

УДК 531

В. П. Квасніков, д.т.н., О. В. Діхтієвський

Національний авіаційний університет, м. Київ

РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШЕШТЕРНІ З УРАХУВАННЯМ ПОХИБКИ

Для контролю всієї сукупності параметрів зубчастих коліс потрібне використання відразу цілої гами засобів вимірювальної техніки та комплексів. Багато з них морально застаріли, не автоматизовані, не мають виходу на комп'ютерні засоби і не забезпечують сучасного рівня точності, інформативності та швидкодії. Тому в статті запропонована структурна схема інформаційно-вимірювального та діагностичного каналу, за допомогою якого технічний стан зубчастого колеса оцінюється середньоінтегральною величиною зносу ріжучого інструменту. Проведено аналіз похибок для реальних умов експлуатації на етапі попередніх досліджень, коли не відомий перелік складових основної похибки і не проведена їх кількісна оцінка.

Ключові слова: шестерня, похибка, вимірювальний комплекс, швидкодія, діагностичний канал.

В. П. Квасников, д.т.н., А. В. Дихтиевский

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШЕШТЕРНИ С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТИ

Для контроля всей совокупности параметров зубчатых колес требуется использование сразу целой гаммы средств измерительной техники и комплексов. Многие из них морально устарели, не автоматизированы, не имеют выхода на компьютерные средства и не обеспечивают современного уровня точности, информативности и быстродействия. Поэтому в статье предложена структурная схема информационно-измерительного и диагностического канала, с помощью которого техническое состояние зубчатого колеса оценивается среднеинтегральной величиной износа режущего инструмента. Проведен анализ погрешностей для реальных условий эксплуатации на этапе предварительных исследований, когда не известен перечень составляющих основной погрешности и не проведена их количественная оценка.

Ключевые слова: шестерня, погрешность, измерительный комплекс, быстродействие, диагностический канал.

V. P. Kvasnicov, DSc, A. V. Dihtievskiy

DEVELOPMENT OF A STRUCTURAL SCHEME OF INFORMATION AND MEASUREMENT COMPLEX FOR CONTROL OF GEOMETRIC PARAMETERS OF A GEAR WITH ACCOUNT OF ERROR

To control the entire set of gear gear parameters, it is necessary to use a number of measuring devices and complexes simultaneously. Many of them are outdated, non-automated, have no access to computer tools and do not provide the current level of accuracy, informativeness and speed. Therefore, the article proposes a block diagram of the information-measuring and diagnostic channel, by means of which the technical condition of the toothed wheel is evaluated at the average integral speed of wear of the cutting tool. Error analysis for real operating conditions at the stage of previous studies, when the list of components of the main error is not known and their quantitative assessment is not carried out. Objects of research in this work are gear transmission with an engraving profile.

To date, the metrological control of gear wheel parameters is based on a large number of measuring equipment. All of them have a limited range of measuring parameters, different accuracy and range of measured values.

The reference base in the field of control of the gear draw gear is considered, which requires its creation on the basis of a detailed analysis of the new principles of measurement, the need to justify their accuracy.

cy, expansion of the range and range of measured parameters. Manufacturing of new modifications of domestic measuring devices on the basis of new management principles and equipment of leading foreign manufacturers in the field of control of evolvent. The complex of works on creation of a system for ensuring the unity of the geometry of the geometric parameters of gear gears is considered. This requires revision, systematization and development of methods and means of metrological support. The mathematical description of the involute curve of the toothed wheel by the method of triangulation of multi-directional regions and description of the geometric model of the evolvent is proposed. The results were analyzed and recommendations on the application of the description method to the cylindrical wheel with an engraving profile were given.

Keywords: reducer, error, measuring complex, speed, diagnostic channel.

DOI 10.32684/2412-5288-2019-1-14-40-46

Вступ

Якість машин у великій мірі залежить від роботи зубчастих механізмів, які є найбільш поширені серед механічних передач завдяки своїм техніко-економічними показниками. Якість зубчастого колеса багато в чому визначається точністю цілого ряду параметрів, що залежать від технічного стану зубообробного обладнання, рівня технології, якості ріжучого інструменту і якості контрольно-вимірювальних операцій зубообробного виробництва.

Зубчасті колеса є найбільш масовими деталями, що застосовуються в машинобудуванні та приладобудуванні. Сьогодні в розпорядженні промисловості величезна кількість складних дорогих зубовимірювальних приладів, якими оснащені практично всі підприємства, що виробляють і контролюють зубчасті колеса. На сьогодні в Україні на промислових підприємствах експлуатується більше десятка тисяч засобів вимірювальної техніки всієї номенклатури геометричних параметрів.

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.

Аналіз останніх досліджень

Для існуючих традиційних пристроїв [1] для вимірювань параметрів шестерні використовують як еталон реальний матеріальний об'єкт – виготовлену поверхню евольвенти [2], що має, хоча і невеликі, але реальні похибки – відхилення від теоретичної евольвенти. Як еталон використовується ідеальне уявлення у вигляді математичної моделі, [3] з яким і порівнюється вимірюваний профіль шестерні.

Наявність сучасного комп'ютерного забезпечення [4] дозволяє здійснити автоматичну обробку результатів вимірювань, підвищити інформативність результатів за рахунок можливості графічного виведення інформації, значно підви-

щити точність результатів вимірювань за рахунок математичної компенсації похибок систематичних складових, а також зменшити випадкові похибки за рахунок статистичної обробки [5].

Все це створює передумови для розробки і впровадження на базі координатно-вимірювальних машин [6] сучасних прецизійних координатних методів і засобів вимірювань геометричних параметрів шестерні, а також їх метрологічного забезпечення.

В даний час ведеться виробництво нових модифікацій вітчизняних засобів вимірювань [7], систематично ввозяться з-за кордону, засновані на нових принципах, контрольно-вимірювальні прилади провідних зарубіжних виробників в області вимірювання евольвенти, таких, як фірми Hofler, Klingelberg, Carl Zeiss, Mahr, Hommelwerke.

Постановка завдання

Мета дослідження – розробити структурну схему інформаційно-вимірювального та діагностичного каналу за допомогою оцінки технічного стану зубчастого колеса за середньоінтегральною величиною зносу ріжучого інструменту. Виконати розрахунок похибок для реальних умов експлуатації на етапі попередніх досліджень.

Виклад основного матеріалу

Експериментальні дослідження показали, що найбільшою чутливістю і інформативністю володіє діагностичний канал, за допомогою якого технічний стан зубчастого колеса оцінюється за середньоінтегральною величиною зносу ріжучого інструменту.

Численні експерименти і літературні дані [8, 9] свідчать про те, що слабкими ланками зубчастих коліс, зазвичай, є його виготовлення. Іноді дослідженнями умов вимірювання вдається виявити єдине неякісно виготовлене зубчасте колесо, що істотно спрощує рішення задачі діагностики.

Наприклад, існуючі конструктивні схеми, технологія виготовлення, а також умови експлуатації зубонарізного обладнання призводять до

неякісного виготовлення багатьох типів зубчастих коліс, переважно через зношування ріжучого інструменту. Технічний стан таких зубчастих коліс виявляється можливим діагностувати за цим ріжучим інструментом – Рис. 1.

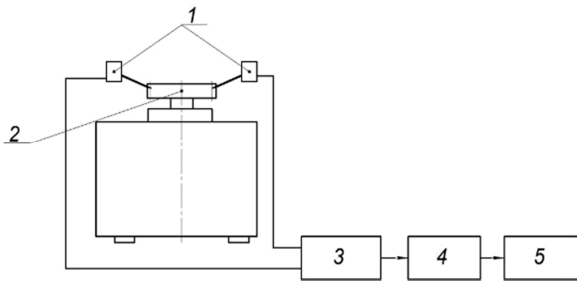


Рисунок 1 – Структурна схема діагностики технічного стану зубчастого колеса при його виготовленні:

1 – датчики; 2 – шестерня 3 – діагностичний прилад; 4 – фазометр; 5 – прилад для фіксування параметрів технічного стану.

Якщо заздалегідь не вдасться встановити ріжучий інструмент, який обмежує ресурс виготовлення на обладнанні (тобто вихід з ладу тієї чи іншої модульної фрези верстата визначається в основному рядом випадкових факторів, властивих технології його виготовлення або умов експлуатації), то технічний стан вимірювального засобу необхідно визначати як сукупність технічних станів всіх зубчастих коліс [10].

Діагностичні засоби контролю технічного стану зубчастих коліс при цьому включають в себе стільки каналів діагностики, скільки зубчастих коліс підлягає контролю. Вбудовані в стенд засоби діагностування технічного стану повинні забезпечувати отримання достовірної інформації, що відбиває індивідуальний характер зміни параметрів окремих зубчастих коліс.

Діагностичні датчики можуть бути індукційними, для установки яких вносяться незначні зміни в конструкцію стенда. Зміни, що вносяться до конструкції стенда через установки датчиків, можуть бути зведені до мінімуму, якщо статор датчика виконати у вигляді сектора з зубами і обмотками, а в якості ротора використовувати зубчасте колесо [11].

Для живлення індукційних датчиків стабілізованих за частотою змінною напругою U_H , а також для перетворення вихідних сигналів датчиків U_1 , U_2 і узгодження їх з вхідними ланцюгами стандартних приладів (фазометрів) використовується спеціальний прилад, названий блоком обробки сигналів.

Діагностичний прилад [12], функціональна схема якого показана на Рис. 2, являє собою

компактний електронний пристрій, зібраний на мікросхемах і кварцових резонансних фільтрах.

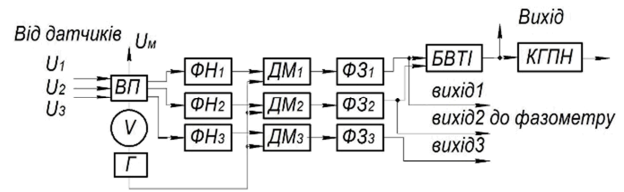


Рисунок 2 – Функціональна схема діагностичного приладу:

ВП – вхідний прилад; БВТІ – блок виділення тимчасового інтервалу; КГПН – керований генератор пилоподібної напруги; Г – стабілізуючий генератор частоти; – – фільтр несучої частоти; – – демодулятори; – – згладжуючі фільтри

Блок обробки сигналів містить стабілізоване джерело живлення (БЖ), стабілізований генератор несучої частоти (Г) і три вимірювальні канали посилення і перетворення сигналів датчиків. Кожен з каналів складається з підсилювача, фільтра несучої частоти (ФН), демодулятора (ДМ) і фільтра, що згладжує (ФЗ).

На виході кожного вимірювального каналу виділяється синусоїдальна напруга частоти, яка визначається електричною редуцією відповідного датчика, фаза якого містить інформацію про кутове положення контрольованого зубчастого колеса. Для вимірювання різниці фаз сигналів індукційних датчиків використовується стандартний фазометр типу Ф2-13 або Ф2-16.

На етапі попередніх досліджень, коли не відомий перелік складових основної похибки і не проведена їх кількісна оцінка, проведемо аналіз для реальних умов експлуатації.

Похибка вимірювання (Δ_{M1}) представляє собою символічний запис об'єднання 5 складових похибок засобу вимірювання в реальних умовах використання

$$\Delta_{M1} = \Delta_{OS} \cdot \Delta_O \cdot \Delta_{OH} \cdot \sum_{i=1}^l \Delta_{ci} \cdot \Delta_{dyn},$$

де Δ_{M1} – похибка засобу вимірювання в реальних умовах;

Δ_{OS} – систематична складова основної похибки;

Δ_O – випадкова складова основної похибки;

Δ_{OH} – випадкова складова основної похибки, обумовлена гістерезисом;

$\sum_{i=1}^l \Delta_{ci}$ – об'єднання додаткових похибок

обумовлені діями впливаючих величин;

Δ_{dyn} – динамічна похибка, обумовлена впливом швидкості вимірювання вхідного сигналу;

l – число динамічних похибок.

Розраховуючи характеристики похибок в реальних умовах Δ_{ci} і Δ_{dyn} , можна розглядати як випадкові величини [13]. Будемо вважати, що вимірювання ми проводимо в нормальних умовах і на даному етапі роль впливаючих факторів не буде чинити значний вплив на основну похибку.

Надалі, розглядаючи робочі умови вимірювання, для конкретного технологічного процесу необхідно проводити додаткові дослідження і скласти таблиці поправок на кожну величину похибки.

Апріорі вважаємо, що $\sum_{i=1}^l \Delta_{ci} \approx 0$.

Динамічна похибка $\Delta_{dyn} = 0$ в зв'язку з постійним характером технологічного процесу ($U_{TP} = \text{const}$).

Таким чином, попередньо будемо досліджувати модель:

$$\Delta_{M1} = \Delta_{OS} \cdot \Delta_O \cdot \Delta_{OH}.$$

Характеристики складових – це метрологічні характеристики засобів вимірювання, які використовуються в цілях визначення інструментальної похибки [14] $\Delta_{inst} = \Delta_{M1} \cdot \Delta_{int}$, де Δ_{int} – похибка, обумовлена взаємодією засобів вимірювання з вимірювальною шестернею.

Обробка результатів спостережень полягає в отриманні шляхом розрахунку оцінок метрологічних характеристик вимірювального засобу. Формуємо масив результатів спостережень при підході до точки, яка контролюється зі сторони менших та більших значень [15].

Обране число точок повинно гарантувати результат вимірювання із заданою ймовірністю. Якщо систематична складова основної похибки незначна або відсутня, в якості дослідження рекомендується обирати точки, рівномірно розташовані по діапазону вимірювання. Їх повинно бути не менше 6-ти, включаючи точки, які відповідають 0 та 100 %. Якщо дослідження нульової точки неможливе, тоді число точок може бути 5.

Перед початком обробки результатів спостережень виключаються грубі промахи, пов'язані з некоректними діями оператора та збоями в роботі засобів вимірювання. Виключені результати замінюються на середнє арифметичне значення.

Число спостережень (n) в кожній досліджуваній точці визначається за формулою:

$$n \geq \frac{2}{1 - P_g},$$

де P_g – задана ймовірність.

При проведенні попередніх експериментальних досліджень будемо вважати, що $P_g = 0,95$ В у такому випадку число спостережень $n \geq 40$.

Оцінка суттєвості випадкової складової похибки проводиться за значенням середньоквадратичного відхилення [16]

$$\sigma(\Delta) = \frac{r}{d_n},$$

де $r = y_{jmax} - y_{jmin}$ – величина розмаху у виборці;

y_{jmax} , y_{jmin} – максимальне та мінімальне значення вимірювального параметру в j -й точці;

d_n – коефіцієнт, що залежить від числа спостережень.

Оцінку середньоквадратичного відхилення виконують за найбільшим значенням $\sigma(\Delta)$ та роблять висновок про суттєвість випадкової складової похибки [17].

Випадкову складову (Δ) вважають несуттєвою, якщо $\sigma(\Delta) \leq 0,2|\Delta_g|$, де Δ_g – допустиме значення похибки інформативного параметру вимірювального приладу.

В кожній j -й точці діапазону вимірювання визначається середнє арифметичне значення параметру на виході вимірювального приладу – y_i

$$y_i = \frac{\sum_{j=1}^n y'_j + \sum_{j=1}^{n''} y''_j}{n' + n''},$$

де y'_j, y''_j – значення параметрів на виході вимірювального приладу j -й точці спостереження при підході до кожної з 5-ти точок зі сторони менших та більших спостережень;

n', n'' – число спостережень в кожній j -й точці діапазону при прямому ($n' = 20$) та зворотному ($n'' = 20$) ході.

$$n = n' + n'' = 40.$$

За результатами спостережень y_i за допомогою номінальної функції перетворення $f(x)$ визначається значення результатів наступних спостережень x'_j, x''_j .

В кожній контрольній точці j визначається середнє арифметичне значення наведених результатів спостережень по формулам:

$$x'_j = \frac{\sum_{i=1}^{n'} x'_j}{n'}$$

$$x''_j = \frac{\sum_{i=1}^{n''} x''_j}{n''}$$

Оцінка систематичної складової похибки і варіації H в кожній контрольній точці визначається за формулами:

$$\Delta_{S_j} = \frac{|x_j - \bar{x}'_j| + |x_j - \bar{x}''_j|}{2}$$

$$H_j = |\bar{x}'_j - \bar{x}''_j|$$

де x_j – значення параметру, яке задається на вході.

В кожній контрольній точці діапазону визначається оцінка середньоквадратичного вимірювання випадкової складової похибки. При відсутності варіації:

$$\sigma_j(\Delta) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n'} (\Delta'_{ij} - \Delta_j)^2 + \sum_{i=1}^{n''} (\Delta''_{ij} - \Delta_j)^2}}{n-1}$$

При наявності варіації:

$$\sigma_j(\Delta) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n'} (\Delta'_{ij} - \Delta_j)^2 + \sum_{i=1}^{n''} (\Delta''_{ij} - \Delta_j)^2}}{n-1}$$

Визначимо симетричні та асиметричні оцінки середньоквадратичного відхилення для $P_g = 0,95$.

Симетричні оцінки у вигляді:

$$\sigma_j(\Delta)(1-q) \leq \sigma \leq \sigma_j(\Delta)(1+q),$$

де q – коефіцієнт, який визначається в залежності від P_g і значення n .

Асиметрична оцінка у вигляді:

$$\sigma_j(\Delta)z_1 < \sigma < \sigma_j(\Delta)z_2,$$

де z_1 та z_2 – коефіцієнти, який обираємо зі значень, які наведені в довідниках

У випадку, коли варіація H визначається за формулою $H_j = |\bar{x}'_j - \bar{x}''_j|$ межі НСП визначаються

$$\theta_i = R \sqrt{\Delta_{S_j}^2 + \left(\frac{H_j}{2}\right)^2},$$

де R – коефіцієнт, який визначається за графіком залежності $R = f(n, L)$.

В кожній j -й точці діапазону оцінюються межі похибки Δ_j вимірювального каналу. Якщо

$\frac{\theta_i}{\sigma_j(\Delta)} < 0,8$, тоді $\Delta_j = t_s \sigma_j(\Delta)$, де t_s – коефіцієнт

Стьюдента [18].

Якщо $\frac{\theta_i}{\sigma_j(\Delta)} > 8,0$, тоді межа похибки в контрольній точці вимірювального каналу – $\Delta_j = \theta_i$.

Якщо нерівність $0,8 > \frac{\theta_i}{\sigma_j(\Delta)} > 8,0$ не виконується, тоді границя Δ_j визначаються за формулою

$$\Delta_j = k \sigma_{\Sigma_j}(\Delta),$$

де σ_{Σ_j} – оцінка СКО дорівнює [19]

$$\sigma_{\Sigma_j}(\Delta) = \sqrt{\frac{\theta_j^2}{3} + \sigma_j^2(\Delta)},$$

де k – коефіцієнт, який залежить від відношення випадкової і НСП та визначається за формулою

$$k = \frac{t_s \sigma_j(\Delta) + \theta_i}{\sigma_j(\Delta) + \sqrt{\theta_j^2/3}}$$

Похибка вимірювального каналу встановлюється як максимальне значення $\Delta_{j_{max}}$, що спостерігається в контрольних точках діапазону. При цьому P_g цієї похибки буде не нижче довірчої величини, що відповідає максимальному значенню Δ .

Межі випадкової складової похибки встановлюються при нормальному розподілу результатів спостереження. При існуванні систематичної складової похибки та варіації верхня і нижня межі (Δ_B та Δ_H) симетричного інтервалу визначаються за формулою

$$\Delta_{B,H} = \pm [\Delta_{O_s} + t_s \sigma(\Delta)]$$

де Δ_{O_s} – максимальне значення модуля систематичної складової похибки вимірювального каналу по контрольним точкам діапазону вимірювання;

$\sigma(\Delta)$ – результат СКО Δ та Δ_{O_H} .

Наведена основна похибка вимірювального каналу визначається за формулою:

$$\gamma = \frac{\bar{\Delta}}{x_n},$$

де x_n – нормоване значення, яке виражається в тих же одиницях, що й $\bar{\Delta}$ та визначається в залежності від виду і характеру шкали;

$\bar{\Delta}$ – оцінка абсолютної основної похибки.

Висновки

В даній роботі було розроблено структурну схему інформаційно-вимірювального та діагностичного каналу та встановлено, що точність вимірювання середньоінтегрального зносу ріжучого інструменту за допомогою даного діагностичного обладнання залежить, головним чином, від технічних характеристик датчиків і основної похибки вимірювача різниці фаз. При використанні даної схеми можливо здійснювати контроль зубчастих коліс з похибкою результатів відносних вимірювання, що не перевищує 2-3 мкм.

З наведених результатів маємо, що значення випадкової складової похибки $\sigma(\Delta)$ від гістерезиса Δ_{OH} нижче рівня значущості і є несуттєвим, а також маємо $\gamma_{max} = \pm 0,09\%$, що нижче заданого $\gamma_{max} = \pm 0,15\%$.

Список використаних джерел

1. Локтев Д. А. Современные методы контроля качества цилиндрических зубчатых колес / Д. А. Локтев // Металлообработка. Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2009. – № 4. – С. 6–11.
2. Тайц Б. А. Точность и контроль зубчатых колес / Б. А. Тайц. – М.: Машиностроение, 1972. – 369 с.
3. Сурков И. В. Метрологическое обеспечение процесса контроля зубчатых колес / И. В. Сурков, Н. В. Сырейщикова // Тезисы докладов международной научно-практической конференции – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – Т. 1. – С. 225–227.
4. Марков Н. Н. Измерительные зубчатые колеса для комплексного контроля / Н. Н. Марков // Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении. Межвузовский сборник – М.: Машгиз, 1960. – № 2. – С. 286–312.
5. Goch, G., Gear metrology. CIRP Annals – Manufacturing Technology, 2003, 52(2): P. 659–695.
6. Калашников С. Н. Производство зубчатых колес: Справочник / С. Н. Калашников, А. С. Калашников. – М.: Машиностроение, 1990. – 464 с.
7. Пекарш А. И. Координатно-измерительные машины и комплексы / А. И. Пекарш, С. И. Феоктистов, Д. Г. Колыхалов // Наука и технологии в промышленности. – 2011. – № 3. – С. 36–48.
8. Ковальчук С. Н. Контроль зубчатых колес на координатно-измерительной машине GLOBAL // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 5(105). – С. 124–126.
9. Taylor B. N., Kuyatt Ch. E. Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results. Washington, 1994. – 25 p.
10. Агапов С. И. Прибор для оценки кинематической погрешности зуборезного оборудования в производственных условиях / С. И. Агапов // СТИН. – 2006. – № 2. – С. 26–29.
11. Резников С. С. Основы построения эволюционной модели процесса изнашивания зубчатого зацепления. // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского – 2011. – № 4(2). – С. 296–298.
12. Локтев Д. А. Современные методы контроля качества цилиндрических зубчатых колес / Д. А. Локтев // Оборудование и инструмент. – 2009. – № 4. – С. 6–11.
13. Косенок Б. Б. Разработка методики моделирования зубчатых передач на основе метода математического моделирования векторных замкнутых контуров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук – 2009. – Т. 11. № 3. – С. 202–204.
14. Сурков И. В. Автоматизация контроля параметров зубчатых колес и передач / И. В. Сурков // Станкоинструмент. – 2016. – № 1. – С. 80–87.
15. Фингер М. Л. Цилиндрические зубчатые колеса. Теория и практика изготовления. – М.: Научная книга, 2015. – 368 с.
16. Муслина Г. Р. Измерение и контроль геометрических параметров деталей машин и приборов : учебное пособие / Г. Р. Муслина, Ю. М. Правиков; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Л. В. Худобина. – Ульяновск : УлГТУ, 2011. – 220 с.
17. Волков А. Э. Расчет наладок для обработки круговых зубьев конических передач при наличии технологических ограничений с использованием модифицированного движения обката / А. Э. Волков, В. И. Медведев, И. В. Жучков // Вестник МГТУ «Станкин». – 2010. – № 2. – С. 20–28.
18. Бабичев Д. Т. Геометрический синтез и компьютерное исследование равнопрочных ци-

линдрических прямозубых передач / Бабичев Д. Т., Сторчак М. Г., Бабичев Д. А. // Теория и практика зубчатых передач // Сб. трудов Международ. симпоз., Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2013. – С. 309–315.

19. Derbaba V. A. Evaluation of the adequacy of the statistical simulation modeling method while investigating the components presorting processes / V. A. Derbaba, V. V. Zil, S. T. Patsera // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2014. – № 5. – С. 45–50.

References

1. Loktev D. A. Sovremennye metody kontrolya kachestva cilindricheskix zubchatyx koles / D. A. Loktev // Metalloobrabotka. Oborudovanie i instrument dlya professionalov. – 2009. – № 4. – С. 6–11.

2. Tajc B. A. Tochnost' i kontrol' zubchatyx koles / B. A. Tajc. – М.: Mashinostroenie, 1972. – 369 s.

3 Surkov I. V. Metrologicheskoe obespechenie processa kontrolya zubchatyx koles / I. V. Surkov, N. V. Syrejshhikova // Tezisy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii – Cheljabinsk: Izdatel'skij centr YuUrGU, 2012. – Т. 1. – С. 225–227.

4. Markov H. H. Izmeritel'nye zubchatye kolea dlya kompleksnogo kontrolya / H. H. Markov // Vzaimozamenyaemost' i texnicheskie izmereniya v mashinostroenii. Mezhdvuzovskij sbornik – М.: Mashgiz, 1960. – № 2. – С. 286–312.

5. Goch, G., Gear metrology. CIRP Annals – Manufacturing Technology, 2003, 52(2): P. 659–695.

6. Kalashnikov S. N. Proizvodstvo zubchatyx koles: Spravochnik / S. N. Kalashnikov, A. S. Kalashnikov. – М.: Mashinostroenie, 1990. – 464 s.

7. Pekarsh A. I. Koordinatno-izmeritel'nye mashiny i komplekсы / A. I. Pekarsh, S. I. Feoktistov, D. G. Kolyxa-lov // Nauka i tehnologii v promyshlennosti. – 2011. – № 3. – С. 36–48.

8. Koval'chuk S. N. Kontrol' zubchatyx koles na koordinatno-izmeritel'noj mashine GLOBAL // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. – 2014. – № 5(105). – С. 124–126.

9. Taylor B. N., Kuyatt Ch. E. Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results. Washington, 1994. – 25 p.

10. Agapov, S. I. Pribor dlya ocenki kinemat-

icheskoy pogreshnosti zuboreznogo oborudovaniya v proizvodstvennyx usloviyax / S. I. Agapov // STIN. – 2006. – № 2. – С. 26–29.

11. Reznikov S. S. Osnovy postroeniya e'volucionnoy modeli processa iznashivaniya zubchatogo zacepleniya. // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo – 2011. – № 4(2). – С. 296–298.

12. Loktev D. A. Sovremennye metody kontrolya kachestva cilindricheskix zubchatyx koles / D. A. Loktev // Oborudovanie i instrument. – 2009. – № 4. – С. 6–11.

13. Kosenok B. B. Razrabotka metodiki modelirovaniya zubchatyx peredach na osnove metoda matematicheskogo modelirovaniya vektornyx zamknutyx konturov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoy akademii nauk – 2009. – Т. 11. № 3. – С. 202–204.

14. Surkov I. V. Avtomatizaciya kontrolya parametrov zubchatyx koles i peredach / I. V. Surkov // Stankoinstrument. – 2016. – № 1. – С. 80–87.

15. Finger M. L. Cilindricheskie zubchatye kolea. Teoriya i praktika izgotovleniya. – М.: Nauchnaya kniga, 2015. – 368 s.

16. Muslina G. R. Izmerenie i kontrol' geometricheskix parametrov detalej mashin i priborov: uchebnoe posobie / G. R. Muslina, Yu. M. Pravikov; pod obshh. red. d-ra texn. nauk, prof. L. V. Xudobina. – Ul'yanovsk : UIGTU, 2011. – 220 s.

17. Volkov A. E'. Raschet naladok dlya obrabotki krugovyx zub'ev konicheskix peredach pri nalichii texnologicheskix ogranichenij s ispol'zovaniem modificirovannogo dvizheniya obkata / A. E'. Volkov, V. I. Medvedev, I. V. Zhuchkov // Vestnik MGTU «Stankin». – 2010. – № 2. – С. 20–28.

18. Babichev D. T. Geometricheskij sintez i komp'yuternoe issledovanie ravnoprochnyx cilindricheskix pryamozubyx peredach / Babichev D. T., Storchak M. G., Babichev D. A. // Teoriya i praktika zubchatyx peredach // Sb. trudov Mezhdunarod. simpoz., Izhevsk: Izd-vo IzhGTU, 2013. – С. 309–315.

19. Derbaba V. A. Evaluation of the adequacy of the statistical simulation modeling method while investigating the components presorting processes / V. A. Derbaba, V. V. Zil, S. T. Patsera // Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu. – 2014. – # 5. – С. 45–50.

Надійшла до редакції 26.04.2019