



## ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ДОСТОВЕРНОСТЬ — ОБЪЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА КОНТРОЛЯ

С. М. МАЕВСКИЙ

*Приведена методика определения достоверности контроля и показаны её недостатки для случая контроля (разбраковки) при вероятности ошибки контроля, близкой к вероятности нормы на параметр контроля. Показано, что при таких соотношениях вероятностей ошибки контроля и нормы на параметр контроля параметры, отвечающие норме, в значительной степени заменяются браковочными, в то же время определяемая достоверность сохраняет допустимую вероятность. Предложена новая формула оценки качества выполненного контроля, названная относительной достоверностью контроля, которая не имеет названных выше недостатков.*

*The paper presents the procedure for determination of testing validity and reveals its disadvantages for the case of control (rejection) at control error probability close to normal probability for control parameter. It is shown that at such relationships of control error and normal probabilities for control parameter, the parameters corresponding to the norm are replaced by reject parameters to a great extent, whereas the determined validity preserves its admissible probability. A new formula is proposed for assessment of the quality of the performed control, which was called relative validity of control, which is devoid of the above drawbacks.*

Контроль как метод преобразования информации обязательно предусматривает выполнение двух последовательных действий: измерение значения параметра и по результату измерения — отнесения его к таковому, что отвечает установленной норме на этот параметр или наоборот — не отвечает. Оценкой качества выполнения контроля есть достоверность  $R$ , определяемая следующим образом [1, 2]:

$$R = 1 - P_{\text{ош}} \quad (1)$$

где  $P_{\text{ош}}$  — оценка ошибки контроля, которая представляется совместной плотностью вероятности зависимых оценок: ошибок первого и второго рода:

$$P_{\text{ош}} = P_1 + P_2. \quad (2)$$

Для определения оценок ошибок контроля необходимо знать закон распределения плотности вероятности параметра контроля, а также погрешности измерения параметра контроля. Последнее определяется путем метрологического анализа тракта измерения системы или прибора, с помощью которого выполняется контроль [3]. При этом погрешности измерения параметра контроля должны быть представлены отдельно систематическими  $\Delta_i$  и вероятностными  $\sigma_j$  составляющими, для которых суммарные значения представляются следующими выражениями:

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \Delta_{c,i}, \quad \sigma = \sqrt{\sum_{j=1}^m \sigma_j^2}. \quad (3)$$

Согласно этому выражению составляющие систематических погрешностей измерения параметра прибавляются, а суммарное среднеквадратичное отклонение вероятностных погрешностей измерения находим как корень квадратный суммарной дисперсии вероятностных погрешностей. Представляя ряд среднеквадратичных отклонений вероятностных погрешностей как ряд случайных чисел, распределенных по нормальному закону, определяем предельное значение суммарной возможной погрешности  $\pm \delta$  по так называемому закону трех сигм для нормального закона распределения [4]:

$$\pm \delta = \pm 3\sigma = \pm 3 \sqrt{\sum_{j=1}^m \sigma_j^2}. \quad (4)$$

Тогда суммарную погрешность измерения представим следующей суммой:

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta_{c,i} \pm 3 \sqrt{\sum_{j=1}^m \sigma_j^2}. \quad (5)$$

Выполняя наиболее распространенный метод контроля, который условно назовем разбраковкой (отбором из ряда одинаковых наименований параметров контроля, соответствующих установленной норме на этот параметр) используем, как правило, нормальный, реже — прямоугольный законы распределения плотности вероятностей отклонений значений параметров контроля от номинального значения параметра (математического ожидания вероятностных отклонений).

В случае нормального закона плотности вероятности отклонений параметра (рис. 1) максимальные значения этих отклонений ограничиваем, как правило, значениями  $\pm X_{\text{max}}$  на уровне оста-

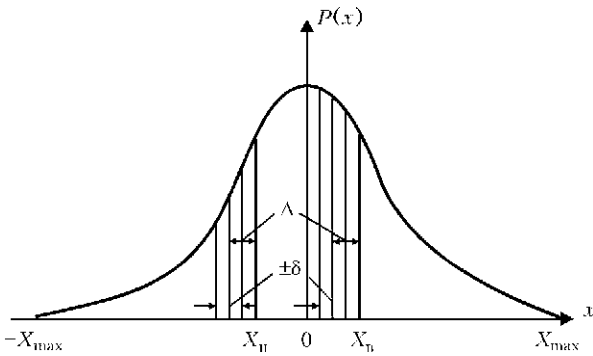


Рис. 1. Определение вероятности ошибок контроля при разбраковке

точной вероятности отклонений, равной 0,997. Тогда среднеквадратичное значение отклонений параметра контроля определяем как  $\sigma = X_{\max}/3$ . Значения параметров контроля, которые удовлетворяют условию  $X_n \leq x \leq X_b$ , являются нормой для этого параметра, а  $x < X_n$  и  $x > X_b$  — бракованные (здесь  $X_n, X_b$  — соответственно значение нижнего и верхнего так называемых браковочных уровней).

Ошибки контроля возникают для тех вероятностных значений параметров контроля, которые являются близкими по значениям к границам нормы (принадлежат зоне риска). Только в этом случае возможно ошибочное отнесение к браку параметров, принадлежащих норме (ошибка первого рода), и наоборот — отнесение бракованных значений параметров к норме (ошибка второго рода).

Если знак суммарной систематической погрешности измерения положительный, то ошибке первого рода отвечает вероятность существования параметров контроля в пределах зоны с границами  $X_b - \Delta \leq x \leq X_b$ . Ошибка второго рода возникает для параметров контроля, которые вероятно принадлежат к значениям  $X_n - \Delta \leq x \leq X_n$ . Совместная оценка вероятностных величин ошибок контроля за счет систематических составных погрешностей измерений параметра контроля для нормального закона распределения отклонений параметра от его номинального уровня равняется сумме этих вероятностных величин (данные вероятности зависимы, так как вероятностный параметр не может одновременно находиться в двух зонах риска):

$$P_{\text{ош}(\Delta)} = P_{1(\Delta)} + P_{2(\Delta)} = \int_{X_n - \Delta}^{X_n} P(x) dx + \int_{X_b}^{X_b - \Delta} P(x) dx, \quad (6)$$

где  $P(x) = \frac{\exp(-x^2/2\sigma_{\text{пар}}^2)}{\sigma_{\text{пар}} \sqrt{2\pi}}$ .

При определении ошибок контроля за счет существования суммарной вероятностной погрешности измерения параметров контроля необходимо учитывать совместную вероятность двух независимых вероятностей — знака случайной по-

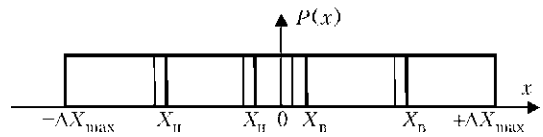


Рис. 2. К объяснению недостатка достоверности как оценки качества контроля  $P(x) = 1/2X_{\max}$

решности и вероятность параметров контроля, измерение которых приводит к ошибкам контроля. Совместная вероятность ошибок первого и второго рода за счет существования вероятностных погрешностей измерений составляет:

$$P_{\text{ош}(\pm\delta)} = P_{1(\pm\delta)} + P_{2(\pm\delta)} = \left( \int_{X_n - \Delta}^{X_n - \Delta + \delta} P(x) dx + \int_{X_b - \delta - \Delta}^{X_b - \Delta} P(x) dx \right) + \left( \int_{X_n - \Delta - \delta}^{X_n - \Delta} P(x) dx + \int_{X_b - \delta}^{X_b - \Delta + \delta} P(x) dx \right). \quad (7)$$

Общую ошибку контроля как совместную вероятность ошибок за счет систематической и вероятностной погрешностей измерения параметра контроля представим в виде:

$$P_{\text{ош}} = P_{\text{ош}(\Delta)} + P_{\text{ош}(\delta)}. \quad (8)$$

По определенной вероятностной оценке ошибки контроля находим вероятностную оценку достоверности контроля:

$$R = 1 - P_{\text{ош}(\Delta)} - P_{\text{ош}(\delta)}. \quad (9)$$

Описанное выше является классической методикой определения достоверности контроля [1, 5]. Определенная таким образом достоверность действительно оценивает качество выполнения контроля в случае, если вероятностная ошибка контроля незначительна в сравнении с вероятностью значений параметров контроля, которые отвечают заданной норме. Тем не менее ситуация резко меняется в случае уменьшения диапазона значений параметров контроля, которые отвечают норме, при неизменной погрешности измерения значений параметра контроля. Это можно показать на примере прямоугольного закона распределения плотности вероятности отклонений параметров контроля от его номинального значения.

Рассмотрим реализацию практической задачи контроля (отбраковки). Из большого количества аналогичных изделий с известным номинальным значением определенного параметра  $X_{\text{ном}} = 1000$  и прямоугольным симметричным законом плотности вероятности отклонений этого параметра в пределах  $\pm \Delta X_{\max} = \pm 500$  отобрать изделия с от-

клонением параметра контроля в пределах  $\pm 20$ ,  $\pm 10$  и  $\pm 5$  %. Пусть систематическая погрешность измерения составляет 2, 1 и 0,5 % от номинального значения  $X_{\text{ном}}$ , которое в единицах отклонения параметров контроля составляет 20, 10 и 5.

Достоверность контроля, определенная по формуле (1), в зависимости от вероятности нормы на контролируемый параметр будет соответственно равна: 0,96, 0,98 и 0,99.

Понятно, что данная формула определения достоверности контроля практически не отображает фактических потерь нормированных значений параметра при различных процентах вероятности нормы на параметр контроля. Для того, чтобы достоверность контроля полностью отображала качество выполненного контроля, автором предложено определять относительную достоверность  $R_0$  по зависимости [5]:

$$R_0 = 1 - \frac{P_{\text{ош}}}{P_{\text{норм}}}, \quad 0 \leq R_0 \leq 1, \quad (10)$$

где  $P_{\text{норм}}$  — вероятность нормы на параметр контроля.

На рис. 3 показаны результаты расчетов относительной достоверности контроля для разных значений вероятности нормы на контролируемый параметр, заданных в процентах. Комментируя приведенные данные, можем сделать вывод, что относительная достоверность контроля полностью оценивает качество выполненного контроля, а также потери нормированных значений параметра за счет ошибок первого и второго рода в зависимости от точности измерения параметра контроля.

Ошибка контроля второго рода (пропуск дефекта) несет значительно больший ущерб, чем ошибка первого рода. На основании этого формулу для определения относительной достоверности контроля (10) можем усилить, введя коэффициент  $k > 1$  для ошибки контроля второго рода.

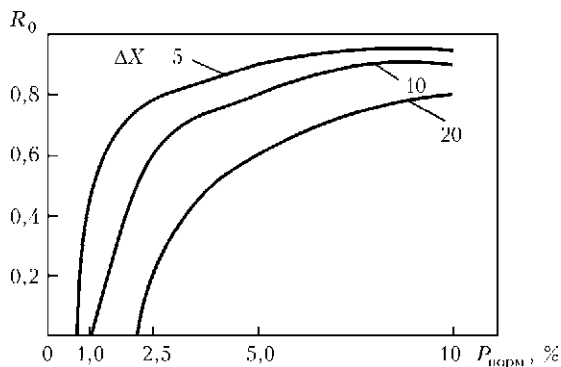


Рис. 3. Зависимость оценки относительной достоверности контроля отклонений параметра относительно границ нормы и погрешности измерения (номинальное значение параметра контроля — 1000, закон распределения плотности вероятности отклонений параметра от номинального значения — прямоугольный, максимальные отклонения параметра  $\pm 500$ )

Индексация ошибки второго рода приводит к уменьшению относительной достоверности контроля, что является дополнительным сигналом для повышения точности измерения параметров контроля.

Относительная достоверность контроля может с таким же успехом использоваться для оценки качества неразрушающего контроля дефектов внутренней структуры материалов конструкций. Отличие состоит в том, что параметром контроля является размер вероятного дефекта внутренней структуры материалов. Для оценки достоверности контроля параметров дефектов используем закон распределения плотности вероятности модуля нормальной величины (рис. 4).

При реализации контроля качества внутренней структуры материалов элементов конструкций устанавливается один браковочный уровень, который отвечает исходному сигналу дефектоскопа пропорциональному допустимому эквивалентному размеру неоднородности. Определив суммарную систематическую  $\Delta$  и предельную вероятностную  $\pm \delta$  погрешности измерения параметра контроля, рассчитываем оценки ошибок первого и второго родов по описанной выше процедуре для отклонений параметра контроля, приближенных к браковочному уровню  $X_{\text{бр}}$ :

$$P_{\text{ош}} = P_1 + P_2 = \left( \int_{X_{\text{бр}} - \Delta}^{X_{\text{бр}}} P(x) dx + 0,5 \int_{X_{\text{бр}} - \Delta}^{X_{\text{бр}} - \Delta - \delta} P(x) dx \right) + \int_{X_{\text{бр}} - \Delta}^{X_{\text{бр}} - \Delta + \delta} P(x) dx. \quad (11)$$

Максимальным отклонением параметра контроля в случае контроля состояния внутренней структуры материалов будем считать сигнал, который отвечает максимальному размеру дефекта,

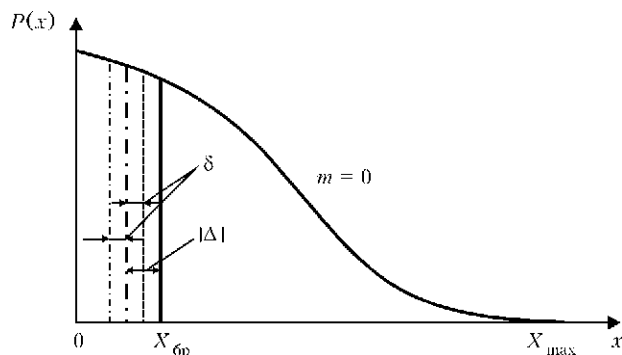


Рис. 4. Определение оценок ошибок неразрушающего контроля  $(P(x) = \frac{\exp(-x^2/2\sigma^2)}{\sigma\sqrt{2\pi}})$



измеренного с помощью преобразователя дефектоскопа. Например, величина неоднородности материала приблизительно равна диаметру преобразователя дефектоскопа для случая акустического контроля материала детали конструкции.

Разработчики современных дефектоскопов независимо от метода неразрушающего контроля, реализованного в дефектоскопе, добиваются максимальной разрешающей способности, постоянно снижая таким образом браковочный уровень. В результате высокая достоверность контроля, определенная как  $R = 1 - P_{\text{ош}}$ , не несет, как было сказано выше, информации о фактическом качестве контроля. Даже небольшое значение оценки ошибки контроля при относительно узкой зоне нормы на параметр контроля приводит к неверному результату контроля, несмотря на высокую достоверность контроля, определенную по формуле (1).

И в этом случае использование предложенной формулы (10) для оценки качества контроля через относительную достоверность контроля дает возможность избежать недостатков традиционного способа определения достоверности и объективно оценить результат контроля.

### Вывод

Относительная оценка достоверности контроля является объективной оценкой качества контроля, которая полностью отображает фактические потери контроля за счет ошибок контроля первого и второго рода.

На сегодня отсутствуют четкие стандарты и критерии для оценки качества контрольных операций, которые выполняются как в технических областях, так и в других направлениях деятельности человека.

Относительная достоверность и методика ее определения могли бы составить основу такого стандарта.

1. Орнатский П. П. Теоретические основы информационной техники. — Киев: Выш. шк., 1983. — 455 с.
2. Papadakis E. P. Inspection Based on Cost Averted // Materials Evaluation. — 1992. — 50, № 6. — P. 774–776.
3. Дунаев Б. Б. Точность измерений при контроле качества. — Киев: Техника, 1981. — 152 с.
4. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. — М.: Сов. радио, 1965. — 597 с.
5. Маевский С. М. Анализ достоверности контроля / Методы и приборы контроля качества. — 2005. — Вып. 13. — С. 29–32.

Нац. техн. ун-т Украины «Киев. политех. ин-т»

Поступила в редакцию  
1.07.2009



Российское общество  
по неразрушающему контролю  
и технической диагностике

EF European Federation for  
Non-Destructive Testing  
NDT

## 10-я Европейская конференция по неразрушающему контролю

Москва 2010

7-11 июня

### НК — основа безопасности