

УДК 621.317+621.753

А.В. Азаров, А.Л. Войчишен, В.И. Корсун, С.Т. Пацера

Национальный горный университет, Днепрпетровск, Украина

МЕТОД СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЛИЯНИЯ РАСШИРЕННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА РИСКИ ЗАКАЗЧИКА И ИЗГОТОВИТЕЛЯ МЕТРИЧЕСКОЙ РЕЗЬБЫ

Предложено имитационное моделирование методом «Монте-Карло». В строках электронной таблицы моделируется процесс изготовления и контроля метрической резьбы болта. В столбцах моделируются: порядковый номер изделия, истинное значение среднего диаметра резьбы, оценка годности изделия по двухбалльной шкале, различная действительная погрешность измерения при использовании выбранного средства измерения, суммарный результат изготовления и измерения, т.е. действительное значение среднего диаметра резьбы, процент годных деталей. На конкретном примере показана зависимость риска изготовителя от величины расширенной неопределенности типа В измерительного средства. Методика предназначена для обучения магистров (технологов и метрологов), а также для исследований.

Ключевые слова: средний диаметр резьбы, неопределенность, погрешность, отклонение, процент неправильно забракованных изделий

Введение

Постановка проблемы. Основные принципы выбора точности средств измерения и контроля, включая анализ влияния погрешности измерения на результаты разбраковки, рассмотрены в работе [1]. Однако при решении конкретных задач возникают методические затруднения в интерпретации формул и графиков применительно к заданным деталям и средствам их измерения.

Анализ последних достижений и публикаций. В работе [2] предложена методика статистического моделирования, которая предусматривает моделирование процесса изготовления и контроля изделий типа вала с помощью электронных таблиц. Однако, указанная методика не распространяется на резьбовые поверхности.

Формулирование цели. В настоящей статье описана разработанная методика, позволяющая осуществить статистическое моделирование процессов изготовления и контроля заданной резьбы.

Изложение основного материала

Поставленная цель достигается применением имитационного моделирования методом «Монте-Карло» и компьютерного генерирования случайных погрешностей. Имитационная электронная таблица включает в себя строки (в каждой из них записаны номера деталей и результаты их изготовления и измерений) и столбцы, в которые заносятся результаты статистического моделирования. Фрагмент таблицы показан в табл. 1.

Количество изделий может быть выбрано любым, но для практических целей обучения наиболее приемлемо от 50 до 100.

В качестве примера контролируемого размера выбран средний диаметр резьбы d_2 , который является ключевым для обеспечения взаимозаменяемости резьбовых деталей. Средний диаметр резьбы d_2 – диаметр воображаемого соосного с резьбой цилиндра, образующая которого пересекает профиль резьбы в точках, где ширина канавки равна половине номинального шага резьбы.

Ниже рассмотрено моделирование для метрической резьбы M24×2-6g. (номинальное значение среднего диаметра резьбы $d_2 = 22,701$ мм, допуск на средний диаметр составляет 170 мкм, верхнее отклонение $es = -38$ мкм, нижнее отклонение $ei = -208$ мкм [3]).

В первом столбце моделируется порядковый номер изделия.

Во втором столбце моделируется истинный размер среднего диаметра, полученный при принятых параметрах точности технологии. Компьютерное моделирование позволяет моделировать истинное значение, что в реальных условиях измерения осуществить невозможно [4, стр. 14]. Для моделирования истинного значения среднего диаметра резьбы использован пакет анализа, входящий состав Microsoft Excel, предназначенный для решения сложных статистических и инженерных задач. Для анализа данных с помощью этих инструментов следует указать входные данные и выбрать параметры. Анализ будет выполнен с помощью подходящей статистической или инженерной макрофункции (в нашем случае инструмент анализа – «Генерация случайных чисел»). При заполнении соответствующего диалогового окна принимаем:

- число переменных 1 (средний диаметр резьбы);

Фрагменти електронної таблиці імітаційного моделювання процесу виготовлення і контролю різьби М24×2-6g (ряд строк не показані для скорочення об'єму таблиці)

Порядковий номер изделия	Істинне значення середнього діаметра $d_{2н}$, мм	Балл годності изделия β_n	Погрешність вимірювання координат профіля різьби для точок, мкм				Погрешність вимірювання середнього діаметра різьби, мкм	Дійсительне значення середнього діаметра різьби $d_{2н}$, мм	Балл годності изделия після вимірювань $\beta_{нд}$	Изделия			
			На правій стороні профіля різьби		На лівій стороні профіля різьби					правильно прийняте	неправильно прийняте	правильно забракованне	неправильно забракованне
			Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4							
№1	22,531	1	-24	49	-4	57	39	22,570	1	1	0	0	0
№2	22,556	1	-80	-26	78	1	-13	22,543	1	1	0	0	0
№8	22,518	1	-19	-82	-33	-42	-87	22,431	0	0	0	0	1
№9	22,586	1	73	12	-14	-97	-13	22,574	1	1	0	0	0
№24	22,464	0	-7	-5	94	-5	39	22,502	1	0	1	0	0
№49	22,476	0	-92	-26	45	50	-11	22,465	0	0	0	1	0
№50	22,577	1	-54	17	-15	46	-3	22,574	1	1	0	0	0
№99	22,560	1	-33	-65	-11	14	-48	22,512	1	1	0	0	0
№100	22,593	1	-35	-68	-76	-24	-101	22,492	0	0	0	0	1
Итого		95							79	77	2	3	18

- число случайных чисел 100 (подразумевается количество изделий, так как каждому изделию ставится в соответствие только одно число – истинное значение среднего диаметра резьбы);

- распределение: нормальное (предполагаем, что нет доминирующих факторов, влияющих на отклонение от среднего значения);

- параметры распределения: среднее значение и стандартное отклонение.

Среднее значение d_2 принято равным середине поля допуска:

$$(d_2)_{cp} = 22,701 + \frac{-0,038 + (-0,208)}{2} = 22,578 \text{ мм} .$$

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

Стандартное отклонение может быть смоделировано для технологических процессов, существенно 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

$$\sigma = \frac{T_{d_2}}{4} + \frac{-0,038 - (-0,208)}{4} = 0,0425 \text{ мм} .$$

Выводным интервалом является столбец 2.

В столбце 3 проводится оценка годности изделия по двухбалльной шкале: годным изделиям присваивается балл $\beta_n = \langle 1 \rangle$, а бракованным соответственно балл $\beta_n = \langle 0 \rangle$. Годными являются изделия, у которых истинное значение среднего диаметра $d_{2н}$ лежит в поле допуска.

Тогда для компьютерного заполнения столбца 3 используется формула

$$\text{ЕСЛИ}(\text{И}(d_{2\max} \geq d_{2н}; d_{2\min} \leq d_{2н}); 1; 0) ,$$

где $d_{2н}$ – истинное значение d_2 ; d_{2max} , d_{2min} – предельные значения d_2 , заданные в допуске на резьбу.

Сумма баллов в столбце 3 (95) отображает процент годных деталей при выбранной для моделирования точности технологии.

В столбцах 4 – 8 имитируется (моделируется) действительная погрешность измерения среднего диаметра резьбы. При измерении среднего диаметра резьбы на приборе типа инструментального микроскопа методика предусматривает измерение координат профиля резьбы в четырех точках профиля резьбы.

Четыре точки на профиле резьбы (показаны на рис. 1) выбираются по соответствующим методическим указаниям для определения среднего диаметра резьбы [5, 6].

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 100,
- распределение равномерное, называемое также прямоугольным (можно также имитировать и другие распределения).

Для осуществления компьютерного моделирования необходимо заполнить окна диалогового окна: «от» и «до». По существу здесь используется расширенная неопределенность U [4, стр. 72] типа В, как интервальная мера неопределенности, взятая из паспорта измерительного средства. Нами для получения искомых зависимостей U моделировалось в широком диапазоне: от ± 100 до ± 5 мкм (в табл. 1 показаны результаты только для $U = \pm 100$ мкм).

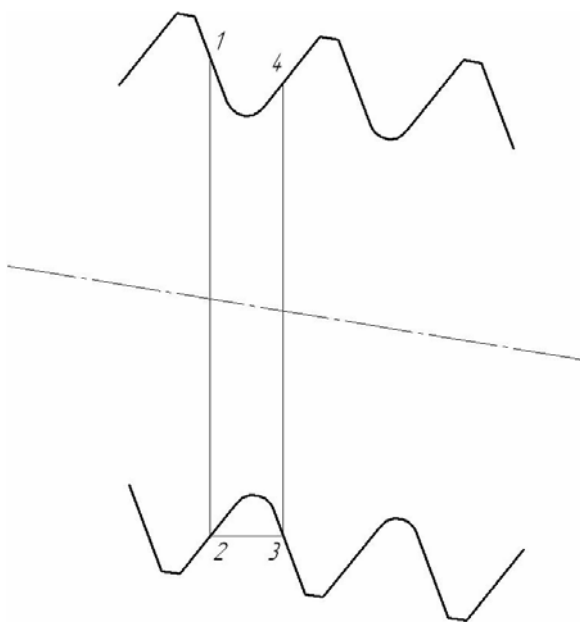


Рис. 1. Схема выбора четырех точек на профиле резьбы для определения среднего диаметра резьбы [5]

При измерении среднего диаметра наружной резьбы может быть применен специальный микрометр со вставками (резьбовый микрометр) или метод трех проволочек. В этом случае столбцы 4 – 8 электронной таблицы должны быть адаптированы к указанным методам.

В столбце 9 отображается суммарный результат изготовления и измерения, т.е. действительное значение $d_{2д}$. Для этого проводим построчное суммирование соответствующих ячеек таблицы.

В столбце 10 проводится оценка годности изделия после измерения по двухбалльной шкале: годным изделиям присваивается балл $\beta_{ид} = \langle 1 \rangle$, а бракованным соответственно балл $\beta_{ид} = \langle 0 \rangle$. Годными являются изделия, у которых действительное значение $d_{2д}$ лежит в поле допуска, балл определяется так же, как и выше по формуле

$$\text{ЕСЛИ}(\text{И}(d_{2max} \geq d_{2д}; d_{2min} \leq d_{2д}); 1; 0),$$

где $d_{2д}$ – действительное значение d_2 .

Сумма баллов (79) в столбце 10 отображает процент годных деталей при данной точности технологии с учетом влияния расширенной неопределенности измерения типа В. Сопоставление суммы баллов в столбцах 3 и 10 наглядно демонстрирует, что погрешность измерения существенно снизила процент годных деталей (в нашем примере на 16%!).

Остается провести анализ для выявления процента неправильно забракованных или процента неправильно принятых деталей.

Правильно забракованные детали должны иметь $\langle 0 \rangle$ бал как в столбце 3, так и в столбце 10. Для подсчета их количества применена формула

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

Неправильно забракованные детали должны иметь $\langle 1 \rangle$ бал в столбце 3, и $\langle 0 \rangle$ бал в столбце 10. Для подсчета их количества применена формула

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

Правильно принятые детали должны иметь $\langle 1 \rangle$ бал как в столбце 3, так и в столбце 6. Для подсчета их количества применена формула

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

Неправильно принятые детали должны иметь $\langle 0 \rangle$ бал в столбце 3, и $\langle 1 \rangle$ бал в столбце 6. Для подсчета их количества применена формула

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

Сумма баллов (77, 2, 3, 18) в столбцах 11 – 14 отображает соответственно процент правильно принятых, неправильно принятых, правильно забракованных, неправильно забракованных деталей.

На рис. 2 показана полученная зависимость влияния расширенной неопределенности типа В на процент неправильно забракованных резьбовых деталей. Процент неправильно забракованных деталей называют риском изготовителя, а процент неправильно принятых деталей – риском заказчика.

Выводы

В результате применения предложенной методики статистического моделирования получена возможность изучения влияния расширенной неопределенности второго рода типа В на процент неправильно принятых и неправильно забракованных деталей. Методика позволяет проследить процесс пошагово с выяснением причин результатов разбраковки, что объясняется применением ситуационного подхода к моделированию.



Рис. 2. Зависимость процента неправильно забракованных деталей с резьбой от величины расширенной неопределенности типа В

Получаемые в результате зависимости могут отражать различные законы распределения и уровни настроенности и точности технологических процессов, а также различные метрологические свойства измерительных средств. Предлагаемая методика прошла апробирование при выполнении индивидуальных

заданий учащимися, и при этом отмечалось ее положительное влияние на усвоение излагаемого материала.

Возможно применение рассмотренного метода в технико-экономических обоснованиях или в бизнес-планах, касающихся создания современных автоматизированных измерительных систем.

Список литературы

1. Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении / Б.С. Балакишин и др. – М.: Машиностроение, 1972. – 615 с.
2. 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 // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: XV ПС, 2006. – Вип. 7 (56). – С. 67-71.
3. Допуски и посадки. Справочник. В 2-х ч. / В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – Ч. 2. – 448 с.
4. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях: учеб. пособие / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Х.: Консум, 2002. – 256 с.
5. Еноктаева Л.И. Измерение параметров наружной резьбы: Лабораторный практикум по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» / Л.И. Еноктаева, М.А. Мельчаков. – Киров: ВГТУ, 2005. – 20 с.
6. Измерение и контроль геометрических параметров деталей машин и приборов: учебное пособие / Г.Р. Муслима, Ю.Р. Правиков; под общей ред. Л.В. Худобина. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 220 с.

Поступила в редколлегию 8.07.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.П. Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники. Харьков.

МЕТОД СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ВИВЧЕННІ ВПЛИВУ РОЗШИРЕНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ НА РИЗИКИ ЗАМОВНИКА ТА ВИРОБНИКА МЕТРИЧНОЇ НАРІЗІ

О.В. Азаров, О.Л. Войчишен, В.И. Корсун, С.Т. Пацера

Запропоновано імітаційне моделювання методом «Монте-Карло». В строчках електронної таблиці моделюється процес виготовлення і контролю метричної нарізи бовта. В стовбцях моделюються: порядковий номер виробу, істинне значення середнього діаметру нарізи, оцінка придатності виробу по двоохбальній шкалі, різні дійсні похибки вимірювань при використанні вибраного засобу вимірювання, загальний результат виготовлення та вимірювання, а саме дійсне значення середнього діаметру нарізи, відсоток придатних деталей. На конкретному прикладі показана залежність ризику виробника від величини розширеної невизначеності типу В вимірювального засобу. Методика призначена для навчання магістрів (технологів і метрологів), а також для досліджень.

Ключові слова: середній діаметр нарізи, невизначеність, похибка, відхилення, відсоток неправильно забракованих виробів.

STATISTICAL MODELING METHOD IN RESEARCH INTO THE INFLUENCE EXPANDED UNCERTAINTY ON THE RISK OF THE CUSTOMER AND THE MANUFACTURER OF A METRIC THREAD

A.V. Azarov, A.L. Voitchishen, V.I. Korsun, S.T. Patsera

Imitating modeling according to the method of Monte Carlo is offered. In lines of a spreadsheet process of manufacturing and the control of a metric thread of a bolt is modeled. In columns are modeled: the serial number of a product, the true amount of the average diameter of a thread, the estimation of the conformance of a product on a two-point scale, the various valid error of measurement at use of the chosen gauge, the total result of manufacturing and measurement, i.e. the valid amount of the average diameter of a thread, the percent of conformance details. By the concrete example dependence of the risk of the manufacturer on size of the extended indefinite form of type B measuring instrument is shown. The technique is intended for training of masters (technologists and metrologists), and also for researches.

Keywords: the average diameter of a thread, an indefinite form, an error, a deviation, the percent of incorrectly discarded goods.