

С.Т. Пацера, В.И. Корсун, С.С. Курдюков

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСШИРЕННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВТОРОГО РОДА НА РИСКИ ИЗГОТОВИТЕЛЯ И ЗАКАЗЧИКА МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*В строках электронной таблицы моделируется процесс изготовления и контроля изделий (валов). В столбцах моделируются: наименование и порядковый номер изделия, истинное отклонение от номинального размера, оценка годности изделия по двухбалльной шкале, действительная погрешность измерения при использовании выбранного средства измерения, суммарный результат изготовления и измерения, т.е. действительное отклонение от номинального значения, процент годных деталей. На конкретном примере показано, что величина расширенной неопределенности типа В измерительного инструмента при переходе от микрометра к индикаторной скобе снижает риск изготовителя в 15 раз. Методика предназначена для обучения магистров технологов и метрологов, а также для исследований.*

**измерение, неопределенность, погрешность, отклонение, моделирование, процент неправильно забракованных изделий**

Основные принципы выбора точности средств измерений и контроля изучены, описаны и обоснованы в научной литературе и оговорены в стандартах. При этом вероятность приемки бракованных деталей или забракования годных деталей вычисляется при помощи интегралов типа [1, с. 572]:

$$m = 2 \int_x^{x=\infty} \frac{1}{\sigma_{\text{тех}} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-(\delta_{\text{из}} + x)^2 / (2\sigma_{\text{тех}}^2)\right) \times \\ \times \left( \int_{-\infty}^{-x} \frac{1}{\sigma_{\text{тех}} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-x^2 / (2\sigma_{\text{тех}}^2)\right) dx \right) dx.$$

Попытки воспроизвести вычисления и изложить учащимся суть указанной зависимости представляет большие трудности.

Требуется методика, позволяющая упростить описание вероятностно-статистических процессов изготовления и контроля изделий без ущерба в точности расчетов.

Поставленная цель достигается применением имитационного моделирования методом «Монте Карло» и программы Microsoft Excel. Имитационная таблица включает в себя строки (в каждой из них записаны номера деталей и результаты из изготовления и измерений) и столбцы, в которые заносятся результаты статистического моделирования. Фрагмент таблицы показан ниже (табл. 1).

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

В качестве контролируемого размера (параметра) может быть размер, электрический параметр и др. Нами выбран размер, к которому предъявляются высокие требования к точности выполнения. Например, для вала редуктора это может быть шей-

ка вала  $\varnothing 100$  к6. Допуск на размер составляет 22 мкм, верхнее отклонение  $es = 25$  мкм, нижнее отклонение  $ei = 3$  мкм.

В первом столбце моделируется наименование и порядковый номер изделия.

Во втором столбце моделируется истинный размер (конкретно – отклонение от номинального значения), полученный при принятых параметрах точности технологии. Компьютерное моделирование позволяет принять условие, что истинное значение будет иметь значение, указанное в ячейке, чего нет возможности осуществить в реальных условиях измерения [2, стр. 14]. Для моделирования истинного отклонения от номинального значения 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 (от одного изделия к другому изменяется только истинное отклонение от номинального значения);
- число случайных чисел: 100 (подразумевается количество изделий, так как каждому изделию ставится в соответствие только одно число – истинное отклонение от номинального значения);
- распределение: нормальное. Предполагаем, что нет доминирующих факторов, влияющих на отклонение от номинального значения;
- параметры распределения среднее и стандартное отклонение.

Фрагменти електронної таблиці імітаційного моделювання процесу виготовлення і контролю валів Ø100к6 (ряд строк не показан для скорочення об'єму таблиці)

Номера столбцов									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Порядковый номер изделия	Истинное отклонение от номинального значения, мкм	Оценка годности изделия	Погрешность измерения микрометром, мкм	Действительное отклонение от номинального значения, мкм	Оценка годности изделия с учетом влияния погрешности измерения	Правильно забракованные детали	Неправильно забракованные детали	Правильно принятые детали	Неправильно принятые детали
Вал №1	14	1	-2	12	1	0	0	1	0
Вал №5	26	0	8	33	0	1	0	0	0
Вал №6	14	1	9	23	1	0	0	1	0
Вал №7	8	1	-10	-2	0	0	1	0	0
Вал №8	24	1	-2	22	1	0	0	1	0
Вал №13	11	1	-9	2	0	0	1	0	0
Вал №14	27	0	-7	20	1	0	0	0	1
Вал №31	17	1	9	26	0	0	1	0	0
Вал №32	9	1	-9	0	0	0	1	0	0
Вал №33	19	1	4	24	1	0	0	1	0
Вал №40	21	1	6	26	0	0	1	0	0
Вал №41	16	1	-9	7	1	0	0	1	0
Вал №42	8	1	-6	2	0	0	1	0	0
Вал №47	13	1	-3	10	1	0	0	1	0
Вал №48	20	1	10	29	0	0	1	0	0
Вал №49	4	1	-9	-6	0	0	1	0	0
Вал №58	7	1	4	12	1	0	0	1	0
Вал №59	25	0	-8	17	1	0	0	0	1
Вал №60	14	1	-7	7	1	0	0	1	0
Вал №62	10	1	3	12	1	0	0	1	0
Вал №63	5	1	-7	-2	0	0	1	0	0
Вал №71	22	1	1	23	1	0	0	1	0
Вал №73	17	1	6	23	1	0	0	1	0
Вал №75	19	1	-6	12	1	0	0	1	0
Вал №76	20	1	7	28	0	0	1	0	0
Вал №80	18	1	5	22	1	0	0	1	0
Вал №81	19	1	10	29	0	0	1	0	0
Вал №82	10	1	9	18	1	0	0	1	0
Вал №83	28	0	8	36	0	1	0	0	0
Вал №84	17	1	1	18	1	0	0	1	0
Вал №89	11	1	-9	1	0	0	1	0	0
Вал №93	11	1	2	13	1	0	0	1	0
Вал №94	7	1	-7	0	0	0	1	0	0
Вал №98	10	1	-6	5	1	0	0	1	0
Вал №99	6	1	-3	2	0	0	1	0	0
Вал №100	24	1	-3	21	1	0	0	1	0
Итого		96		Итого	83	2	15	81	2

Среднее значение отклонения принято равным середине поля допуска, т.е. предполагается высокий уровень настроенности технологического процесса (может также моделироваться низкий уровень настроенности).

Конкретно в нашем примере

$$e_{cp} = \frac{es + ei}{2} = \frac{25 + 3}{2} = 14 \text{ мкм} .$$

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 и при этом стандартное отклонение принято равным

$$Td/4 = 22/4 = 5,5 \text{ мкм.}$$

Выводным интервалом является столбец 2.

В столбце 3 проводится оценка годности изделия по двухбалльной шкале: годным изделиям присваивается балл  $\beta_{и} = \langle 1 \rangle$ , а бракованным соответственно балл  $\beta_{и} = \langle 0 \rangle$ . Годными являются изделия у которых истинное отклонение лежит в поле допуска. Тогда для компьютерного заполнения столбца 3 используется формула

$$\text{ЕСЛИ}(\text{И}(e_i \geq ei; e_i \leq es); 1; 0),$$

где  $e_i$  – истинное отклонение от номинального положения.

Сумма баллов в столбце 2 (96) отображает процент годных деталей при данной точности технологии.

В столбце 4 имитируется (моделируется) действительная погрешность измерения при использовании выбранного средства измерения (штангенциркуль, микрометр, скоба индикаторная и т.д.) 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 (прямоугольное), можно имитировать и другие распределения.

Для осуществления компьютерного моделирования необходимо заполнить окна диалогового окна: «от» и «до». По существу здесь используется расширенная неопределенность  $U$  [2, стр. 72] типа **B**, как интервальная мера неопределенности, взятая из паспорта микрометра (в нашем примере  $U \pm 10$  мкм).

В столбце 5 имитируется суммарный результат изготовления и измерения, т.е. действительное отклонение от номинального значения. Для этого проводим построчное суммирование соответствующих ячеек таблицы.

В столбце 6 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 истинное отклонение лежит в поле допуска, балл определяется также, как и выше, по формуле:

$$\text{ЕСЛИ}(\text{И}(e_{ид} \geq ei; e_{ид} \leq es); 1; 0),$$

где  $e_{ид}$  – действительное отклонение от номинального положения.

Сумма баллов (83) в столбце 6 отображает процент годных деталей при данной точности технологии с учетом влияния расширенной неопределенности измерения типа **B**.

Сопоставление суммы баллов в столбцах 2 и 6 наглядно демонстрирует, что погрешность измере-

ния существенно снизила процент годных деталей (в нашем примере на 13%)!

Остается провести анализ для выявления процента правильно забракованных и процента неправильно принятых деталей.

Правильно забракованные детали должны иметь «0» бал как в столбце 3, так и в столбце 6. Для подсчета их количества применена формула

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

Неправильно забракованные детали должны иметь «1» бал в столбце 3, и «0» бал в столбце 6. Для подсчета их количества применена формула

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

Правильно принятые детали должны иметь «1» 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 «0» бал в столбце 3, и «1» бал в столбце 6. Для подсчета их количества применена формула

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

Сумма баллов (2, 15, 81, 2) в столбцах 7, 8, 9, 10 отображает соответственно процент правильно забракованных, неправильно забракованных, правильно принятых и неправильно принятых деталей. Сопоставление суммы баллов в указанных столбцах наглядно демонстрирует, что погрешность измерения существенно влияет на количество неправильно забракованных деталей (рис. 1).

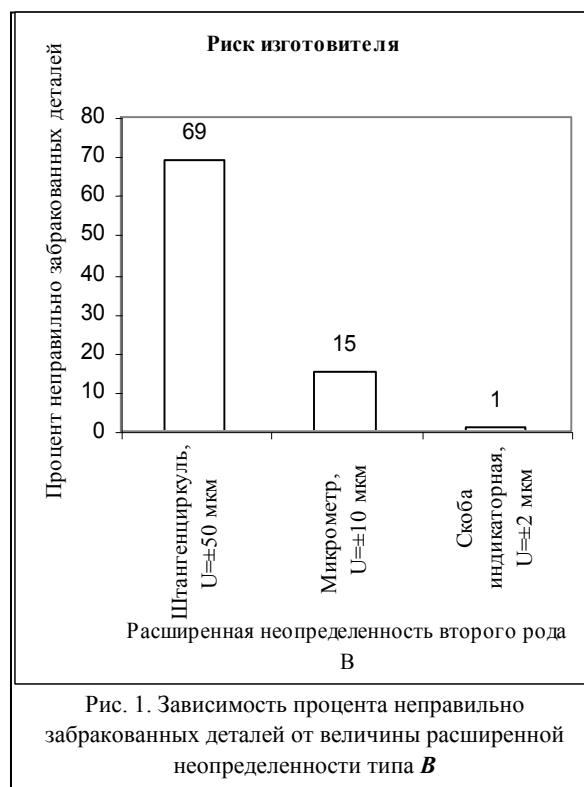


Рис. 1. Зависимость процента неправильно забракованных деталей от величины расширенной неопределенности типа **B**

Процент неправильно забракованных деталей называют риском изготовителя, а процент неправильно принятых деталей – риском заказчика.

Из приведенного примера следует, что в данном конкретном случае изготовитель должен быть заинтересован применить измерительный прибор с меньшей расширенной неопределенностью второго рода, например, индикаторную скобу с ценой деления 2 мкм.

Повторное компьютерное моделирование при новом значении ( $U = \pm 2$  мкм) расширенной неопределенности типа **B** показало снижение количества неправильно забракованных деталей до 1%.

Предлагаемая методика прошла многолетнее апробирование при выполнении индивидуальных заданий студентами технологических и метрологических специальностей и подтвердила достаточно высокий уровень понимания и усвоения влияния

выбора точности средств измерений на эффективность производства.

В перспективе возможно применение рассмотренного метода при технико-экономических обоснованиях или бизнес-планах создания современных измерительных систем.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении / Б.С. Балакшин и др. – М.: «Машиностроение», 1972. – 326 с.
2. Захаров И.П., Кукиш В.Д. Теория неопределенности в измерениях: Учебн. пособие. – Х.: Консум, 2002. – 240 с.

*Поступила 31.03.2006*

**Рецензент:** д-р. техн. наук, проф. И.В. Руженцев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники.