і перешкод, алгоритм інтелектуального вимірювання об'єктів, які дозволяють імітувати функціонування ВС.

При вимірюванні складних просторових поверхонь виникають труднощі, які пов'язані зі складністю визначення координат точки дотику X_k, Y_k по координатах X_e, Y_e центра кульки вимірювального

наконечника, що фактично вимірюються.

Визначення довжини кроку вимірювання залежить від використаної схеми інтерполяції точок вимірювання, від кривизни та шорсткості поверхні деталі. При використанні лінійної інтерполяції встановлюють допуск на максимальне відхилення дійсної кривої від хорди по нормалі, яка з'єднує дві послідовні точки вимірювання.

Відомо, що тільки виконання розмірів в суворо визначених межах допуску може забезпечувати безперешкодну збірку. Це необхідно і для правильного функціонування машини, так як якість машин тісно пов'язана з точністю виконання їхніх розмірів.

Основний принцип, який використовується для перевірки безперешкодної збірки є «принцип Тейлора». Дотримання цього принципу може бути перевірено методами каліброваного контролю з використанням граничних калібрів (прохідного і непрохідного).

Якщо розглянути координатні вимірювання, то одержувані оцінки координат не можуть бути безпосередньо порівняними з калібрами, що матеріалізуються [4].

Так якщо розглянути контроль по прохідному розміру, необхідно виміряти координати у великій сукупності точок реальної поверхні, вписати в неї прилеглу поверхню і порівняти її параметри з граничними. Вирішення цього завдання досить трудомістке через велику кількість вимірюваних точок, що обтяжені невизначеністю, супроводжується великою невизначеністю, яка не буде зменшуватися від збільшення кількості вимірюваних точок.

Альтернативою використання прилеглої поверхні для універсальних ВС є використання поняття середньої поверхні. І хоча таке трактування не буде збігатися з «принципом Тейлора», вона, постулюючи співвісність меж поля допуску, посилює вимоги «принципу Тейлора».

Як середня, так і прилегла поверхні визначаються однозначно, і на перший погляд жодна з них не володіє перевагою. Слід врахувати, що інформацію про реальну поверхню отримують на основі вимірів, результати яких містять невизначеності.

З урахуванням цієї обставини завдання побудови координатної поверхні слід розглядати як допоміжну. При побудові середньої поверхні беруть до уваги, що всі результати вимірювань виражаються через повний набір результатів вимірювань. При цьому, як відомо, невизначеності вимірювань в окремих точках поверхні усереднюються, відбувається їх часткове нівелювання, що зменшує дисперсії компонентів вектора параметрів поверхні і, отже, підвищується точність просторової орієнтації допоміжної поверхні.

При побудові прилеглої поверхні вектор її па-

раметрів в кінцевому підсумку виражають через координати декількох точок (від 3 до 5). Беручи до уваги невизначеності виміри координат точок, компоненти вектора параметрів прилеглої поверхні мають розкид більший, ніж компоненти вектора параметрів середньої поверхні, і, отже, сама прилегла поверхня в порівнянні з середньою поверхнею орієнтована з меншою точністю. Отже, використання середніх поверхонь для оцінки відхилень форми і розташування для інтелектуальних ВС має більшу перевагу.

У цьому випадку відлік при вимірюванні відхилень форми ведеться від середньої поверхні. Наприклад, замість прилеглої поверхні і прилеглої кола для оцінки відхилень форми використовують поняття середнього циліндра і середнього кола.

Розглянемо варіанти вимірювань геометричних параметрів (ГП) відхилень форми.

1. Непрямий метод вимірювань геометричних параметрів відхилень форми складної поверхні. Вимірювання форми реальної поверхні в системі координат (СК), що не залежить від її орієнтації і положення в просторі.

В якості такої СК може виступати декартова прямокутна СК, задана механічною реалізацією СК, наприклад, в КВМ. Використовуючи математичні методи, за результатами вимірювань точок інтерполюють форму реальної поверхні. Будують поверхню відомої номінальної форми і вписують її в інтерполювану реальну поверхню. Визначають по нормалі від координатної поверхні, локальні відхилення форми реальної поверхні від номінальної і визначають значення ГП відхилень форми складної поверхні за алгоритмом, що задає математичний оператор визначення ГП відхилень форми складної поверхні (СП).

2. Прямий метод вимірювань ГП відхилень форми СП. Вимірювання ГП відхилень форми реальної поверхні проводять в криволінійній СК, що утворено координатною поверхнею і нормальми до неї. Відлік локального відхилення форми ведуть по нормалі від координатної поверхні до реальної поверхні. На цьому принципі побудовано більшість ВС, в яких реалізована матеріальна номінальна поверхня - виступаюча в ролі координатної поверхні.

Форма матеріалізованої координатної поверхні не може бути ідеальним геометричним об'єктом, і є якоюсь фізичною поверхнею щодо якої вимірюють локальні відхилення форми поверхні.

Як вже зазначалося вище, деталі, що містять СП, використовувані в машинобудуванні та приладобудуванні, являють собою тривимірні об'єкти. Методи метрологічного обслуговування деталей, що містять СП, повинні враховувати їх просторовість.

Аналіз ВС показав, що інтелектуальні ВС в

основному використовують методи вимірювань ДП відхилень форми СПП в певному перерізі.

Найбільш інформативними ВС ГП відхилень форми СП є координатні ВС, вони дозволяють враховувати тривимірність об'єктів, що містять СП.

Аналіз інтелектуальних ВС показав, що по точносних характеристиках ряд ВС підступає впритул до вищих ланок державних повірочних схем (ДПС) для інтелектуальних ВС ДП відхилень форми СП. Необхідно виділити проблеми, які потрібно вирішити для того, щоб інтелектуальні ВС стали вихідними по точності.

На практиці для координатних вимірювань в основному застосовують ВС, що мають механічну реалізацію ортогональної декартової СК. Найбільш поширеними і точними ВС є прецизійні ВС портального типу.

Вони мають вдосконалені конструкції та програмні компенсації систематичних ефектів невизначеностей, викликаних впливом зовнішніх факторів (температура, вологість, тиск і т.д.). Для того щоб ВС портального типу зробити вихідними по точності важливо виявити основні джерела невизначеностей, проаналізувати та розробити (при необхідності) методи їх визначення і оцінити їх вплив на невизначеність вимірювань ГП.

Відомо, що найбільший вплив на невизначеність вимірювань координат ВС, робить невизначеність механічної реалізації СК. Механічна реалізація СК привносить неідеальність в її елементи.

Наприклад, для ВС портального типу геометричні помилки («bias») механічної реалізації СК в основному визначаються неідеальністю виготовлення і юстирування елементів конструкції координатних переміщень, а також невизначеностями, що вносяться ВС (шкалами) та вимірювальної головки (ВГ).

Геометричні помилки СК призводять до невизначеності вимірювань координат.

Відмінність реальної механічно реалізованої СК від ідеальної ортогональної призводить до некоректних математичних перетворень.

З цієї причини наявність компенсації систематичних ефектів координатних вимірювань є необхідною умовою математичної та метрологічної коректності вимірювальних перетворень координат, а також характерною технічною вимогою до розробників прецизійних ВС. Оцінивши геометричні помилки механічної реалізації СК, які в основному надають систематичний характер впливу на невизначеність вимірювань координат, можна внести поправки в результат вимірювань координат точок і таким чином компенсувати зазначені систематичні ефекти.

Для ВС портального типу геометричні параме-

три механічної реалізації СК визначаються з умови, що рухливі елементи її конструкції, пересуваючись уздовж осей координат, як тверді тіла мають в кожній точці переміщення 6 ступенів свободи, на кожен вісь характеризуються 3-ма лінійними (трансляційними) переміщеннями і 3-ма кутовими (ротаційними) коливаннями.

Також необхідно врахувати відхилення СК від ортогональної, тобто додатково до 18 складових невизначеностей (по 6 на кожен вісь), додаються ще 3. Таким чином, математична модель механічної СК характеризується 21 складовою невизначеності.

Для вимірів ГП для кожної з осей механічної реалізації СК окремо будується своя прямолінійна вісь для кожної точки якої визначаються і компенсуються ці невизначеності.

Ув'язка результатів вимірювань ГП кожної з осей механічної реалізації СК з метою їх компенсації проводиться після окремих вимірювань ГП на кожній з осей і вимірі відхилень від перпендикулярності осей. На виході математичної моделі механічної реалізації КІМ віртуально будується СК.

Висновки

Так як ГП відхилень форми СП задаються як функції від вимірних координат точок, що лежать на поверхні реального об'єкта, невизначеність вимірювань координат ВС увійде в невизначеність вимірювань ГП відхилень форми СП. Отже, на виході ВС повинна бути визначена невизначеність вимірювань конкретних ГП, як функція координат і функція невизначеності вимірювань координат.

Для того щоб ВС зробити вихідними по точності необхідно:

- Забезпечити необхідну точність вимірювання координат;

- Забезпечити необхідну точність обчислення ГП відхилень форми СП.

Для завдання першого типу необхідно проаналізувати існуючі методи і засоби оцінки невизначеностей вимірювань координат, при необхідності їх удосконалити або розробити нові.

Для другого типу завдання необхідно розробити математичний або алгоритмічний апарат, який забезпечує оцінку точності обчислення ДП відхилень форми СПП за результатами оцінки характеристик результатів вимірювань координат, а також методи тестування алгоритмів, відповідно до яких обчислюються ГП.

Література

1. Квасніков, В. П. Синтез системи управління вимірювальною головою при контролі геометричних розмірів складних просторових об'єктів [Текст] / В. П. Квасніков, М. Б. Налісний, Л. О. Борковська // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2005) : 8 Міжнар. конф. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – С. 63-64.
2. Налісний, М. Б. Концептуальний підхід до розробки програмного забезпечення координатно-вимірювальних машин [Текст] / М. Б. Налісний, Л. О. Борковська, О. В. Борковський // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні : Міжнар. науково-техн. конф. – Х. : ХАІ, 2005. – С. 149-150.
3. Borkovskaya, L. Intellectual system of diagnostic parameters determination of coordinate measuring machines [Text] / L. Borkovskaya, M. Nalisnyy // Aviation in the XXI-st century, Safety in aviation : Proceedings of the second world congress. – К., 2005. – P. 2.17-2.21.
4. Налісний, М. Б. Програмно-математичне забезпечення координатно-вимірювальних машин з елементами штучного інтелекту [Текст] / М. Б. Налісний, Л. О. Борковська, О. В. Борковський // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем : зб. тез доп. 3 Міжнар. науково-практ. конф. – Дніпропетровськ : ДНУ, 2005. – С. 121-122.
5. Костріков, О. Л. Інформаційні технології розробки програмно-математичного забезпечення координатно-вимірювальних машин [Текст] // О. Л. Костріков, Л. О. Борковська, О. В. Борковський // Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития : 2-й Междунар. радиоэлектронный форум МРФ-2005 : сб. науч. тр. Т. 7. // Метрология и измерительная техника : Междунар. конф. – Х. : АНПРЭ, ХНУРЭ, 2005. – С. 120-123.
6. Налісний, М. Б. Особливості контролю геометричних розмірів прецизійних деталей газотурбінних двигунів [Текст] / М. Б. Налісний, Л. О. Борковська, О. В. Борковський // Приладобудування 2006: стан і перспективи : зб. тез доп. 5 науково-техн. конф. – К. : НТУУ "КПІ", 2006. – С. 129-130.
7. Налісний, Н. Б. Интеллектуальный анализ диагностических параметров координатно-измерительных машин [Текст] / Н. Б. Налісний, Л. А. Борковская // Интеллектуальный анализ информации «ИАИ – 2006» : 6 Междунар науч. конф. – К. : НТУУ "КПІ", 2006. – С. 199-206.

Поступила в редакцію 5.05.2014, рассмотрена на редколлегии 12.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедри В. П. Квасніков, Національний авіаційний університет, Київ.

ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Ю. П. Лещенко

Приведены основные принципы необходимости интеллектуализации измерений. Рассмотрены варианты измерений геометрических параметров отклонений формы. Описано, что наибольшее влияние на неопределенность измерений координат интеллектуальной измерительной системы оказывает неопределенность механической реализации системы координат, показано как уменьшить ее влияние. Механическая реализация системы координат приносит неидеальность в ее элементы. Таким образом, речь пойдет об интеллектуальной измерительной системе, которая осуществляет измерение геометрических параметров объектов (в том числе сложной поверхности).

Ключевые слова: информационно-измерительная система, сложные пространственные поверхности, интеллектуальные технологии, измерительная головка.

ROBOT MEASUREMENT OF GEOMETRIC PARAMETERS BY INTELLIGENT MEASURING SYSTEMS

Y. P. Leschenko

The basic principles of necessity intellectualization measurements. Variants of measuring geometric parameters variations form. Described that the greatest influence on the uncertainty of the measurement coordinate measuring intellectual system, making the uncertainty of the mechanical implementation of the coordinate system and show how to reduce its impact. Mechanical realization of the coordinate system brings imperfection of its elements. Thus, we will discuss intellectual measurement system that provides measurements of geometric properties of objects (including complex surfaces).

Key words: information-measuring system, complex spatial surface intelligent technology, measuring head, control, intellectualization.

Лещенко Юлія Павлівна – аспірант, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: ulial@inbox.ru.