УДК 681

А.Л. Передерко

МЕТОД КОМПЕНСАЦІЇ ВИПАДКОВОЇ ПОХИБКИ, ВНЕСЕНОЇ ЗОВНІШНІМИ ВІБРАЦІЙНИМИ ВПЛИВАМИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ВИМІРІВ НА КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНІЙ МАШИНІ

Національний авіаційний університет

В статті показано, що система активного віброзахисту дає змогу нівілювати вібрації які викликають випадкові похибки, зменшити час проведення вимірів та підвищити їх вірогідність.

Ключові слова: *координатно-вимірювальна машина, віброзахист, вимірювання.*

Вступ

Сучасні координатно вимірювальні машини (КВМ) є універсальним і гнучким засобом контролю деталей у машинобудуванні й приладобудуванні. Висока універсальність координатних вимірів поставила їх на провідне місце в сучасному автоматизованому виробництві й особливо в гнучких виробничих системах, що у свою чергу вимагає від КВМ вірогідності проведених вимірів в умовах виробництва (підвищений рівень індустріальних перешкод, вібраційних, температурних й інших впливів).

В процесі виміру на КВМ бере участь велика кількість взаємодіючих вузлів і систем, виміри виконуються в просторі, результати виміру визначаються розрахунковим шляхом на базі значного обсягу інформації, вирішуються різні метрологічні завдання, у тому числі складні, обумовлені по декількох криволінійних поверхнях, використаються різні засоби подання результатів виміру. Умови автоматизованого, інтенсивного виробництва висувають вимоги виконання вимірів безпосередньо у виробничих умовах. Тому питання точності координатних вимірів є найбільш складними.

Похибка виміру на КВМ складається з похибки збору інформації - похибки виміру координат точок і похибок обробки й подання результатів вимірів, які, у свою чергу, складаються з компонентів, визначаємих складом апаратної частини й системою програмно-математичного забезпечення КВМ, параметрами вимірюваних деталей, факторами навколишнього середовища, джерел енергії, часу виміру й експлуатації КВМ.

По ступеню впливу на похибку КВМ, обумовленою апаратною її частиною, основними й практично рівноцінними компонентами є механічна конструкція, що реалізує координатну систему КВМ, вимірювальні системи й вимірювальні голівки (ВГ).

Основна частина

Компенсація похибок є одним з найбільш ефективних засобів підвищення точності вимірів. Крім компенсації джерел похибок переміщення (осад підшипників, вузлів їхнього кріплення, напрямних) інструментальними засобами, широко застосовується компенсація за допомогою обчислювальних засобів. Це стало можливим із включенням до складу КВМ потужних електронних обчислювальних машин (ЕОМ), що володіють високою швидкодією й ресурсами оперативної й зовнішньої пам'яті. Але компенсація за допомогою обчислювальних засобів випадкових похибок внаслідок дії не детермінованих зовнішніх впливів є проблематичною через необхідність проведення великої кількості вимірів (звичайно більше 20 на одну точку), при цьому встановлюється довірчий інтервал проведених вимірів. Так як величина випадкових похибок носить випадковій характер і може мати, в даній точці виміру, як додатнє так і від′ємне значення, то зрозуміло, що зменшення таких похибок дасть суттєве підвищення точності та достовірності вимірів.

Одним із основних факторів впливу на точність при вимірюванні на КВМ є зовніні вібраційні впливи. Вібрації, передані КВМ від підлоги, можуть бути причиною високочастотних коливань рухливих вузлів КВМ. Це негативно діє на геометричну точність КВМ, точність і стабільність вимірювальних систем, може бути причиною помилкових спрацьовувань ВГ або викликати необхідність їх загрублення. Все це знижує точність і продуктивність КВМ. Тому при установці КВМ у лабораторіях повинні бути дотримані вимоги до вібрацій підлоги, пропоновані виготовниками КВМ. Але в умовах виробництва дотримання

зазначених вимог неможливо, тому що рівні вібраційних впливів перевищують припустимі, що, якщо не вжити адекватних заходів, приводить до збільшення випадкової похибки виміру.

Випадкові похибки - це похибки, що приймають при повторних вимірах різні, незалежні за знаком і величиною значення та не мають будь-якої закономірності. Однією з основних причин, що викликають випадкові похибки КВМ в умовах виробничого середовища є вібрація.

Для випадкових похибок характерний ряд умов:

- малі по величині випадкові похибки зустрічаються чаші, чим більші;
- негативні й позитивні щодо середньої величини вимірів, рівні по величині похибки, зустрічаються однаково часто;
- для кожного методу вимірів є своя межа, за яким похибки практично не зустрічаються (у противному випадку ця, похибку буде грубим промахом).

Виявлення випадкових похибок особливо необхідно при точних вимірах. Для цього використовують багаторазові виміри однієї й тієї ж величини, а результати обробляються методами теорії ймовірностей і математичної статистики. Це дозволяє уточнити результати виконаних вимірів.

Вплив випадкових похибок виражається в розкиді отриманих результатів щодо математичного очікування, тому в теорії похибок показано, що в якості оцінки випадкової похибки $\Delta_{вип}$ середнього арифметичного значення $X_{ср}$ варто брати так називане середнє квадратичне відхилення σ, що обчислюється по формулі:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + ... + (X_n - \bar{X})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}(X_j - \bar{X})^2}{n(n-1)}}, \qquad (1)$$

де: n – кількість проведених вимірів; $\bar{X}$ -середнє арифметичне значення.

Важливою особливістю цієї формули є те, що обумовлена величина випадкової похибки зменшується при збільшенні числа вимірів n. (Систематична похибка цією властивістю не володіє). Виходить, якщо необхідно зменшити випадкову похибка, те це можна зробити шляхом збільшення кількості повторних вимірів.

Ця величина похибки визначає той інтервал, усередину якого попадає істине значення обмірюваної величини з певною ймовірністю P. Чому ж дорівнює ця так називана довірча ймовірність?

Теорія похибок показує, що для великої кількості вимірів (n >30), якщо випадкову похибку прийняти рівною середньому квадратическому відхиленню $\Delta_{вип} = \sigma$, то довірча ймовірність дорівнює 0,68. Якщо в якості оцінки випадкової похибки взяти подвоєне значення $\Delta_{вип} = 2\sigma$, то в середину цього збільшеного інтервалу істине значення, при багаторазових вимірах, буде попадати з довірчою ймовірністю P = 0,95, для інтервалу $\Delta_{вип} = 3\sigma$ імовірність P=0,997 (рис. 2.)

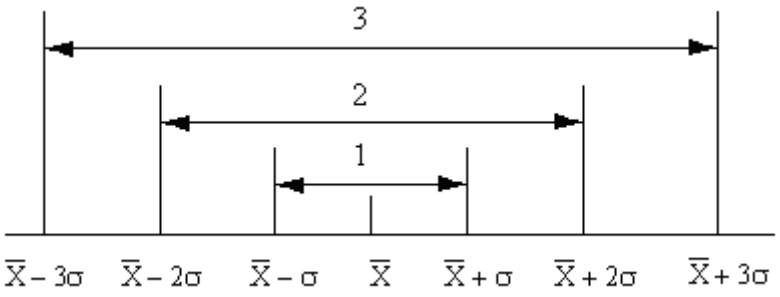

Рис.1. Довірчі інтервали середньо квадратичного відхилення σ.

В інтервал 1 (див. рис. 2) істине значення величини X може потрапити з імовірністю P=0,68, в інтервал 2 - з імовірністю P=0,95, в інтервал 3 - з імовірністю P=0,997.

Для відповідальних вимірів звичайно використають оцінку $\Delta_{вип}=2\sigma$ з P=0,95. В особливо відповідальних випадках, коли проведені виміри пов'язані зі створенням еталонів, або відповідальних прецизійних вимірів, оцінка випадкової похибки беруть 3σ, для якої P=0,997.

Загальна абсолютна похибка виміру Δ завжди містить в собі дві складові: систематичну похибку Δ_c і випадкову похибку $\Delta_{вип}$:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_c^2 + \Delta_{вип}^2} \qquad (2)$$

Суму похибок також можна інтерпретувати графічно (рис.1). Загальна похибка Δ дорівнює гіпотенузі трикутника, катетами якого є Δ_c і $\Delta_{вип}$.

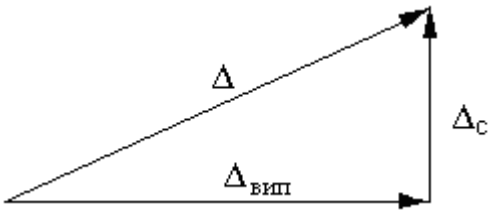

Рис.2. Графічне підсумування систематичної та випадкової похибок.

Припустимо що одна з похибок, наприклад Δ_c, в 2 рази менше, ніж $\Delta_{вип}$. Тоді, відповідно до формули (2):

$$\Delta = \sqrt{\Delta_c^2 + \Delta_{вип}^2} = \sqrt{(\frac{\Delta_{вип}}{2})^2 + \Delta_{вип}^2} = \sqrt{\frac{5}{4}\times\Delta_{вип}^2} = 1{,}12\Delta_{вип}$$

Тобто абсолютна похибка у цьому випадку лише на 12% більше, ніж випадкова. Така сама залежність притаманна і при $\Delta_{вип} = 2\Delta_c$.

Зі сказаного випливає наступне:

Якщо систематична похибка у два й більше рази більше, ніж випадкова $\Delta_c > 2\ \Delta_{вип}$, то $\Delta \approx \Delta_c$ і випадковою похибкою можна зневажити. Велику кількість вимірів при цьому проводити недоцільно, тому що Δ_c не зменшується при збільшенні n.

Якщо, навпаки, випадкова похибка більш ніж в 2 рази перевищує систематичну, то систематичною похибкою можна зневажити, тобто якщо $\Delta_{вип} > 2\Delta_c$, то $\Delta \approx \Delta_{вип}$ (бажано провести побільше вимірів для зменшення $\Delta_{вип}$).

Якщо обидві складової загальної абсолютної похибки порівнянні, то треба їх підсумувати по формулі (2) або графічно (рис.2). Кількість вимірів доцільно збільшити для зменшення $\Delta_{вип}$.

Беручи до уваги, що замість $\Delta_{вип}$ можна взяти її оцінку σ, то формула (2) прийме такий вигляд:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_c^2 + \sigma^2}$$

Тобто, якщо застосувати ефективну компенсацію випадкової похибки на фізичному рівні за допомогою спеціальних пристроїв, то залишається систематична похибка, яка піддається компенсації як на аппаратному так і на программному рівні.

Вібрація на більшості виробничих ділянок - результат сталої, або вимушенної вібрації - удару, або обох цих типів вібрації які впливають на точність і повторюваність результатів вимірів на КВМ.

Стала вібрація створюється устаткуванням, що працює в монотонному режимі. Це: повітряні компресори, вакуумне встаткування, вентилятори, двигуни та ін.. Вимушена або перехідна вібрація створена устаткуванням, що створює раптову силу або зіткнення, таким як ковальський молот, штамповочний прес, навантажувачі з вильчатим захопленням і ін. Комбінація цих двох вібрацій створює випадкову вібрацію яка складається з періодичних і аперіодичних змушених коливань в широкому діапазоні частот. Пасивні віброопори, які застосовують для захисту КВМ від вібраційних впливів і основним вузлом яких є, в основному,

пружний еластомірний елемент, не в змозі ефективно боротися з указаними впливами. Тому провідні виробники забезпечують сучасні КВМ активними засобами компенсації від вібраційних впливів.

Під час проведення вимірів портал і консоль КВМ переміщуються для забезпечення експонування ВГ в потрібну точку простору з координатами *x, y, z*. Ці переміщення породжують моменти сил, які приводять до коливань рухомих частин КВМ .

Основна частина коливальної енергії, викликаної переміщенням порталу й консолі, поширюється по корпусу КВМ у вигляді згибних хвиль. Це обумовлено піддатливістю оболонок корпусів стосовно поперечних сил і згинальних моментів у порівнянні з іншими видами деформацій.

Таким чином КВМ , як система, отримує вібраційні збурення як зі сторони входу (коливання підлоги), так і зі сторони виходу (коливання породжені рухомими частинами).

Автором запропонована система активного віброзахисту (САВ) (рис.3), яка враховує та захищає КВМ від вище наведених впливів.

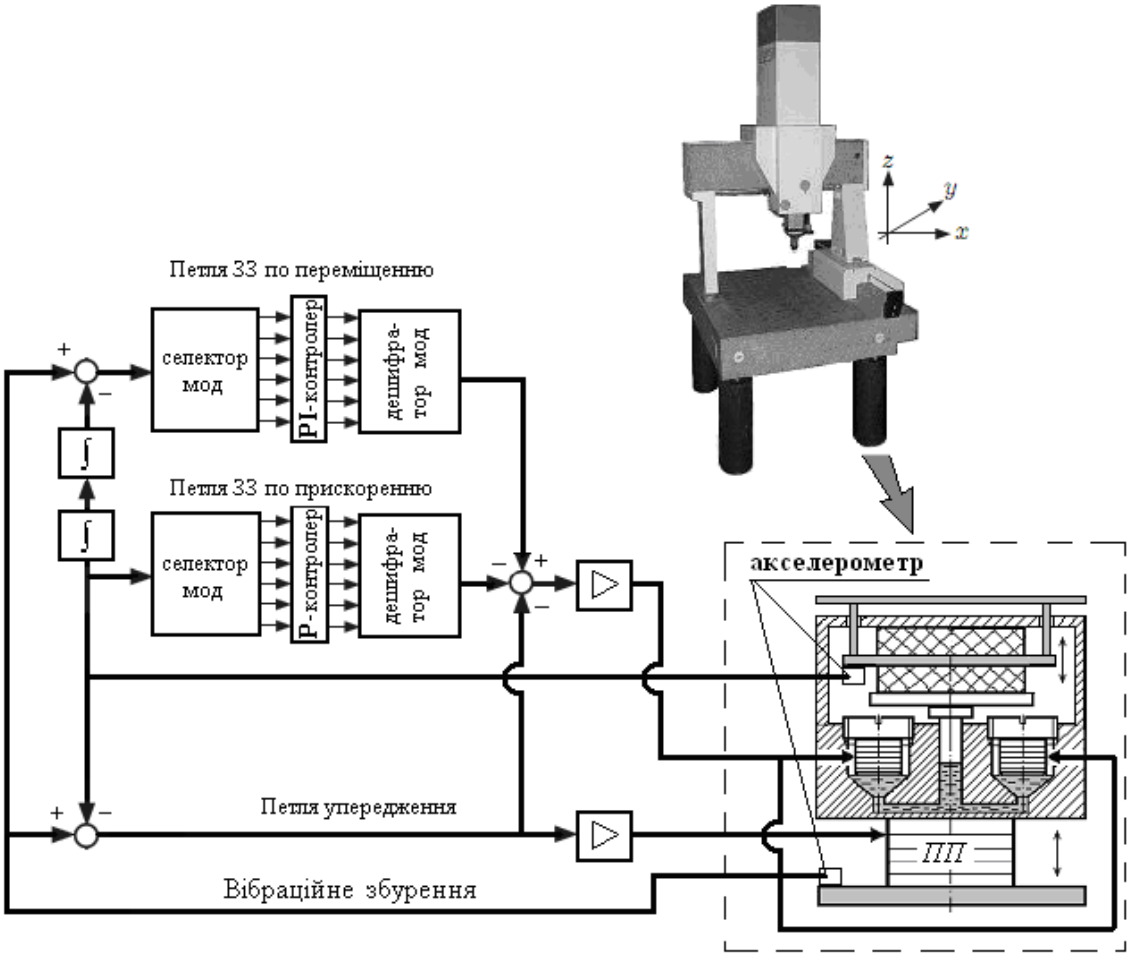

Рис.3. Система активного віброзахисту КВМ.

В САВ застосоване модальне керування. Так як частота власних коливань залежить від маси, а загальна маса КВМ залежить від величини маси деталі встановленої на вимірювальний стіл, то для контролю власних коливань застосовано регулювання жорсткості пружних еластомірних елементів віброопор. В якості датчиків в САВ використовуються п′єзоакселерометри, в якості виконавчих приводів- п′єзо та п′єзогідроприводи, які конструктивно знаходяться в корпусі активної віброопори КВМ.

Ефективність роботи САВ при вертикальному переміщенні підлоги з максимальним прискоренням приблизно 8 см/с^2 (графік відображений на рис.4.) характеризується наступними результатами: було досягнуто максимальне зниження вібрації приблизно в 100 разів (-40 дБ), або в 60 разів у середньоквадратичних значеннях (-36 дБ), а максимальне прискорення в центрі стола КВМ понижено до рівня 0,1 см/с^2 .

Рис. 4. Прискорення у вертикальному напрямку при підвищеному впливі мікро вібрації.

На рис.5 показана амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) передачі вертикальної вібрації від підлоги до центра стола КВМ. Приведані характеристики при вимкненій САВ (працює тільки пружний еластомірний елемент активної віброопори)- пасивний захист і з ввімкненою САВ – активний захист.

В результаті роботи САВ вібраційні впливи компенсувалися до рівня нижче 0 дБ децибел по всьому частотному діапазоні. Зменшення коливань на -40 дБ (зменшення в 100 разів) досягнуто на частотах більш ніж 5 Гц.

Рис.5. АЧХ системи активного віброзахисту при різних режимах роботи.

Висновки

Як показують отримані результати, захист КВМ від зазначених вище факторів вібраційного впливу середовища є ефективним засобом компенсації похибок та підвищення точності вимірів.

Застосування САВ дає змогу нівілювати вібрації які викликають випадкові похибки, зменшити час проведення вимірів та підвищити їх вірогідність.

Список літературних джерел

1. Координатные измерительные машины и их применение / А.А. Гапшис, А.Ю. Каспарайтис, М. Б. Модестов и др.; М.: Машиностроение, 1988. — 328С, ил.

2. Фролов К.В., Фурман Ф.А. Прикладная теория виброзащитных систем. -М.: Машиностроение, 1980.-276 с.

3. Квасников В.П. Повышение точности и быстродействия информационно-измериттельных систем механических величин объектов со сложными пространственными поверхностями.-Черкассы:Черкасский институт управления.-2002.-212с.