

УДК 621.317+621.753

В.А. Дербаба, В.И. Корсун, С.Т. Пацера

Національний горний університет, Днепропетровск, Україна

ВЛИЯНИЕ РАСШИРЕННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА РИСКИ ИЗГОТОВИТЕЛЯ И ЗАКАЗЧИКА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ТОЛЩИНЫ ЗУБА

Определена зависимость риска изготовителя от расширенной неопределенности измерительного средства. Используется имитационное статистическое моделирование. В строках электронной таблицы моделируется процесс изготовления и контроля зубчатого колеса. В столбцах моделируются: порядковый номер зуба, истинное значение толщины зуба, оценка годности по двухбалльной шкале, различная действительная погрешность измерения при использовании выбранного средства измерения, суммарный результат изготовления и измерения, процент годных зубьев. Методика предназначена для обучения магистров (технологов и метрологов), а также для исследований.

Ключевые слова: зубчатое колесо, толщина зуба, неопределенность, погрешность, отклонение, процент неправильно забракованных зубьев.

Введение

Постановка проблемы. Из-за сложности технологических методов формообразования боковых поверхностей зубьев, геометрической сложности режущего инструмента, взаимозависимости технологических источников отклонения параметров зубьев от заданных значений не всегда удается определить основные причины дефектности зубчатых колес. Наиболее полно проблемные вопросы и методы определения основных погрешностей, возникающие при различных методах обработки зубчатых колес, рассмотрены в работах [1, 2]. Описаны методы и приборы для контроля всех параметров зубчатых колес. Приведены рекомендации по выбору методов и средств контроля для разных условий производства.

Анализ последних достижений и публикаций. Для понимания влияния метрологических факторов на дефектность изделий весьма продуктивным оказался метод имитационного статистического моделирования [4, 5] процесса разбраковки. В этих работах предложена методика статистического моделирования, которая предусматривает моделирование с помощью электронных таблиц процесса изготовления, контроля и разбраковки изделий с гладкими поверхностями или резьбой. В работе [6] исследовано влияние расширенной неопределенности измерительных средств на показатели дефектности зубчатых колес, когда критерием качества выбрано отклонение длины общей нормали.

Формулирование цели. Представляет теоретический и практический интерес влияние расширенной неопределенности измерительного средства на разбраковку по толщине зуба.

Изложение основного материала

Поставленная цель достигается применением имитационного моделирования и компьютерного

генерирования случайных погрешностей (фрагмент показан в табл. 1).

В качестве контролируемого размера выбрано отклонение толщины зуба, наименьшее значение которого – E_{cs} , является показателем, определяющим гарантируемый боковой зазор, который, в свою очередь, определяет вид сопряжения [3]. Наименьшее отклонение толщины зуба – E_{cs} – наименьшее предписанное уменьшение постоянной хорды S_c (рис. 1).

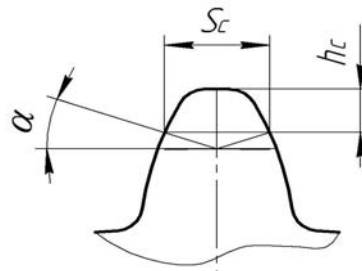


Рис. 1. Схема определения толщины зуба: S_c – постоянная хорда; h_c – высота до нее

Ниже рассмотрена последовательность моделирования на примере конкретного цилиндрического прямозубого колеса. Колесо имеет следующие конструктивные параметры и допуски [3]:

- модуль $m=3$ мм;
- делительный диаметр $d=150$ мм;
- число зубьев $z=50$;
- номинальное значение постоянной хорды $S_c = 4,161$ мм;
- номинальное значение высоты до постоянной хорды $h_s = 2,243$ мм;
- наименьшее отклонение толщины зуба $E_{cs}= 14$ мкм [3].

Имитационная электронная таблица включает в себя строки (в каждой из них записаны номера зубьев, для которых определяется отклонение толщины зуба, результаты изготовления, измерений и разбраковки

зубьев) и столбцы, в которые заносятся результаты статистического моделирования (табл. 1, где .степень точности – 7; вид сопряжения – Н, предельная погрешность измерительного прибора – 50 мкм; для сокращения объема таблицы показаны не все строки).

Таблица 1

Электронная таблица имитационного статистического моделирования процесса изготовления, контроля и разбраковки зубчатого колеса

Номера зубьев при измерении	Истинное отклонение толщины зуба E_{csi} , мкм	Балл годности $\beta_{и}$	Погрешность измерения толщины зуба, мкм	Действительное отклонение толщины зуба $E_{cсн}$, мкм	Балл годности после измерений $\beta_{ид}$	Разбраковка зубьев по толщине зуба на:			
						правильно принятые	неправильно принятые	правильно забракованные	неправильно забракованные
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Зуб	35	1	2	38	1	1	0	0	0
Зуб	23	1	-35	-12	0	0	0	0	1
Зуб	42	1	31	73	0	0	0	0	1
Зуб	13	0	32	44	1	0	1	0	0
Зуб	69	0	-47	22	1	0	1	0	0
Зуб	66	0	2	68	0	0	0	1	0
Итого	46				27	24	3	1	22

В первом столбце моделируется порядковые номера зубьев, для которых определяется толщина зуба. Во втором столбце моделируется истинное отклонение толщины зуба E_{csi} , полученное при принятых параметрах точности технологии

Компьютерное моделирование позволяет моделировать истинное значение, которое в реальных условиях изготовления невоспроизводимо [7, стр. 14]. Для моделирования истинного отклонения толщины зуба использован пакет анализа, входящий состав программы Microsoft Excel, предназначенный для решения сложных статистических и инженерных задач. В диалоговом окне из пакета «Анализ данных» – «Генерация случайных чисел» заполняются соответствующие поля:

- число переменных – 1 (истинное отклонение толщины зуба);
- число случайных чисел – 50 (соответствует количеству зубьев в колесе);
- распределение – нормальное (предполагаем, что нет доминирующих факторов, влияющих на отклонение от среднего значения);
- параметры распределения: среднее значение и стандартное отклонение.

Среднее значение отклонения толщины зуба принято равным координате середины поля допуска:

$$E_{csi\text{ ср}} = 14 + \frac{50}{2} = 39 \text{ мкм.}$$

Этим самым предполагается высокий уровень настроенности технологического процесса изготовления (может также моделироваться пониженный уровень настроенности).

Стандартное отклонение может быть смоделировано для технологических процессов, отличающихся по уровню точности:

- пониженной точности, при которой отношение величины поля допуска к стандартному отклонению менее 6;
- нормальной точности, при которой отношение величины поля допуска к стандартному отклонению равно 6;
- повышенной точности, при которой отношение величины поля допуска к стандартному отклонению более 6.

В примере, приведенном в табл.1, принят пониженный уровень точности технологии, при котором указанное отношение равно 4 (в учебных целях).

Тогда стандартное отклонение

$$\sigma = \frac{T_c}{4} = \frac{50}{4} = 12,5 \text{ мкм.}$$

Выводным интервалом является столбец 2.

В столбце 3 проводится оценка годности зубьев по двухбалльной шкале: годным присваивается балл $\beta_{и}$ =«1», а бракованным соответственно балл $\beta_{и}$ =«0». Годными считаем зубья, у которых истинное значение отклонения толщины зуба находится в поле допуска. Тогда для компьютерного заполнения столбца 3 используется формула

$$\text{ЕСЛИ}(\text{И}(E_{csi} \geq E_{cs}; E_{csi} \leq (E_{cs} + T_c)); 1; 0),$$

где E_{csi} – истинное отклонение толщины зуба; E_{cs} , T_c – соответственно наименьшее отклонение толщины зуба и допуск на отклонение толщины зуба – нормированные показатели точности, заданные в стандарте на зубчатые колеса [3].

Сумма баллов в столбце 3 (46) отображает долю годных зубьев при выбранной для моделирования точности технологии.

В столбце 4 моделируется погрешность измерения толщины зуба. Для моделирования используется, как и выше, инструмент пакета анализа в EXCEL – «Генерация случайных чисел». При заполнении соответствующего диалогового окна принимаем:

- число переменных 1,
- число случайных чисел 50,
- распределение равномерное, называемое также прямоугольным (можно также имитировать и другие распределения).

Для осуществления компьютерного моделирования необходимо заполнить поля диалогового окна: «от» и «до». То есть здесь следует ввести значение U расширенной неопределенности [7, стр. 72]

типа В, как интервальную меру неопределенности, взятую из паспорта измерительного средства.

Для получения искомых зависимостей U моделировалось в широком диапазоне: от ± 100 до ± 2 мкм (в табл. 1 показаны результаты только для $U = \pm 50$ мкм).

В столбце 5 отображается суммарный результат изготовления и измерения, т.е. действительное значение отклонения толщины зуба $E_{csд}$. Для этого проводим построчное суммирование соответствующих ячеек таблицы.

В столбце 6 проводится оценка годности зубьев после измерения по двухбалльной шкале: годным присваивается балл $\beta_d = \langle 1 \rangle$, а бракованным соответственно балл $\beta_d = \langle 0 \rangle$. Годными являются зубья, у которых действительное значение $E_{csд}$ лежит в поле допуска, балл определяется так же, как и выше по формуле

$$\text{ЕСЛИ}(\text{И}(E_{csд} \geq E_{cs}; E_{csд} \leq (E_{cs} + T_c)); 1; 0),$$

где $E_{csд}$ – действительное значение отклонения толщины зуба.

Сумма баллов (27) в столбце 6 отображает долю годных зубьев при данной точности технологии с учетом влияния расширенной неопределенности измерения. Сопоставление суммы баллов в столбцах 3 и 6 наглядно демонстрирует, что погрешность измерения существенно снизила процент годных зубьев (в нашем примере на 38% !).

Далее проводится выявление процента неправильно забракованных и процента неправильно принятых зубьев.

Правильно забракованные зубья (ПЗ) должны иметь балл $\langle 0 \rangle$, как в столбце 3, так и в столбце 6. Для моделирования применена формула

$$\text{ЕСЛИ}(\text{И}(\beta_{и} = 0; \beta_{д} = 0); 1; 0).$$

Неправильно забракованные зубья (НЗ) должны иметь балл $\langle 1 \rangle$ в столбце 3, и балл $\langle 0 \rangle$ в столбце 6. В этом случае применена формула

$$\text{ЕСЛИ}(\text{И}(\beta_{и} = 1; \beta_{д} = 0); 1; 0).$$

Правильно принятые детали (ПП) должны иметь балл $\langle 1 \rangle$ как в столбце 3, так и в столбце 6. Применяется формула

$$\text{ЕСЛИ}(\text{И}(\beta_{и} = 1; \beta_{д} = 1); 1; 0).$$

Неправильно принятые детали (НП) должны иметь балл $\langle 0 \rangle$ в столбце 3, и $\langle 1 \rangle$ балл в столбце 6. Для моделирования применена формула

$$\text{ЕСЛИ}(\text{И}(\beta_{и} = 0; \beta_{д} = 1); 1; 0).$$

Сумма баллов (24, 3, 1, 22) в столбцах 7÷10 отображает соответственно долю правильно принятых, неправильно принятых, правильно забракованных, неправильно забракованных зубьев. На рис. 2 – 18 показаны полученные зависимости влияния расширенной неопределенности U на процент неправильно забракованных (НЗ) и правильно забракованных (ПЗ) зубьев.

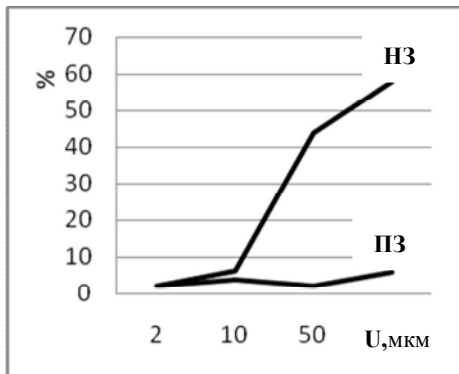


Рис. 2. Зависимость процента забракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 7-Н

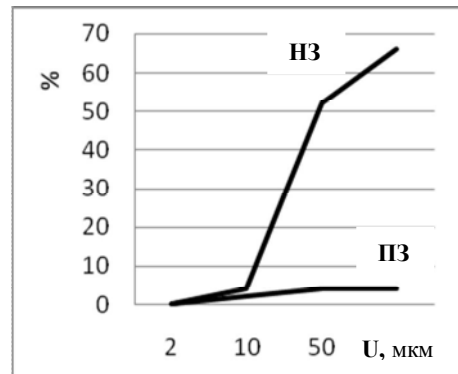


Рис. 3. Зависимость процента забракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 7-Е

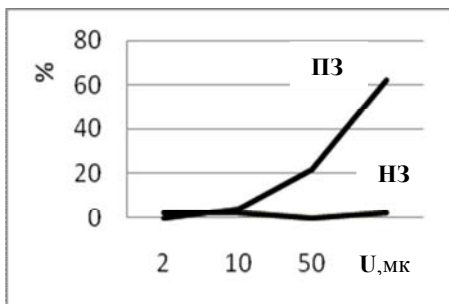


Рис. 4. Зависимость процента забракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 7-Д

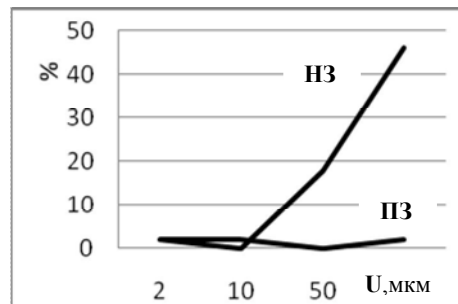


Рис. 5. Зависимость процента забракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 7-С

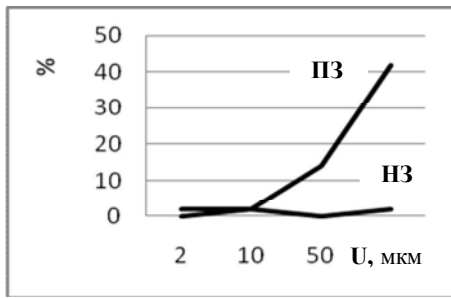


Рис. 6. Зависимость процента бракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 7-B

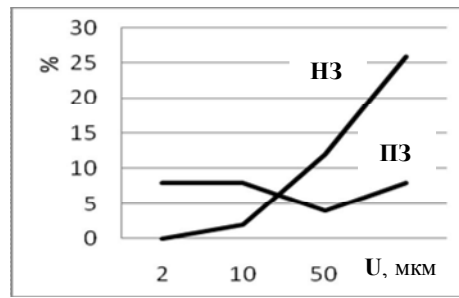


Рис. 7. Зависимость процента бракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 7-A

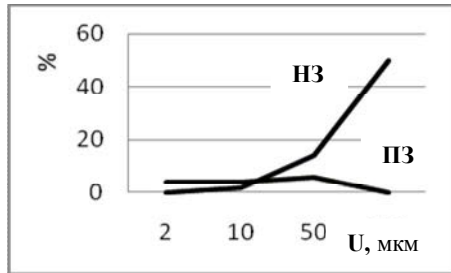


Рис. 8. Зависимость процента бракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 8-D

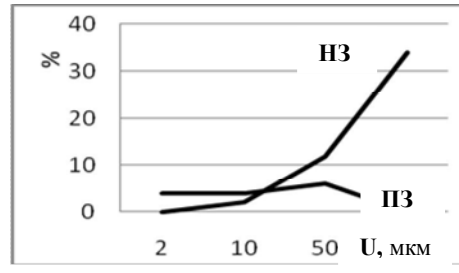


Рис. 9. Зависимость процента бракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 8-C

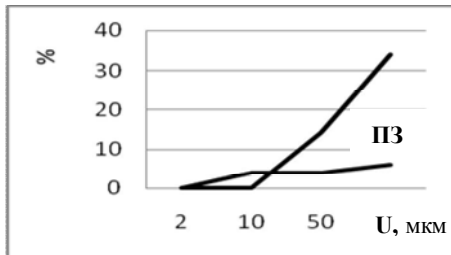


Рис. 10. Зависимость процента бракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 8-B

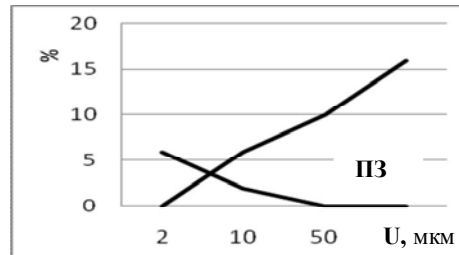


Рис. 11. Зависимость процента бракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 8-A

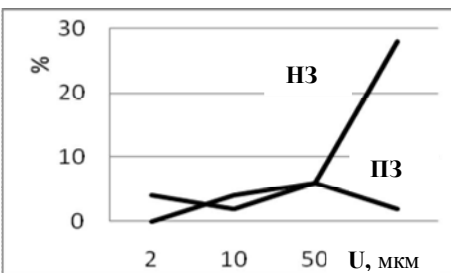


Рис. 12. Зависимость процента бракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 9-C

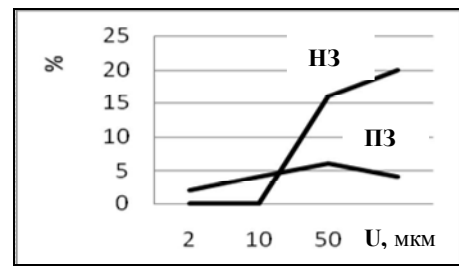


Рис. 13. Зависимость процента бракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 9-B

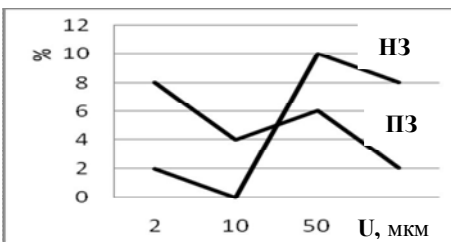


Рис. 14. Зависимость процента бракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 9-A

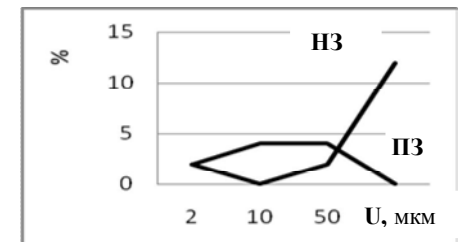


Рис. 15. Зависимость процента бракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 10-B

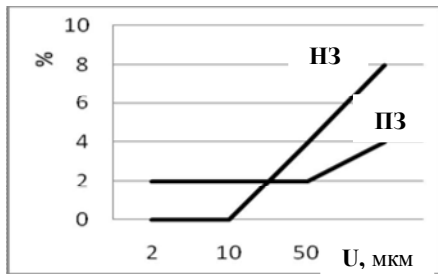


Рис. 16. Зависимость процента забракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 10-А

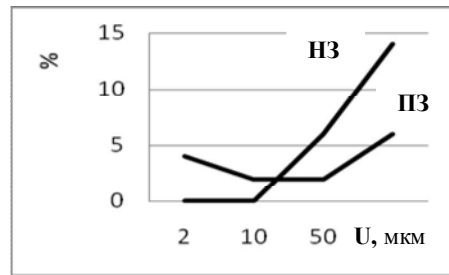


Рис. 17. Зависимость процента забракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 11-В

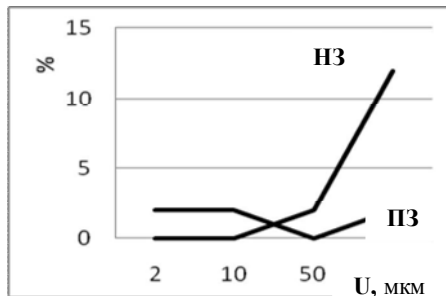


Рис. 18. Зависимость процента забракованных зубьев от погрешности U для колеса степени точности 11-А

Выводы

Получены зависимости влияния расширенной неопределенности измерительного средства на показатели разбраковки зубьев по их толщине. Показано, что при заданных начальных условиях для контроля толщины зуба зубчатого колеса для получения приемлемых показателей разбраковки можно рекомендовать приборы, имеющие расширенную неопределенность от $U=\pm 2$ мкм до $U=\pm 10$ мкм.

Дальнейшие исследования могут охватывать различные уровни настроенности технологических процессов, что может быть востребовано при разработке и выполнении мероприятий по повышению качества зубчатых колес.

ВПЛИВ РОЗШИРЕНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ НА РИЗИКИ ВИРОБНИКА ТА ЗАМОВНИКА ПРИ ВИМІРЮВАННІ ТОВЩИНИ ЗУБУ

В.А. Дербаба, В.І. Корсун, С.Т. Пацера

Визначена залежність ризику виробника від розширеної невизначеності вимірювального засобу. Використано імітаційне статистичне моделювання. В строчках електронної таблиці моделюється процес виготовлення і контролю зубчастого колеса. В стовбцях моделюються: порядковий номер зубу, істинне значення товщини зубу, оцінка придатності по двоохвальній шкалі, різна дійсна похибка вимірювань при використанні вибраного засобу вимірювання, загальний результат виготовлення та вимірювання, відсоток придатних зубців. Методика призначена для навчання магістрів (технологів та метрологів), а також для досліджень.

Ключові слова: зубчасте колесо, товщина зубу, невизначеність, похибка, відсоток неправильно забракованих зубців.

INFLUENCE OF THE EXPANDED UNCERTAINTY ON RISKS OF THE MANUFACTURER AND THE CUSTOMER OF THE THICKNESS OF THE TOOTH GEAR

A.V. Derbaba, V.I. Korsun, S.T. Patsera

The dependence of the risk of manufacturer is certain on the extended uncertainty of measuring mean. An imitation statistical design is used. In lines of a spreadsheet process of manufacturing and the control of a gear wheel is modeled. In columns are modeled: the serial number, the true amount, the estimation of the conformance on a two-point scale, the varies valid error of measurements at use of the chosen gauge, the total result of manufacturing and measurement, the percent of conformance details. Methods are intended for teaching of master's degrees (technologists and metrologists), and also for researches.

Keywords: gear wheel, the thickness of a tooth, uncertainty, an error, the percent of incorrectly discarded teeths.

Список литературы

1. Тайц Б.А. Точность и контроль зубчатых колес / Б.А. Тайц. – М.: Машиностроение, 1972. – 368 с.
2. Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении / Б.С. Балакишин и др. – М.: Машиностроение, 1972. – 615 с.
3. Допуски и посадки: справочник. В 2-х ч. / В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – Ч. 2. – 448 с.
4. Пацера С.Т. Изучение влияния расширенной неопределенности второго рода на риски изготовителя и заказчика методом статистического моделирования / С.Т. Пацера, В.І. Корсун, С.С. Курдюков // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2006. – Вип. 7 (56).
5. Метод статистического моделирования при изучении влияния расширенной неопределенности на риски заказчика и изготовителя метрической резьбы / А.В. Азаров, А.Л. Войчишин, В.І. Корсун, С.Т. Пацера // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2009. – Вип.5 (79).
6. Дербаба В.А. Влияние расширенной неопределенности на риски изготовителя и заказчика при измерении длины обшей нормали зубчатого колеса / В.А. Дербаба, В.І. Корсун, С.Т. Пацера // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 4 (85).
7. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях / И.П. Захаров, В.Д. Кукиш. – Х.: Консум, 2002.

Поступила в редколлегию 5.01.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Р.П. Дидык, Национальный горный университет, Днепропетровск.