

УДК 621.7.08:621.833:53.088.22:004.942

© В.А. Дербаба

**АЛГОРИТМ ІМІТАЦІЙНО-СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ  
ВИМІРЮВАЛЬНО-КОНТРОЛЬНОЇ СИСТЕМИ ГЕОМЕТРИЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС**

© V. Derbaba

**ALGORITHM OF SIMULATIVE STATISTICAL MODELING  
MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEMS  
GEOMETRIC PARAMETERS GEARS**

Визначено залежності показників радіального биття евольвентних коліс від граничної випадкової похибки вимірювання. Застосовано метод імітаційного статистичного моделювання, який адаптований стосовно до поставленого завдання. За результатами числових експериментів визначені залежності впливу граничного інтервалу випадкових інструментальних похибок на відсотки неправильно забракованих деталей.

Определены зависимости показателей радиального биения эвольвентных колёс от предельной случайной погрешности измерения. Применен метод имитационного статистического моделирования, который адаптирован применительно к поставленной задаче. По результатам численных экспериментов определены зависимости влияния предельного интервала случайных инструментальных погрешностей на проценты неправильно забракованных деталей.

**Визначення наукової проблеми та її значення.** Проблема забезпечення якості виготовлення зубчастих коліс поставлена дуже гостро в зв'язку з ринковими відносинами і конкуренцією. Залишаються актуальними проблемні питання технологічного забезпечення якості продукції, що випускається в зв'язку з освоєнням на підприємствах машинобудування міжнародної системи менеджменту якості.

При допусковому контролі [1] виникає проблема вибору рівня точності вимірювання контролюючих геометричних параметрів складнопрофільних деталей машин і механізмів.

**Аналіз досліджень проблеми і публікації.** До теперішнього часу на більшості підприємств вимірювання параметрів евольвентних зубчастих коліс [5] спирається на гаму засобів зубовимірювальної техніки - прилади, які мають обмежений діапазон вимірювань параметрів і різну точність [4]. Для обґрунтованого вибору конкретного засобу вимірювання з прийнятною похибкою вимірювання використовується методика, яка викладена в національному стандарті ГОСТ 8.051-81. Однак зазначена методика може бути застосована лише до деталей гладких спряжень і не враховує геометричних особливостей зубчастих коліс.

Аналіз відомих робіт по оцінюванню впливу похибок вимірювання на помилки першого і другого роду, ризику виробника і споживача показав, що в за-

гальному вигляді проблема вирішена раніше. У працях Рубічева М.М., Фрумкіна В.Д., Данілевича С.Б., Сергієва О.Г., Крохіна В.В. У роботі [2] запропоновано метод імітаційно-статистичного моделювання для розрахунків залежності помилок першого і другого роду від величини похибок вимірювання [3].

**Цілі та задачі статті.** Існує науковий та практичний інтерес визначення запропонованим методом впливу випадкових похибок вимірювання радіального биття зубчастого вінця на достовірність результатів при пасивному контролі відповідних виробів. Саме це і є ціллю викладеної статті, а для досягнення вказаної цілі вирішені такі задачі: скласти структурну модель вимірювання, розробити алгоритм імітаційно-статистичного моделювання, здійснити моделювання випадкових процесів контролю з розрахунками відсотків неправильно забракованих, чи неправильно прийнятих зубчастих коліс, провести апроксимацію результатів.

**Виклад основного матеріалу.** Структуру моделі контрольно-вимірювальної системи будемо розглядати так, як показано на рис.1.

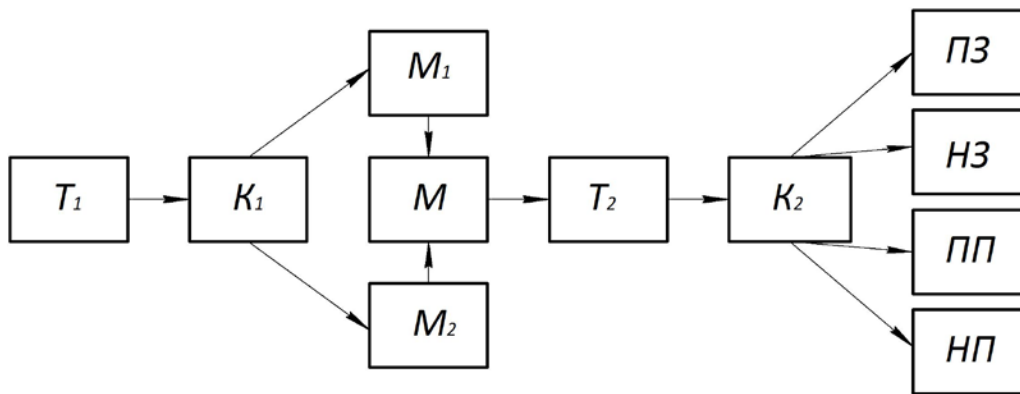


Рис. 1. Структура імітаційно-статистичної моделі вимірювання радіального биття

Застосовано такі позначення блоків:  $T_1$  – моделювання радіального биття зубчастого колеса за умов відсутності похибок вимірювання,  $K_1$  – імітація попередньої процедури контролю за умов відсутності похибок вимірювання,  $M_{1,2}$  – моделювання інструментальних похибок першого і другого виміру,  $M$  – моделювання результату вимірювання,  $K_2$  – імітація пасивного контролю зубчастого колеса з урахуванням похибок вимірювання,  $ПЗ, НЗ, ПП, НП$  – визначення відповідності зубчастого колеса групам.

Нижче розглянута послідовність алгоритму моделювання на прикладі конкретного циліндричного прямозубого колеса. Колесо має наступні конструктивні параметри і допуски: модуль  $m = 3$  мм, дільний діаметр  $d = 150$  мм, число зубів  $z = 50$ , допуск на радіальне биття  $F_r$  дорівнює 36, 50 мкм відповідно для 6, 7 ступеню точності зубчастого колеса.

Програмну реалізацію моделювання здійснено у середовищі Microsoft Office Excel. Створено електронну таблицю, окремі фрагменти якої показані у табл.1.

Фрагмент електронної таблиці імітаційно-статистичного моделювання впливу похибки вимірювання на показники пасивного контролю зубчастого колеса 7 ступеню кінематичної точності (для скорочення обсягу таблиці показані не всі рядки)

Номери зубчастих коліс, і	Змодельовані величини $F_{gr}$ радіального биття зубчастих коліс за умов відсутності похибок вимірювання	Попередні оцінки $\beta_1$ придатності зубчастих коліс по критерію відповідності допуску	Змодельовані похибки вимірювання радіального биття $\Delta_r$ , мкм	Змодельовані величини $F_{gr}$ радіального биття зубчастих коліс за умов врахування похибок вимірювання	Заключні оцінки $\beta_0$ придатності зубчастих коліс по критерію відповідності вимогам кінематичної точності	Результати контролю зубчастих коліс			
						правильно забраковані (ПЗ)	неправильно забраковані (НЗ)	правильно прийняті (ПП)	неправильно прийняті (НП)
1	2	3	4	4	6	7	8	9	10
1	14,4	1	8,9	23,3	1	0	0	1	0
4	35,6	1	25,5	61,1	0	0	1	0	0
5	35,0	1	-7,4	27,6	1	0	0	1	0
6	39,4	1	-9,7	29,7	1	0	0	1	0
7	6,8	1	-20,0	-13,2	1	0	0	1	0
8	23,0	1	-28,1	-4,9	1	0	0	1	0
...	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3108	52,1	0	22,0	74,1	0	1	0	0	0
...	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4997	20,4	1	45,7	66,1	0	0	1	0	0
4998	38,5	1	-31,3	7,2	1	0	0	1	0
4999	27,5	1	0,5	28,0	1	0	0	1	0
5000	21	1	36,8	57,8	0	0	1	0	0
Всього відповідних деталей, штук		4984		-	-	4	1237	3747	12
Відсоток відповідних деталей, %		99,68		-	-	0,08	24,74	74,94	0,24

У рядках таблиці імітуються події – результати вимірювання і контролю деталей. Стовпці відображають результати статистичного моделювання.

У стовпці 1 записані номери зубчастих коліс. Обсяг вибірки прийнято 5000 коліс, що забезпечує довірчий інтервал 0,1% при довірчій ймовірності 0,95.

У другому стовпці моделюється величини радіального биття при нульовій похибці вимірювання. При цьому приймався нормальний розподіл. Середнє значення (average) радіального биття у вибірці прийнято таким, щоб воно відповідало середині полю допуску, а стандартне відхилення (stdev) дорівнювало одній шостій величини допуску на радіальне биття.

Вихідним інтервалом є стовпець 2, який відповідає блоку  $T_1$ . Розрядність значень у стовпці 2 відповідає одному знаку після коми, тобто 0,1 мкм, чого цілком достатньо для точності моделювання радіального биття.

У стовпці 3, який відповідає блоку  $K_1$ , проводиться оцінка придатності зубчастих коліс за двобальною шкалою: придатним деталям присвоюється бал  $\beta_i = \langle 1 \rangle$ , а бракованим – відповідно бал  $\beta_i = \langle 0 \rangle$ . Для комп'ютерного заповнення стовпця 3 використовується логічна формула

$$IF(F_{ritr} \leq Fr; 1; 0),$$

де  $F_{ritr}$  – істинне значення радіального биття.

Сума балів (4984) у колонці 3 відображає частку (99,68%) придатних деталей при обраній для моделювання точності технології.

У стовпці 4 моделюються похибки вимірювання радіального биття. Для моделювання похибок вимірювань застосовано рівномірний розподіл. Параметрами розподілу являються граничні значення похибки. В прикладі, що приведено в даній статті розглядається випадок, коли систематична похибка відсутня.

У стовпці 5 відображається сумарний результат виготовлення і вимірювання. Для цього проводимо підсумовування відповідних клітинок зі стовпців 2 і 4.

У стовпці 6 придатним деталям присвоюється бал  $\beta_o = \langle 1 \rangle$ , а бракованим відповідно бал  $\beta_o = \langle 0 \rangle$  за формулою

$$IF(F_{ri} \leq Fr; 1; 0),$$

Далі у стовпцях 7-10 проводиться виявлення відсотків неправильно забракованих (НЗ) і неправильно прийнятих деталей (НП). Для цього використовуються відповідні логічні умови.

Для перевірки моделювання потрібно визначити суму відсотків по вказаних групах деталей, яка повинна складати 100%.

Блок-схема розробленого алгоритму імітаційно-статистичного моделювання випадкових інструментальних похибок засобів вимірювання і пасивного контролю радіального биття евольвентних коліс приведена на рис.2.

Залежності долі неправильно забракованих деталей для зубчастих коліс різного ступеню точності під граничного значення інструментальної похибки наведені на рис.3.

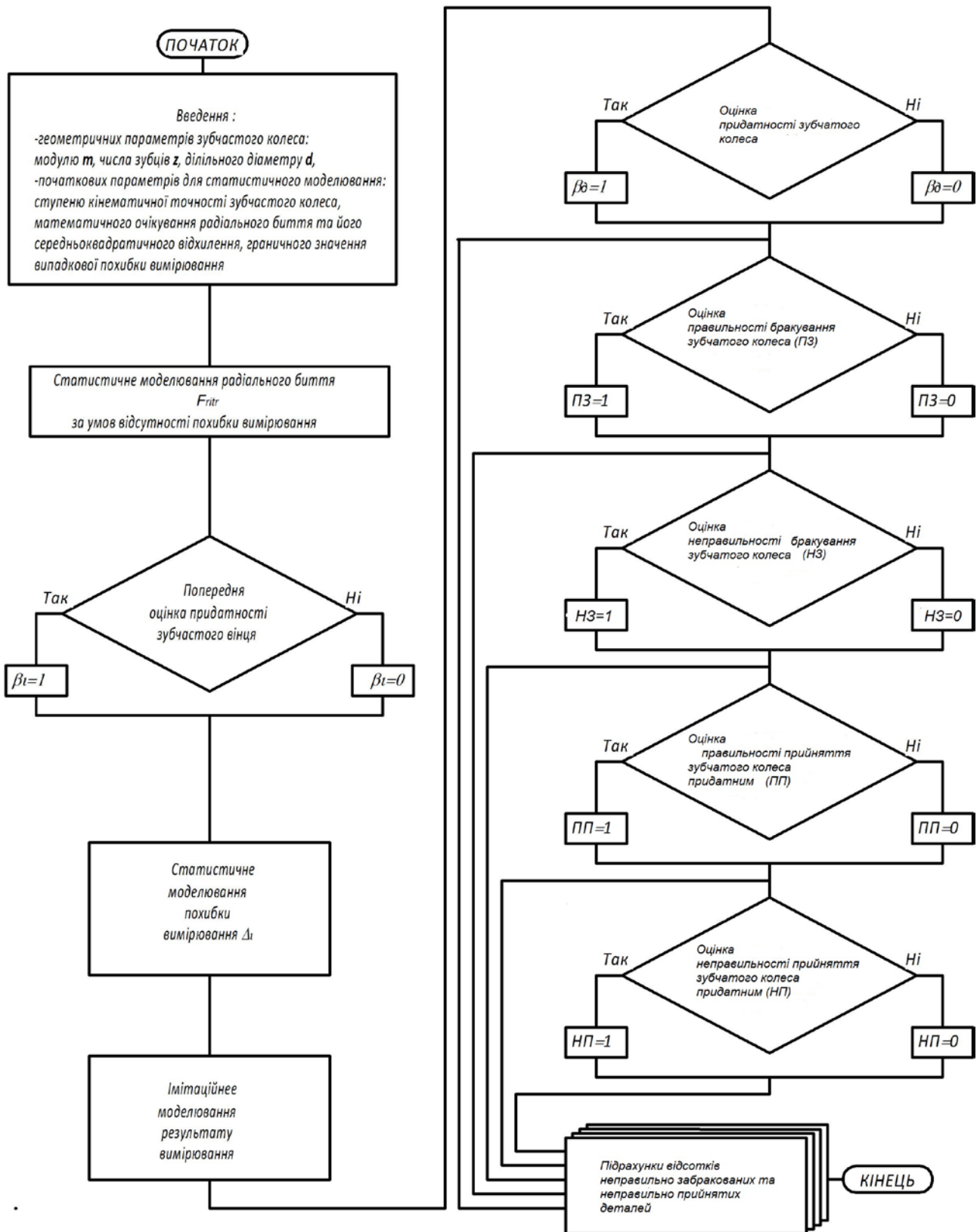


Рис. 2. Алгоритм імітаційно-статистичного моделювання вимірювально-контрольної системи радіального биття евольвентних зубчастих коліс

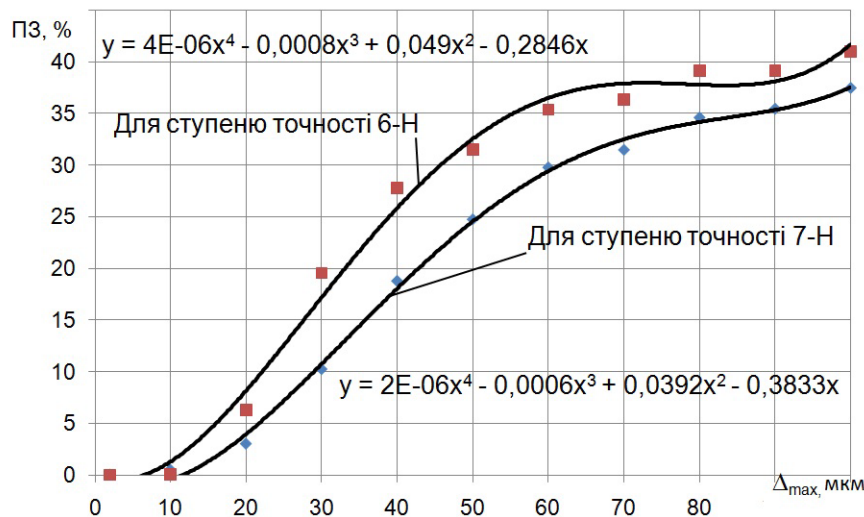


Рис. 3. Залежність відсотка неправильно забракованих коліс (НЗ) від граничної випадкової похибки вимірювання при різних ступенях точності

Аналіз графіків показує, що похибки вимірювання суттєво впливають на результати контролю.

При контролі радіального биття зубчастих коліс 6 і 7 ступенів кінематичної точності для обмеження кількості неправильно забракованих деталей на рівні до 5% необхідно обмежити похибки вимірювання до 15 та 20 мкм відповідно.

При контролі радіального биття зубчастих коліс 8 ступеню кінематичної точності для обмеження кількості неправильно забракованих деталей на рівні до 5% похибки вимірювання не повинні перевищувати 10 мкм.

#### Висновки та перспективи подальших досліджень.

1. Метод імітаційно-статистичного моделювання є ефективним при дослідженні впливу похибок вимірювання на помилки пасивного контролю радіального биття зубчастих коліс.

2. На основі отриманих залежностей запропоновано практичні рекомендації щодо вибору допускового рівня інструментальних похибок при вимірюванні радіального биття зубчастих коліс і розроблено методику імітаційного моделювання впливу випадкових похибок при вимірюванні радіального биття зубчастих коліс з евольвентним профілем на кількість неправильно прийнятих і неправильно забракованих деталей коліс.

3. Практична цінність отриманих результатів полягає у впровадженні розробленого алгоритму в навчальному процесі Національного гірничого університету, що обумовлено можливістю обґрунтованого вибору вимірювального приладу для контролю радіального биття зубчастих коліс, на етапі розрахунку студентом курсової роботи, дипломного проекту, а також науково-дослідної роботи аспіранта.

4. Зазначені закономірності можуть бути використані в наукових дослідженнях відповідних інститутів машинобудування, а також у період підготовки

виробництва на підприємствах, при виборі типорозмірів вимірювальних приладів з прийнятною ціною і необхідним рівнем точності вимірювань.

5. Подальші дослідження можуть проводитися у напрямках врахування систематичних похибок вимірювання, уточнення законів розподілу випадкових величин, розширення номенклатури контролюємих параметрів.

#### Перелік посилань

1. Рубичев Н. А. Достоверность допускового контроля качества / Н. А. Рубичев, В.Д. Фрумкин. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 171 с.
2. Derbaba, V.A., Zil, V.V., Patsera, S.T., “Evaluation of the adequacy of the statistical simulation modeling method while investigating the components presorting processes”, Scientific bulletin of National Mining University Dnipropetrovsk – Scientific and technical journal, no. 5 (143). – 2014. – p. 45–50.
3. Асташенков А. И. Разработка системы обеспечения единства измерений геометрических параметров эвольвентных зубчатых зацеплений: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук: спец. 05.11.15 «Метрология и метрологическое обеспечение» [Текст] / А. И. Асташенков // Всероссийский НИИ метрологической службы: Москва, 1999. – 44 с.
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. Дербаба В.А. Алгоритм имитационного стохастического моделирования точности толщины эвольвентного зуба и погрешности ее измерения / Дербаба В.А., Корсун В.И., Пацера С.Т. // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – Одеса. – 2012. –№1 (1) – С. 54–60.

#### ABSTRACT

**Purpose.** The objective of the paper is to determine the dependence of the sorting indicators of the radial runout of involute teeth on the limiting random error of measurement.

**The method** of simulation statistical modeling, adapted in relation to the assigned task was applied. The modeling was carried out both for the case of zero error of measurement, and for the limiting value of the random error, which is taken as input data. It provides the calculation of the percent of incorrectly accepted and incorrectly rejected pieces.

**Findings.** According to the results of numerical experiments we determined the dependence of the influence of the limiting interval of the random instrumental errors on the percentage of incorrectly rejected parts.

**The originality.** First the statistical modeling was conducted on the basis of the random number generator, built in Microsoft Excel. The accepted assumptions concern the choice of the law of normal distribution for deviations of the radial runout from the nominal value and uniform law of distribution of random errors of measurement.

**Practical implications.** The procedure was used in the education processes when training bachelors, specialists and masters in mechanical engineering. The technique can be used in drawing up business-plans for decision-making during preparation of engineering production, which is characterized by the stochastic nature.

**Keywords:** *measurement error, model, gear wheel, radial runout, modeling, sorting.*