

УДК 531

О.В. ДІХТІЄВСЬКИЙ
ПАТ «НВО» Київський завод автоматики**РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ
ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ЗУБЧАСТИХ КОЛІС**

У даній роботі розглянуті деякі оцінки методів підвищення достовірності вимірювання характеристик точності зубчастих коліс, а також наведені показники надійності методів вимірювання. Широке використання зубчастих коліс в багатьох галузях машинобудування та приладобудування ставить завдання розвитку метрологічного забезпечення їх виробництва. Це обумовлено вимогами підвищення точності, якості і конкурентоспроможності виробів, де вони використовуються. Наявність сучасного комп'ютерного забезпечення в координатно-вимірювальних машинах дозволяє здійснити автоматичну обробку результатів вимірювань, підвищити інформативність результатів за рахунок можливості графічного виведення інформації, значно підвищити точність результатів вимірювань за рахунок математичної компенсації похибок систематичних складових, а також зменшити випадкові похибки за рахунок статистичної обробки. Все це створює передумови для розробки і впровадження на базі координатно-вимірювальних машин сучасних прецизійних координатних методів і засобів вимірювань геометричних параметрів, а також їх метрологічного забезпечення. При контролі зубчастих коліс окрім універсальних і спеціальних засобів вимірювання типових геометричних параметрів (розмірів елементів: діаметра отворів, валів; відстаней між торцями; відхилень від перпендикулярності або паралельності і т.д.) застосовують велике число спеціалізованих приладів контролю параметрів, що характеризують експлуатаційні показники зубчастого колеса.

Запропоновано систему критеріїв для оцінки надійності методики достовірності вимірювання геометричних величин та схему для розрахунку ймовірностей, які характеризують надійність процесу вимірювання. Досліджено закон розподілу випадкової похибки вимірювання при налаштуванні вимірювального приладу по еталону. Виконаний математичний розрахунок граничних похибок прямих вимірювань геометричних параметрів зубчастих коліс. Наведені найбільш прогресивні і універсальні методи, які мають яскраво виражені переваги і дозволяють без значних складнощів змодельовати зубчасті колеса для всебічних досліджень. Окремо виділені основні особливості, які слід враховувати при розробці універсальної математичної моделі геометричних параметрів процесу вимірювання.

Ключові слова: зубчасте колесо, похибка, ймовірність, дисперсія, надійність, критерій, вимірювання, розподіл, достовірність.

А.В. ДИХТИЕВСКИЙ
ПАТ «НПО» Киевский завод автоматики**РОЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

В данной работе рассмотрены некоторые оценки методов повышения достоверности измерения характеристик точности зубчатых колес, а также приведены показатели надежности методов измерения. Широкое использование зубчатых колес во многих отраслях машиностроения и приборостроения ставит задачу развития метрологического обеспечения их производства. Это обусловлено требованиями повышения точности, качества и конкурентоспособности изделий, где они используются. Наличие современного компьютерного обеспечения в координатно-измерительных машинах позволяет осуществить автоматическую обработку результатов измерений, повысить информативность результатов за счет возможности графического вывода информации, значительно повысить точность результатов измерений за счет математической компенсации погрешностей систематических составляющих, а также уменьшить случайные погрешности за счет статистической обработки. Все это создает предпосылки для разработки и внедрения на базе координатно-измерительных машин современных прецизионных координатных методов и средств измерений геометрических параметров, а также их метрологического обеспечения. При контроле зубчатых колес кроме универсальных и специальных средств измерения типовых геометрических параметров (размеров элементов: диаметра отверстий, валов; расстояний между торцами; отклонений от перпендикулярности или параллельности и т.д.) применяют большое число специализированных приборов контроля параметров, характеризующих эксплуатационные показатели зубчатого колеса.

Предложена система критериев для оценки надежности методики достоверности измерения геометрических величин и схему для расчета вероятностей, характеризующих надежность процесса измерения. Исследовано закон распределения случайной погрешности измерения при настройке измерительного прибора по эталону. Выполненный математический расчет предельных погрешностей прямых измерений геометрических параметров зубчатых колес. Приведены наиболее прогрессивные и универсальные методы, которые имеют ярко выраженные преимущества и позволяют без значительных сложностей смоделировать зубчатые колеса для всесторонних исследований. Отдельно выделены основные особенности, которые следует учитывать при разработке универсальной математической модели геометрических параметров процесса измерения.

Ключевые слова: зубчатое колесо, погрешность, вероятность, дисперсия, надежность, критерий, измерения, распределение, достоверность.

A.V. DIHTIEVSKIY
PJSC «RPA» Kyiv automatics plant

DEVELOPMENT OF METHODS FOR IMPROVING THE ACCURACY OF MEASUREMENT OF GEOMETRIC PARAMETERS OF STOMACH WHEELS

In this work there are robots of assessments of the methods of performance of the characteristics of the accuracy of teeth parts, and also of the indicators of the methods of operation of the workers. Widespread victorization of teeth parts in bagatokh galuziyakh machine and equipment that should be put in place in the metrology of the metrology of the virobnitstva. Tse is charged with vimogami pidvischennya tochnosti, austerit and competitiveness, deafer stinkers. Nayavnist Suchasnyj Komp'yuterniy zabezpechennya in jig vimiryuvalnih machines dozvolyaє zdiysniti automaticity obrobku rezultativ vimiryuvan, pidvischiti informativnist rezultativ for rakhunok mozhливosti grafichnogo vivedennya Informácie, uniquely pidvischiti tochnist rezultativ vimiryuvan for rakhunok matematichnoї kompensatsii pohibok systematically warehouses and takozh zmenshiti vipadkovi pohibki for rakhunok statistichnoї obrobki . All the objectives of the change of mind for the development and implementation of on the basis of the coordinate and automatic machines of the most recent coordinate methods and geometric parameters, as well as metrological issues. When kontroli zubchastih kolis okrim universalnih i spetsialnih zasobiv vimiryuvannya types geometric parametriv (rozmiriv elementiv: diametra otvoriv, valiv; vidstaney mizh ends; vidhilen od perpendikulyarnosti abo paralelnosti i etc.) zastosovuyut velike number spetsializovanih priladiv control parametriv scho harakterizuyut ekspluatatsiyini pokazniki zubchastogo wheels.

The system of criteria for evaluating the methods of accessibility of geometrical quantities and the scheme for romancers, which characterize the process of simulation, is prescribed. Dosdidzheno law rozpodilu vipadkovo nox zibki vimivuvannya at nalashtuvanni vim ryuvalnogo priladu on the pattern. Vykonaniy Mathematical rozrahkakuyu limiting the bends of direct Vimiryuvan geometrical parameters of teeth parts. Navigate the progress of the progressive and universal methods, allow you to turn your arm and make it possible without significant folding wheels for all the rest of the world. Okremo views of the main peculiarities that are of the utmost importance in the development of mathematical mathematical models of geometric parameters in the process of teaching.

Keywords: gear wheel, error, probability, variance, reliability, criterion, measurement, distribution, reliability.

Постановка проблеми

Провести аналіз стану методик підвищення достовірності вимірювання геометричних параметрів зубчастих коліс, для виявлення конкретних метрологічних проблем, які потребують вирішення. Розробити метод вимірювання і теорію похибки геометричних параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

До теперішнього часу метрологічне забезпечення вимірювань параметрів зубчастих коліс спиралося на гаму засобів зубовимірювальної техніки - прилади для вимірювання кінематичної похибки зубчастих коліс. Всі вони мають обмежений діапазон вимірювань параметрів, різну точність і номенклатуру вимірюваних параметрів. Багато з них морально застаріли, не автоматизовані, не мають виходу на комп'ютерні засоби і не забезпечують сучасного рівня точності. В силу цього, все більше застосування в практиці метрологічного забезпечення зубчастих коліс знаходять вимірювання геометричних параметрів їх евольвентних поверхонь.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи було дослідити та удосконалити точність вимірювання геометричних параметрів зубчастих коліс за рахунок систем критеріїв оцінки надійності методу вимірювання.

Викладення основного матеріалу дослідження

При оцінці методу вимірювання в першу чергу розглядають характеристику точності методу, яким будуть вимірювати. В ряді випадків розгляд такої характеристики є достатньою для достовірності

показань. Поряд з характеристикою точності методу вимірювання необхідно ввести в практику показник надійності методу вимірювання. Виходячи із загальних ймовірнісних положень можна було б прийняти в якості міри надійності ймовірність P , яка при симетричному законі розподілу випадкових похибок вимірювання визначається рівнянням

$$P = \int_{x-z\sigma}^{x+z\sigma} \varphi(x) dx, \quad (1)$$

де $z\sigma$ – гранична похибка прямих вимірювань;
 σ – середнє квадратичне відхилення вимірювань;
 x – середнє арифметичне значення вимірювань; $\varphi(x)$ – закон розподілу випадкових похибок вимірювань.

Так, якщо $\varphi(x)$ являється законом Гаусса, тоді при $z = 1,96$ $P = 0,95$, при $z = 3$ $P = 0,9973$ і т.д.

Можна запропонувати ще ряд критеріїв для оцінки надійності методу вимірювань.

Вибір критерію (або системи критеріїв) для оцінки надійності методу вимірювання або окремо взятого ряду вимірювання одної серії зубчастих коліс можна виконати виходячи з вимог, які вимагають в процесі вимірювання. Можна, наприклад, вважати так: метод вимірювання буде рахуватися ідеально надійним в тому випадку, якщо він не буде відхилятися від результатів технологічного процесу, тобто якщо ймовірність помилкової не придатності зубчастих коліс і ймовірність помилкового прийняття придатних зубчастих коліс буде дорівнювати нулю. В цьому випадку надійність методу вимірювання буде оцінюватися системою з двох критеріїв.

Якщо позначити ймовірність прийняття придатних шестерень P_r , тоді ймовірність помилкового прийняття не придатних шестерень буде дорівнювати

$$1 - P_r = q_1, \quad (2)$$

де q_1 – є першим критерієм.

Якщо даліше позначити ймовірність не прийняття не придатних шестерень P_b , тоді ймовірність прийняття не придатних шестерень буде дорівнювати

$$1 - P_b = q_2, \quad (3)$$

де, q_2 – є другим критерієм.

Ідеально надійним буде такий процес або метод вимірювання, для якого $q_1 = q_2 = 0$.

Можливі такі граничні випадки, коли один із критеріїв q_1 або q_2 буде дорівнювати нулю, а інший не буде дорівнювати нулю, тоді практично постійно буде мати місце нерівність

$$0 \leq q_1 \leq 1, \quad 0 \leq q_2 \leq 1. \quad (4)$$

Тобто буде мати місце деякий ризик не прийняття придатних зубчастих коліс і помилкового прийняття не придатних зубчастих коліс. Вибір того чи іншого рівня ризику залежить від конкретних умов.

Можна вважати за константу те, що в якості критерія відносної точності вимірювання приймається коефіцієнт точності методу

$$A_{мет} = \frac{\Delta_{мет}}{\delta_{мет}}, \quad (5)$$

де $\Delta_{мет}$ – похибка методу вимірювання;

$\delta_{мет}$ – поле допуску параметру, який контролюється.

Наведене визначення величини $\Delta_{мет}$ цілком є прийнятною для симетричних кривих розподілу випадкових похибок вимірювання. Тому в загальному випадку доцільно розуміти $\Delta_{мет}$ як модуль найбільшої граничної похибки вимірювання.

При оцінці окремо взятого процесу вимірювання при неминучому налаштуванні приладу:

$$\Delta_{мет} = |\Delta_n + z_1 S_{3м}|, \quad (6)$$

де Δ_n – фіксована похибка налаштування вимірювального приладу;

S_{3M} – середнє квадратичне відхилення прямих вимірювань;

z_1 – коефіцієнт, величина який визначається законом розподілу випадкових похибок вимірювання.

При оцінці методу вимірювання похибка налаштування приладу Δ_n стає величиною випадковою з середнім значенням і полем розсіювання δ_n . В такому випадку

$$\Delta_{мет} = \left| \Delta_n + z_1 \sqrt{S_n^2 + S_{3M}^2} \right|. \quad (7)$$

Розглянемо схему для розрахунку ймовірності q_1 та q_2 , які характеризують надійність процесу вимірювання, коли, крім технологічних похибок $\Delta_{тех}$, діють похибки вимірювання $\Delta_{вим}$ і похибки налаштування вимірювального приладу $\Delta_{нал}$.

Нехай технологічні похибки параметру x розподіляються по закону $\varphi(x)$ з наступними параметрами: центром $x_{тех}$ і стандартом $\sigma_{тех}$. Похибки налаштування розподіляються по закону $\nu(\Delta_{нал})$ з параметрами $x_{нал}$ і $\sigma_{нал}$, а випадкові похибки вимірювання – по закону $\tau(\Delta_{вим})$ з параметрами $x_{вим}$ і $\sigma_{вим}$. Не дивлячись на загальний характер цієї схеми, обмежимося розглядом випадку, коли всі три закону розподілу нормальні:

$$\begin{aligned} \varphi(x) &= \frac{1}{\sigma_{тех} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_{тех})^2}{2\sigma_{тех}^2}}, \\ \nu(\Delta_{нал}) &= \frac{1}{\sigma_{нал} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_{нал})^2}{2\sigma_{нал}^2}}, \\ \tau(\Delta_{вим}) &= \frac{1}{\sigma_{вим} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_{вим})^2}{2\sigma_{вим}^2}}. \end{aligned} \quad (8)$$

В результаті дії похибки налаштування вимірювального приладу і випадкових похибок вимірювань дійсний розподіл розмірів $\varphi(x)$ перетвориться в функцію $f(x)$.

Це перетворення розподілу можна умовно розділити на два етапи.

При налаштуванні приладу заноситься похибка налаштування $\Delta_{нал}$. Перед налаштуванням вимірювального приладу по еталону очікувана похибка налаштування буде величиною випадковою. Коли прилад налаштований, то закладена в налаштуванні похибка стає систематичною для всіх вимірювань. Це призводить до збільшення або зменшення фактичних розмірів в процесі вимірювання на одну і ту ж величину, яка дорівнює похибці налаштування, тільки зі зворотнім знаком. Отже, ми має закон який має наступний вигляд

$$\varphi_1(x) = \frac{1}{\sigma_{тех} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[x-(x_{тех}-\Delta_{нал})]^2}{2\sigma_{тех}^2}}. \quad (9)$$

При виконанні вимірювань виникають випадкові похибки вимірювань дійсних розмірів шестерні, внаслідок чого її розміри будуть відповідати заданим. Отже, якщо сукупність дійсних розмірів утворить деякий розподіл, який описується законом $\varphi(x)$, тоді розподіл розмірів, які ми отримали в результаті вимірювання, будуть іншими. Допустимо, що цей розподіл наближено описується законом $f(x)$.

Для даного випадку значення вимірювального параметру $x_{см}$, яке ми спостерігаємо на приладі являється алгебраїчною сумою дійсного параметру x_∂ і похибки вимірювання $\Delta_{вим}$:

$$x_{см} = x_\partial \pm \Delta_{вим}. \quad (10)$$

Відповідно до теореми про числові характеристики функції $\sigma_{сп}^2$ дисперсія значення, яке ми спостерігаємо дорівнює сумі дисперсій доданків, тобто $\sigma_{тех}^2$ – дисперсія технологічного розсіювання і $\sigma_{вим}^2$ – дисперсія похибок вимірювання:

$$\sigma_{сп}^2 = \sigma_{тех}^2 + \sigma_{вим}^2. \quad (11)$$

Математичне очікування значення, яке ми спостерігаємо $m_{хсп}$ дорівнює сумі математичного очікування доданків $m_{хтех}$ і $m_{хвим}$:

$$m_{хсп} = m_{хтех} + m_{хвим}. \quad (12)$$

Відомо, що якщо закони розподілу доданків нормальні, тоді закон розподілу їх суми буде також нормальним. Таким чином, закон розподілу $f(x)$ також буде нормальним:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_{сп} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_{сп})^2}{2\sigma_{сп}^2}}. \quad (13)$$

Тоді ймовірність помилкового не прийняття приданих шестерень q_1 буде дорівнювати:

$$q_1 = \frac{1}{\sigma_{сп} \sqrt{2\pi}} \int_{x + \frac{\delta_{вир}}{2}}^{x + \Delta_{нал} + \Delta_{сп}} f(x) dx, \quad (14)$$

де $\Delta_{нал}$ – фіксована похибка налаштування;

$\Delta_{сп}$ – похибка виготовлення із врахуванням похибки вимірювання.

Якщо взяти граничний випадок, тоді

$$\Delta_{нал} = 3\sigma_{нал} + \Delta_{нал}, \quad \Delta_{нал} = 3\sigma_{нал}. \quad (15)$$

Для даних випадків

$$q_1 = \frac{1}{\sigma_{сп} \sqrt{2\pi}} \int_{x + \frac{\delta_{вир}}{2}}^{x + \Delta_{нал} + 3\sigma_{нал} + 3\sigma_{сп}} e^{-\frac{(x-x_{сп})^2}{2\sigma_{сп}^2}} dx, \quad (16)$$

Після елементарних перетворень вираз можна записати так:

$$q_1 = \Phi(3) - \Phi\left(\frac{\frac{\delta_{вир}}{2} - 3\sigma_{нал} - \Delta_{нал}}{\sigma_{см}}\right). \quad (17)$$

Інший критерій - q_2 буде дорівнювати нулю, так як у виробництві немає не придатних шестерень ($\delta_{тех} = \delta_{вир}$).

Висновки

Можна зробити висновок, що до основних метрологічних характеристик методів вимірювання необхідно на рівні з точністю віднести надійність вимірювання. Зниження точності методу вимірювання породжує ризик не приймання якісних деталей або помилкового приймання не якісних виробів. Запропоновані методи і засоби контролю можуть бути використані лише не вище 6-ї ступені точності. А також, похибка налаштування вимірювальних засобів має суттєвий вплив на надійність методу вимірювання.

Список використаної літератури

1. Тайц Б.А. Точность и контроль зубчатых колес. —М.: Машиностроение, 1972. 369 с.
2. Новиков М.Л. Зубчатые передачи с новым зацеплением. — М.: Изд. ВВИА им. Жуковского, 1958. — 186 с.
3. Бабичев Д.Т. О базовых геометрических примитивах теории зубчатых зацеплений //Теория и практика зубчатых передач. Труды межд. конф., Ижевск, 1996. — С. 469-474.
4. Локтев Д. А. Современные методы контроля качества цилиндрических зубчатых колес / Д. А. Локтев // Металлообработка. Оборудование и инструмент для профессионалов. —2009. — №4. — С. 6–11.
5. Калашников С.Н. Производство зубчатых колес : Справочник . — М.: Машиностроения, 1990.- 464с.
6. Фингер М.Л. Цилиндрические зубчатые колеса. Теория и практика изготовления.-М.: Научная книга, 2005.-368с.
7. Калашников А.С. Технология изготовления зубчатых колес.-М.: Машиностроение, 2004.-480с.