

УДК 531.004

Ю.П. ЛЕЩЕНКО

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## ПРИНЦИП РОБОТИ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ РОБОТІВ

*Наведено принцип роботи координатно-вимірювальних машин та інтелектуальних вимірювальних роботів. Описано процес зчитування координат вимірюваних точок та можливості підвищення точності вимірювань. Описано порядок вимірювання та принцип обробки результатів вимірювання. Наведено можливі поверхні, які можуть підлягати вимірюванню та число вимірюваних точок і до чого призводить збільшення їх кількості. Вказано види автоматичного керування виконавчих органів координатно-вимірювальних машин. Описано яким чином може відбуватися збір інформації про поверхню, що підлягає вимірюванню.*

**Ключові слова:** інтелектуальні вимірювальні роботи, координатно-вимірювальні машини, координатні вимірювання, точність вимірювання, дані вимірювань, вимірювана поверхня, вимірювані точки.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Для повного контролю деталей промисловість отримала широкоуніверсальний, автоматичний, досить гнучкий засіб контролю – координатно-вимірювальні машини (КВМ). Особливо важливим моментом є застосування інтелектуальних систем у КВМ.

З їх застосуванням підвищується точність і достовірність результатів вимірювання. Використання принципів оперативного і діалогового програмування дало можливість спростити застосування КВМ та інтелектуальних вимірювальних роботів (ІВР) як універсального засобу контролю в одиничному і малосерійному виробництвах.

Виходячи з цього розробка ІВР та покращення їх характеристик – виступає актуальним питанням сучасності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що КВМ значно спрощує метрологічну підготовку виробництва нового виробу, так як відпадає необхідність створення значної кількості засобів спеціального вимірювального оснащення [1]. Протокол з результатами контролю, що видається КВМ, підвищує відповідальність виробників за якість обробки [2].

У світовій практиці вже є ряд прикладів застосування універсальних КВМ у вимірювальних модулях, що працюють по безлюдній технології, і спеціальних КВМ – так званих ІВР [3].

На сучасній КВМ можна виміряти практично будь-які складні поверхні і деталі в цілому, що до появи КВМ не завжди було можливо.

**Постановка завдання.** Метою є аналіз принципу роботи КВМ та ІВР та виявлення переваг при прицезійного вимірювання деталей.

### Основний матеріал досліджень

Робота КВМ та ІВР заснована на координатних вимірюваннях, тобто на почерговому вимірюванні координат певного числа точок поверхні деталі і наступних розрахунках лінійних і кутових розмірів, відхилень розміру, форми і розташування у відповідних системах координат.

Використовуються три основні системи координат: абсолютна системи координат машини, відносна система координат машини і система координат деталі. Всі операції з розрахунку систем координат і трансформації значень координатних даних виконуються по програмі автоматично, на основі даних вимірювань, що вводяться в системи координат машини. Координатні вимірювання реалізуються комплексом апаратних і програмних засобів. КВМ та ІВР умовно можна розділити на базову частину, що містить вузли координатних переміщень, вимірювальні перетворювачі і вимірювальну головку, призначену для безпосереднього вимірювання координат точок, і керуючий обчислювальний комплекс на основі ЕОМ, призначений для управління процесом вимірювання, обробки та подання даних вимірювання. Габарити, конструкція, точність базової частини в основному визначаються параметрами вимірюваних деталей та умовами експлуатації. Склад і показники програмно-математичного забезпечення залежать від спектру метрологічних завдань і ступеня автоматизації КВМ та ІВР. Коор-

динати точок можуть зчитуватися при русі вузлів КВМ та ІВР або у стані їх спокою. Перший режим реалізується із застосуванням нульових вимірювальних головок (головок торкання) або головок відхилення. У головках торкання в момент зіткнення вимірювального наконечника з вимірюваною поверхнею відбувається дискретна зміна електричного сигналу, що є командним сигналом на зупинку та реверс приводів. Головки даного типу не дають інформації про значення і напрямок зміщення їх вимірювальних наконечників.

При взаємодії ж наконечника з вимірюваною поверхнею надається інформація про значення, а іноді й напрямок зсуву вимірювального наконечника з вихідного положення.

Відлік координат точок проводиться після досягнення нульових показань або по команді від системи управління. У другому випадку координати точок визначаються підсумовуванням показань вимірювальних перетворювачів та КВМ або ІВР.

Вимірювання в динамічному режимі володіють високим швидкодією і універсальністю, однак дещо меншою точністю (головним чином, через коливання рухомих вузлів КВМ або ІВР).

Точність вимірювання підвищується при вимірюванні в статичному режимі, коли відлік координат точок проводиться в стані спокою рухомих вузлів КВМ або ІВР.

Порядок вимірювання КВМ залежить від базової частини, засобів і методів підготовки програм і включає наступні операції:

1. За кресленням або зразком деталі визначаються і, з використанням відповідної конфігурації, позначаються параметри, що підлягають контролю.

2. Визначається послідовність вимірювань і розрахунків; системи координат деталі; необхідне число, форма і орієнтація вимірювальних наконечників; спосіб установки і кріплення деталі; форма представлення результатів вимірювань.

Для вимірювання деталей складної форми з великим числом поверхонь різних форм і розташування КВМ або ІВР забезпечуються вимірювальною головкою, в яку одночасно може бути встановлено до 25-40 вимірювальних наконечників. Необхідна універсальність може досягатися поворотом вимірювальної головки або її зміною в процесі вимірювання.

Установка і кріплення деталі передбачаються такими, щоб вона в процесі вимірювання не порушувалася і не деформувалася, крім того, повинен бути забезпечений доступ до вимірюваних поверхонь.

3. Відповідно до розробленого плану проведення вимірювання розробляється програма вимірювання, яка включає підготовку системи управлін-

ня ІВР, калібрування вимірювальних наконечників вимірювальної головки, вимірювання координат точок, введення номінальних значень і граничних відхилень вимірюваних параметрів, розрахунок їх фактичних значень, видачу протоколів та представлення даних в графічному вигляді.

Інформація про вимірюваної поверхні може бути зібрана шляхом дискретних вимірів кожної точки окремо або безперервним стеженням по поверхні.

У першому випадку при вимірюванні в кожній точці вимірювальний наконечник вводиться в зіткнення з вимірюваною деталлю і виводиться з нього після зняття показань вимірювальних систем.

Такий спосіб є основним при вимірюванні лінійних і кутових розмірів, відхилень взаємного розташування; він особливо зручний при вимірюванні деталей із зазначеними типовими поверхнями. Для його реалізації використовуються обидва типи вимірювальних головок.

При вимірюванні стеженням вимірювальний наконечник вводиться в контакт з вимірюваної поверхнею і без відриву переміщується по контуру з певним кроком. Під час руху зчитуються значення координат необхідного для розрахунку числа точок. Для зчитування інформації може бути прийнято постійним або відстань по координаті протяжки, або відстань між двома наступними поруч точками, або відстань по контуру, або кут в полярній системі відліку, або висота хорди між сусідніми точками відліку і т.д.

Даний спосіб вимірювання є основним для визначення розмірів і відхилень форми криволінійних поверхонь. Реалізується він тільки із застосуванням вимірювальних головок відхилення.

4. Вимірювання першої деталі включає установку деталі на предметному столі КВМ; введення програми вимірювання; ручне калібрування вимірювальних наконечників; ручний вимір координат точок на базових поверхнях деталі; вимірювання деталі і розрахунок вимірюваних параметрів.

Результати розрахунків в процесі вимірювання накопичуються в базі даних ПК. Ці дані в подальшому використовуються для розрахунку типових геометричних елементів.

5. Результати вимірювань подаються у вигляді роздрукованих протоколів і на екрані дисплея, або виводяться на зовнішні машинні носії інформації, накопичуються у зовнішній пам'яті, пересилаються в іншу ПК по корпоративній мережі.

Результати вимірювань відхилень форми та взаємного розташування для зручності аналізу можуть бути представлені в графічному вигляді.

Зміст і формат протоколів і графіків з результатами вимірів можуть програмуватися з видачею як

мінімальної інформації про дійсні розміри, так і повних оціночних даних.

При вимірюванні наступних деталей калібрування вимірювальної головки і визначення положення деталі можуть бути виключені або всі операції можуть бути виконані автоматично. В даний час вже налічується понад 100 моделей КВМ, що розрізняються за призначенням, принципом дії, компонуванні, методу вимірювання, діапазону вимірювання, точності проведених вимірювань, рівнем автоматизації та ін.

На розвиток КВМ та ІВР істотний вплив справила автоматизація двох операцій: управління рухом виконавчих органів КВМ та ІВР, а також зчитування, обробки та запису результатів вимірювання.

Кожна із зазначених операцій незалежно одна від одної може виконуватися оператором вручну, або бути автоматизована. Автоматичне управління рухом виконуючих органів КВМ та ІВР підрозділяється на два види:

- рух виконуючих органів здійснюється від системи ЧПК відповідно до керованої програмою; взаємозв'язок рухів по координатах реалізує спеціальний пристрій – інтерполятор системи ЧПК;
- взаємозв'язок рухів по координатах здійснюється за допомогою «копіювальної» системи, де в якості «копіра» використовується поверхня вимірюваної або зразкової деталі.

Вимоги до засобів автоматизації процесу зчитування, обробки та запису результатів вимірювань визначаються в основному методами координатних вимірювань.

Як прикладом може бути перша автоматична КВМ, що була побудована на базі координатно-розточувального верстата, в якій був реалізований диференціальний метод координатних вимірювань. Для цього верстат був оснащений системою ЧПК і модульної вимірювальної головки.

Також може бути представлена інтелектуальна вимірювальна машина з використанням експертних систем, призначена для вимірювання переважно складних поверхонь деталей (штампи, прес-форми, турбінні лопатки, гребні гвинти та ін.).

Істотним недоліком розглянутої КВМ є велика трудомісткість її перенастроювання на вимірювання різних типорозмірів деталей, тобто зменшена «гнучкість».

## Висновки

Склад вимірюваних поверхонь, параметрів відхилень форми та взаємного розташування залежить від можливостей програмно-математичного забезпечення і потужності засобів обчислювальної техніки. Всі сучасні КВМ надають можливість вимірювати деталі з типовими поверхнями – площинами, циліндрами, конусами, сферами або їх сегментами. Число вимірюваних точок може коливатися в досить широких межах, від мінімального, однозначно визначає розглянуту лінію або поверхню, до декількох сотень. Від числа точок вимірювання залежить точність розрахунків характеристик поверхні і продуктивність вимірювання.

Зі зменшенням числа точок вимірювання підвищується ймовірність виникнення значних похибок вимірювання внаслідок впливу відхилень форми, пошкоджень і місцевих забруднень вимірюваних поверхонь. Збільшення числа точок знижує продуктивність контролю.

Найбільш досконалі КВМ дають можливість вимірювати деталі зі спеціальними складними просторовими поверхнями – зубчасті колеса, лопатки турбін, розподільні вали і т.п., а також довільні криволінійні поверхні, що не описуються аналітично.

## Література

1. Юревич, Е.И. Основы робототехники [Текст] / Е.И. Юревич. – 2-е изд., перераб. и доп. – БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
2. Фу, К. Робототехника [Текст] / К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли. – М.: Мир, 1989. – 620 с.
3. Башмаков, А.И. Интеллектуальные информационные системы [Текст] / А.И. Башмаков, И.А. Башмаков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 303 с.
4. Слепцов, В.В. Электроприводы промышленных роботов. Концепция проектирования [Текст] / В.В. Слепцов, В.И. Картовец, А.А. Лукин; под ред. В.В. Слепцова. – М., 2003. – 76 с.
5. Руабхи, Насир. Применение идентификаторов состояния в следящих системах промышленных роботов [Текст] / Насир Руабхи, В.В. Слепцов // Приборы, контрольно-измерительные системы автоматизации и управления: сб. научн. тр. – М.: МГАПИ, 1999. – 36 с.

Надійшла до редакції 1.06.2012

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

## ПРИНЦИП РАБОТЫ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИН И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ РОБОТОВ

*Ю.П. Лещенко*

Приведен принцип работы координатно-измерительных машин и интеллектуальных измерительных роботов. Описан процесс считывания координат измеряемых точек и возможность повышения точности измерений. Описан порядок измерения и принцип обработки результатов измерения. Приведены возможные поверхности, которые могут подлежать измерению и число измеряемых точек, а также к чему приводит увеличение их количества. Указаны виды автоматического управления исполнительными органами координатно-измерительных машин. Описано каким образом может происходить сбор информации о измеряемой поверхности.

**Ключевые слова:** интеллектуальные измерительные роботы, координатно-измерительные машины, координатные измерения, точность измерений, данные измерений, измеряемая поверхность, измеряемые точки.

## HOW IT WORKS COORDINATE MEASURING MACHINES AND INTELLIGENT MEASUREMENT ROBOTS

*Y.P. Leschenko*

Shows the principle of coordinate measuring machines and smart metering robots. We describe the processes read the coordinates of measured points and the ability to improve the accuracy of measurements. Describes how the principle of measurement and processing of measurement results. The possible surfaces that lie can dimension and the number of measured points, as well as the consequences of an increase in their number. Indicates the types of automatic control of the executive bodies of coordinate measuring machines. Described how the collection of information can occur on the surface to be measured.

**Key words:** intelligent measuring robots, coordinate measuring machine, coordinate measurement, accuracy of measurement, measurement data, measured the surface, measured points.

**Лещенко Юлія Павлівна** – аспірантка Національного авіаційного університету, Київ, Україна, e-mail: ulial@inbox.ru.