

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 ДЛИНЫ ОБЩЕЙ НОРМАЛИ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА

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, истинное значение, оценка годности по двухбалльной шкале, различная действительная погрешность измерения при использовании выбранного средства измерения, суммарный результат изготовления и измерения, процент годных деталей. Методика предназначена для обучения магистров (технологов и метрологов), а также для исследований.

Ключевые слова: зубчатое колесо, длина общей нормали, неопределенность, погрешность, отклонение, процент неправильно забракованных изделий.

Введение

Постановка проблемы. В настоящее время проблема эффективности технологических процессов изготовления зубчатых колес поставлена очень остро в связи с рыночными отношениями и возросшей конкуренцией. Остаются актуальными проблемы технологического обеспечения качества выпускаемой продукции в связи с возможным внедрением на предприятиях машиностроения международной системы менеджмента качества [1].

Анализ последних достижений и публикаций. Если обоснованию выбора точности средств измерения и контроля гладких сопряжений посвящено достаточное количество работ, например [2, 3], то подобным обоснованиям для зубчатых колес уделяется недостаточно внимания. Тем более что стандартами предусматривается весьма обширный перечень контролируемых параметров зубчатых колес. В работах [4, 5] предложена методика статистического моделирования, которая предусматривает моделирование с помощью электронных таблиц процесса изготовления, контроля и забраковки изделий с гладкими поверхностями или резьбой.

Формулирование цели. Представляет теоретический и практический интерес влияние расширенной неопределенности измерительного средства на забраковку зубчатых колес. В настоящей статье исследовано влияние расширенной неопределенности измерительных средств на показатели дефектности зубчатых колес, когда критерием качества выбрано отклонение длины общей нормали.

Изложение основного материала

Поставленная цель достигается применением имитационного моделирования и компьютерного генерирования случайных погрешностей (фрагмент показан в табл. 1).

В качестве контролируемого размера выбрана длина общей нормали W , которая является показателем, определяющим гарантируемый боковой зазор, который, в свою очередь, определяет вид сопряжения. Общая нормаль W – расстояние между двумя разноименными боковыми поверхностями зубьев (рис. 1).

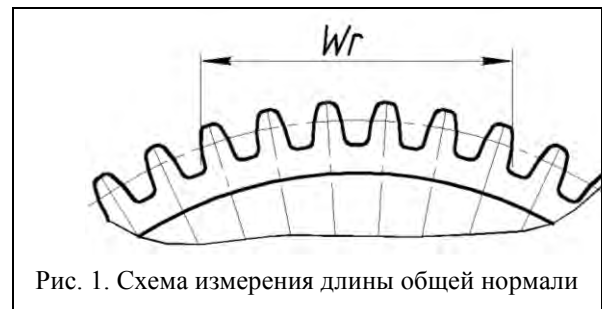


Рис. 1. Схема измерения длины общей нормали

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

- модуль $m = 3$ мм;
- делительный диаметр $d = 150$ мм;
- число зубьев $z = 50$;
- число охватываемых зубьев при измерении длины общей нормали $z_n = 6$;
- номинальное значение длины общей нормали $W_n = 50,892$ мм;
- допуск на длину общей нормали 50 мкм, наименьшее отклонение длины общей нормали – 41 мкм, [3]).

Имитационная электронная таблица включает в себя строки (в каждой из них записаны номера зубьев, для которых определяется отклонение общей нормали, результаты их изготовления, измерений и забраковки) и столбцы, в которые заносятся результаты статистического моделирования.

Таблица 1

Электронная таблица имитационного статистического моделирования процесса изготовления, контроля и разбраковки зубчатого колеса со следующими параметрами: степень точности 7; вид сопряжения E (для сокращения объема таблицы показаны не все строки)

| Номера охватываемых зубьев при измерении | Истинное отклонение длины общей нормали $E_{Wн}$, мкм | Балл годности β_n | Погрешность измерения длины общей нормали, мкм | Действительное отклонение длины общей нормали $E_{Wд}$, мкм | Балл годности после измерений $\beta_{ид}$ | Разбраковка длин общей нормали на: | | | |
|--|--|-------------------------|--|--|--|------------------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|
| | | | | | | правильно принятые | неправильно принятые | правильно забракованные | неправильно забракованные |
| 1 -6 | -35 | 0 | -24 | -59 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 2 -7 | -65 | 1 | 12 | -53 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 3 -8 | -77 | 1 | 32 | -45 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| ... | | | | | | | | | |
| 6 -11 | -65 | 1 | -36 | -101 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 7 -12 | -63 | 1 | 43 | -20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ... | | | | | | | | | |
| 14 -19 | -38 | 0 | 31 | -7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| ... | | | | | | | | | |
| 45 -100 | -67 | 1 | -23 | -90 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 46 -1 | -67 | 1 | 31 | -36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 48 -3 | -58 | 1 | -8 | -66 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 49 -4 | -44 | 1 | 21 | -23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 50 -5 | -61 | 1 | -50 | -111 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Итого | | 48 | | | 31 | 30 | 1 | 1 | 18 |

В первом столбце моделируются порядковые номера зубьев, для которых определяется общая нормаль. Во втором столбце моделируется истинное отклонение длины общей нормали $E_{Wн}$, полученное при принятых параметрах точности технологии.

Компьютерное моделирование позволяет моделировать истинное значение, что в реальных условиях изготовления неосуществимо [6, стр. 14]. Для моделирования истинного отклонения длины общей нормали использован пакет анализа, входящий в состав Microsoft Excel, предназначенный для решения сложных статистических и инженерных задач.

В диалоговом окне пакета «Анализ данных» - «Генерация случайных чисел» заполняем соответствующие поля:

- число переменных – 1 (истинное отклонение от номинального значения);
- число случайных чисел – 50 (соответствует количеству сочетаний зубьев при измерениях);
- распределение – нормальное (предполагается, что нет доминирующих факторов, влияющих на отклонение от среднего значения);
- параметры распределения: среднее значение и стандартное отклонение; среднее значение отклонения длины общей нормали принято равным координате середины поля допуска:

$$E_{Wн\text{ср}} = -41 + \frac{-41 + (-91)}{2} = -66 \text{ мкм};$$

- параметры распределения: среднее значение и стандартное отклонение.

Среднее значение отклонения длины общей нормали принято равным координате середины поля допуска:

$$E_{Wн\text{ср}} = -41 + \frac{-41 + (-91)}{2} = -66 \text{ мкм}.$$

Этим самым предполагается высокий уровень настроенности технологического процесса изготовления (может также моделироваться низкий 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

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

Выводным интервалом является столбец 2.

В столбце 3 проводится оценка годности длины общей нормали по двухбалльной шкале: годным

присваивается балл $\beta_{и}=\langle 1 \rangle$, а бракованным соответственно балл $\beta_{и}=\langle 0 \rangle$. Годными считаем длины общей нормали, у которых истинное значение отклонения от номинального значения $E_{Wи}$ лежит в поле допуска. Тогда для компьютерного заполнения столбца 3 используется формула

$$\text{ЕСЛИ}(\text{И}(E_{Wи} \geq E_{W\min}; E_{Wи} \leq E_{Ws}); 1; 0),$$

где $E_{Wи}$ – истинное отклонение длины общей нормали; $E_{W\min}$, E_{Ws} – предельные значения отклонений, заданные в стандарте на зубчатые колеса.

Сумма баллов в столбце 3 (48) отображает долю годных комплектов зубьев.

В столбце 4 имитируется (моделируется) действительная погрешность измерения длины общей нормали. Для моделирования используется, как и выше, инструмент анализа EXCEL – «Генерация случайных чисел» в меню «Сервис». 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 расширенной неопределенности U [6, стр. 72] типа В, как интервальную меру неопределенности, взятую из паспорта измерительного средства. Для получения искомым зависимостей U моделировалась в широком диапазоне: от ± 50 до ± 5 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 длины общей нормали $E_{Wд}$. Для этого проводим построчное суммирование соответствующих ячеек таблицы. В столбце 6 проводится оценка годности сочетания зубьев после измерения по двухбалльной шкале: годным сочетаниям присваивается балл $\beta_{ид}=\langle 1 \rangle$, а бракованным соответственно балл $\beta_{ид}=\langle 0 \rangle$. Годными являются сочетания зубьев, у которых действительное значение $E_{Wд}$ лежит в поле допуска, балл определяется так же, как и выше по формуле

$$\text{ЕСЛИ}(\text{И}(E_{Wд} \geq E_{W\min}; E_{Wд} \leq E_{Ws}); 1; 0),$$

где $E_{Wд}$ – действительное значение длины общей нормали.

Сумма баллов (31) в столбце 6 отображает долю годных сочетаний 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 сочетаний зубьев (в нашем примере на 34%!).

Далее проводится выявление процента неправильно забракованных или процента неправильно принятых сочетаний зубьев. Правильно забракованные сочетания должны иметь балл $\langle 0 \rangle$ как в столбце 3, так

и в столбце 6. Для моделирования применена формула

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

Неправильно забракованные должны иметь балл $\langle 1 \rangle$ в столбце 3, и балл $\langle 0 \rangle$ в столбце 6.

В этом случае применена формула

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

Правильно принятые детали должны иметь балл $\langle 1 \rangle$ как в столбце 3, так и в столбце 6. Тогда

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

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

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

Сумма баллов (30, 1, 1, 18) в столбцах 7-10 отображает соответственно долю правильно принятых, неправильно принятых, правильно забракованных, неправильно забракованных сочетаний зубьев.

На рис. 2 – 5 показаны полученные зависимости влияния расширенной неопределенности на процент неправильно забракованных или неправильно принятых длин общей нормали при использовании соответственно штангенинструментов, микрометрических и индикаторных нормалемеров.

Выводы

Показано, что при заданных начальных условиях для контроля длины общей нормали зубчатого колеса можно рекомендовать измерительные средства, имеющие расширенную неопределенность порядка $U = \pm 2$ мкм.

Список литературы

1. Михалев А.М. Оптимизация технологических процессов изготовления зубчатых колес по уровню технологической надежности: дисс.... канд. техн. наук / А.М. Михалев. – Челябинск: Южно-Уральский государственный университет, 2005. – 190 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 частях / В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – Л.: Машиностроение, 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.И. Корсун, С.С. Курдюков // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2006. – Вып. 7 (56). – С. 67-71.
5. Метод статистического моделирования при изучении влияния расширенной неопределенности на риски заказчика и изготовителя метрической резьбы / А.В. Азаров, А.Л. Войчишин, В.И. Корсун, С.Т. Пацера // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2009. – Вып. 5 (79). – С. 78-81.
6. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях: учеб. пособие / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Х.: Консум, 2002. – 256 с.

Поступила в редколлегию 5.04.2010

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

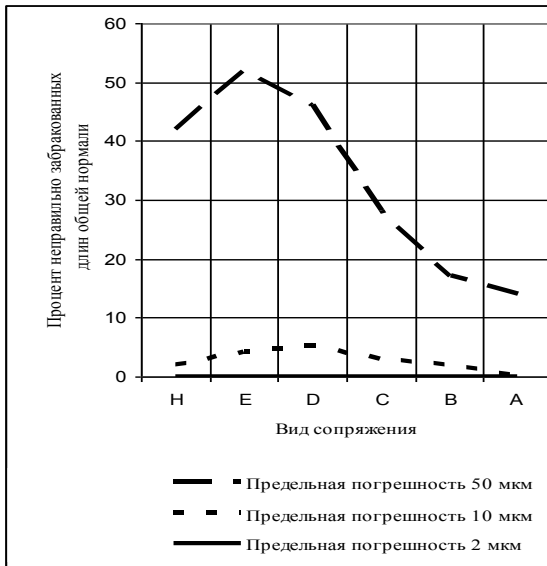


Рис. 2. Зависимость процента неправильно забракованных длин общей нормали от величины расширенной неопределенности для 7 степени точности при различных видах сопряжений

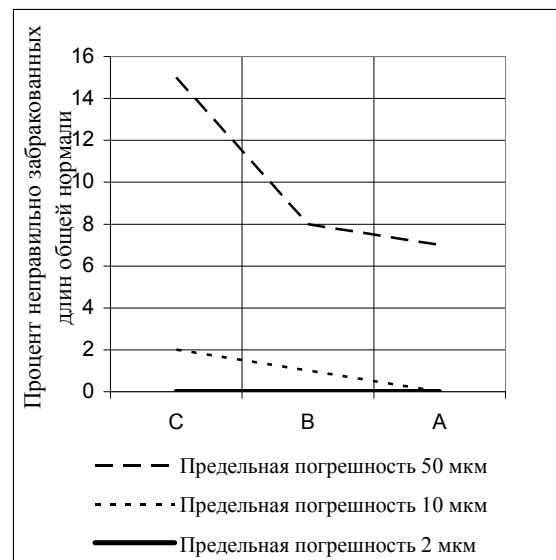


Рис. 4. Зависимость процента неправильно забракованных длин общей нормали от величины расширенной неопределенности для 9 степени точности при различных видах сопряжений

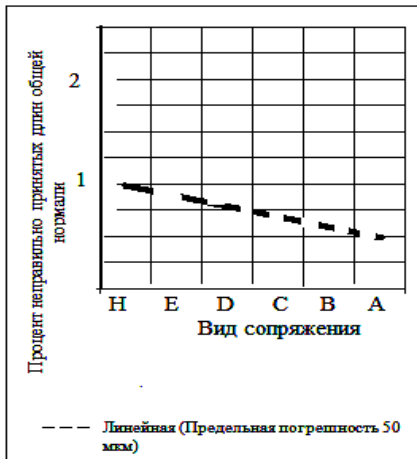


Рис. 3. Зависимость процента неправильно принятых длин общей нормали для 7 степени точности при различных видах сопряжений

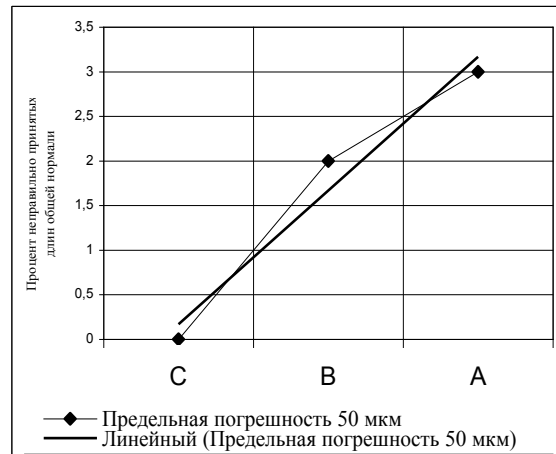


Рис. 5. Зависимость процента неправильно принятых длин общей нормали для 9 степени точности при различных видах сопряжений

ВПЛИВ РОЗШИРЕНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ НА РИЗИКИ ЗАМОВНИКА ТА ВИРОБНИКА ПРИ ВИМІРЮВАННІ ДОВЖИНИ СПІЛЬНОЇ НОРМАЛІ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА

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, істинне значення, оцінка придатності по двохбальній шкалі, різні дійсна похибка вимірювань при використанні вибраного засобу вимірювання, загальний результат виготовлення та вимірювання, відсоток придатних деталей. Методика призначена для навчання магістрів (технологів та метрологів), а також для досліджень.

Ключові слова: зубчасте колесо, довжина спільної нормалі, невизначеність, похибка, відхилення, процент неправильно забракованих виробів.

INFLUENCE OF THE EXPANDED UNCERTAINTY ON RISKS OF THE MANUFACTURER AND THE CUSTOMER AT MEASUREMENT OF LENGTH OF THE GENERAL NORMAL OF THE COGWHEEL

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

The dependence of the risk of manufacturer is certain on the expanded 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 various valid error of measurement 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 length of the common normal, uncertainty, an error, a deviation, the percent of incorrectly discarded wares.