

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Проведён анализ методов оценки достоверности неразрушающего контроля и использования вероятностных подходов при оценке его эффективности. Проведён анализ методов оценки выявляемости дефектов, а также характеристик системы неразрушающего контроля с точки зрения возможных ошибок.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, дефект, достоверность, вероятность.

V.I. Ivanov, N.N. Kononov, A.N. Dergachev

UTILIZATION OF PROBABILISTIC APPROACHES IN EVALUATING EFFICIENCY OF NON-DESTRUCTIVE TESTING

The analysis of methods for assessing the reliability of non-destructive testing and utilization of probabilistic approaches in evaluating its efficiency. Methods, evaluating probability of detection of imperfections and characteristics of system of non-destructive testing are analyzed in the context of probable mistakes.

Key words: non-destructive testing, imperfection, accuracy, probability.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 25 сентября 2014 г.

Любой метод *неразрушающего контроля (НК)* может считаться современным только в том случае, если для него установлен ряд параметров, позволяющих оценить возможности контроля с вероятностной точки зрения. Важнейшим среди этих параметров является *достоверность контроля* – вероятность принятия безошибочных решений по результатам НК. Именно достоверность контроля является основным показателем эффективности контроля.

Ещё в 70-е годы прошлого столетия были предложены матрицы оценки достоверности, где метод неразрушающего контроля сравнивается с образцовым методом (как правило, это вскрытие швов) [1, 2]. Построение матрицы достоверности позволяет учитывать возможные ошибки при разделении дефектов на годные и негодные, что позволяет оценить вероятность ошибки с позиций перебраковки и недобраковки. Использование показателей достоверности позволяет оценить выгодность применения многократного контроля с использованием одного метода либо повышение достоверности выявления дефектов с использованием нескольких методов неразрушающего контроля [3, 4].

Для определения показателей достоверности контроля необходимо оценить значения возможных ошибок контроля. Ошибка 1-го рода: *риск поставщика* (перебраковка). *Перебраковка* означает, что объект признают бракованным в случае, когда параметры найденных дефектов не выходят за рамки допустимых. Ошибка 2-го рода: *риск потребителя* (недобраковка). *Недобраковка* возникает в том случае, если дефект признается допустимым, при том, что его

параметры превышают установленные нормы. Таким образом, построение матрицы оценки достоверности является эффективным при разбраковке изделий с использованием норм допустимости.

Самым простым методом повышения результатов достоверности контроля является увеличение числа проверок. Тогда, вероятность выявления дефекта будет меняться по формуле:

$$P = 1 - (1 - P_n)^m,$$

где P_n – **вероятность выявления дефекта** по результатам одного контроля; m – количество проверок.

Или вероятность "пропустить" дефект: $P = 1 - (1 - P_n)^m$.

Таким образом, увеличивая количество диагностик того или иного технического устройства, можно добиться необходимой достоверности контроля. Однако, не будем забывать, что каждое диагностирование требует определенных материальных затрат, поэтому проведение слишком большого числа проверок не будет экономически оправдано. На рис. 1 изображена зависимость материальных затрат от числа диагностик и снижение вероятности "пропуска" дефекта в зависимости от количества проверок.

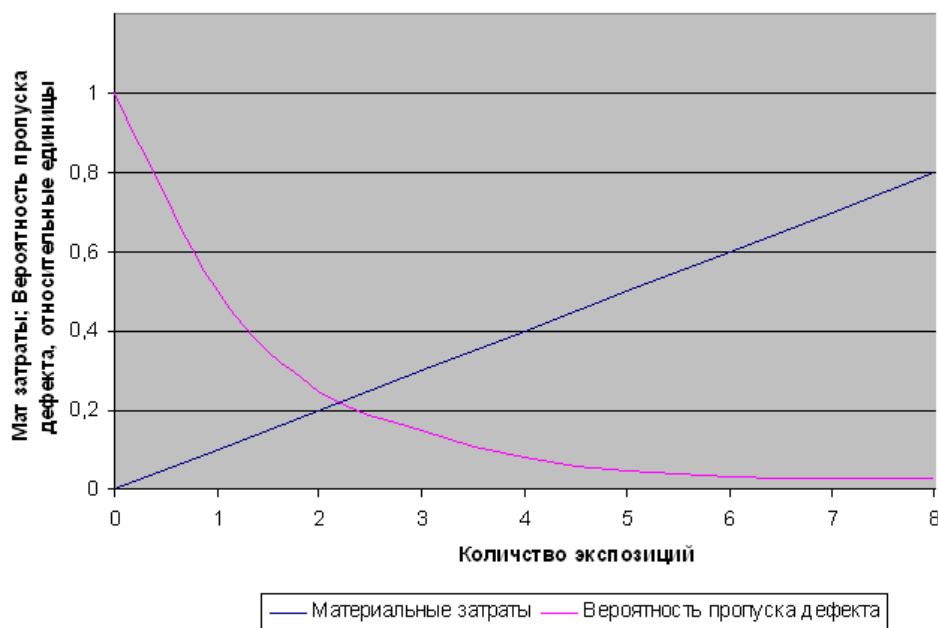


Рис. 1. Соотношение материальных затрат на проведение диагностирования и вероятности пропустить дефект

Здесь, вероятность выявить дефект по результатам одной экспозиции принята равной 0,5. При увеличении числа диагностик достоверность контроля заметно повышается, но растут и материальные затраты. Конечно, с использованием одного лишь увеличения количества проверок невозможно повысить точность дефектоскопии до 100 %, зато вполне можно вывести этот показатель в район 75-85 %.

Задачу оценки возможности выявления дефектов возможно решить с использованием моделирования. Для этого необходимо размещать искусственные дефекты в различных местах в области контроля, что требует значительного числа образцов. Для получения статистически достоверной вероятности обнаружения несплошности, равной 0,9 в 95 % в доверительном интервале, требуется не менее 28 независимых измерений [6]. Накопление такого объема статистических данных требует больших материальных и временных затрат. Это вызвано дороговизной изготовления образцов, арендой лаборатории для проведения дефектоскопии и изломов и т.д. Отсюда следует вывод о целесообразности использования моделирования для определения вероятностных характеристик.

К одной из таких характеристик относится кривая выявляемости дефекта (Probability Of Detection – вероятность выявления) (рис. 2). Кривые POD ориентированы на оценку выявляемости дефектов различного размера и должны быть построены для всех методов неразрушающего контроля, которые обладают возможностью выполнять измерение размеров дефектов. Современная система НК должна обеспечивать вероятность выявления не менее 90 %. При этом доверительная вероятность не должна быть менее 95 % (90/95 POD) [7].

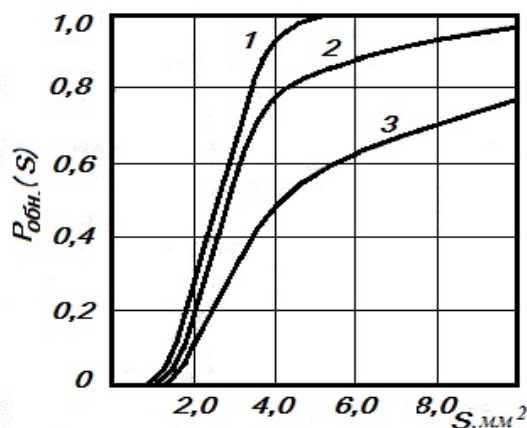


Рис. 2. Пример POD диаграммы, построенной для различных методов НК

Более точное измерение параметров дефектов является одним из решающих факторов безопасной и безаварийной работы потенциально опасных объектов. Регламентация показателей достоверности контроля, определения параметров дефектов и возможности оценки технического состояния контролируемого объекта по результатам выполненного контроля является приоритетной задачей при переходе от традиционной дефектоскопии к **вероятностной дефектометрии**.

На процессы обнаружения дефектов, их разрешения и идентификации принципиальное влияние оказывает параметр "сигнал/шум", определяемый как отношение характерных величин (например, среднеквадратического значения или энергий) сигнала и шума.

Если объект не содержит дефекта, то в процессе контроля может поступать только сигнал шума, при наличии дефекта поступает как шум, так и сигнал от дефекта. При поступлении в прибор только шума оператор может с вероятностью $P_{ш/ш}$ (в радиолокации это называется "вероятностью правильного необнаружения") принять правильное решение о том, что регистрируется шум, но может ошибиться и с вероятностью $P_{с/ш}$ принять шум за сигнал от дефекта (вероятность ложной тревоги или вероятность перебраковки).

При наличии дефекта оператор может с вероятностью $P_{с/с}$ (вероятность правильного обнаружения или попадания) принять правильное решение о наличии дефекта, но с вероятностью $P_{ш/с}$ (вероятность пропуска) может пропустить дефект, приняв сигнал от него за шум, что соответствует **вероятности недобраковки**.

С использованием названных показателей можно построить диаграммы, называемые **рабочими характеристиками приёмника** (в английской транскрипции: **Receiver Operating Characteristic – ROC**), представляющими совокупную диаграмму значений вероятности правильного обнаружения и вероятности ложной тревоги (рис. 3). Таким образом, используя кривые ROC, возможно оценить соотношение верных и ложных показаний дефектов. Практически приемлемыми являются значения $P_{об} \geq 0,8$ и $0,8 \geq P_{п}$.

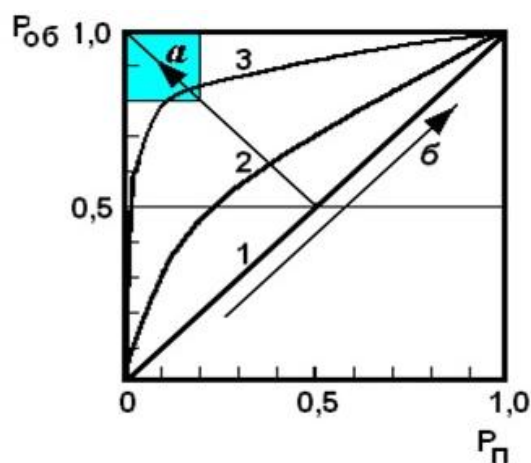


Рис. 3. Рабочая характеристика системы НК, связывающая вероятность обнаружения дефекта ($P_{об}$) и вероятность перебраковки ($P_{п}$)

В дефектометрии важное значение приобретает калибровочная характеристика, устанавливающая соответствие истинного размера дефекта и показания прибора. Данная характеристика определяет также процессы, связанные с поиском дефектов: зону поиска дефектов и область измерения дефектов. На рис. 4 и 6 представлены результаты измерений размеров дефектов при ультразвуковом контроле с использованием традиционной (рис. 4) и экспертной (рис. 5) систем неразрушающего контроля.

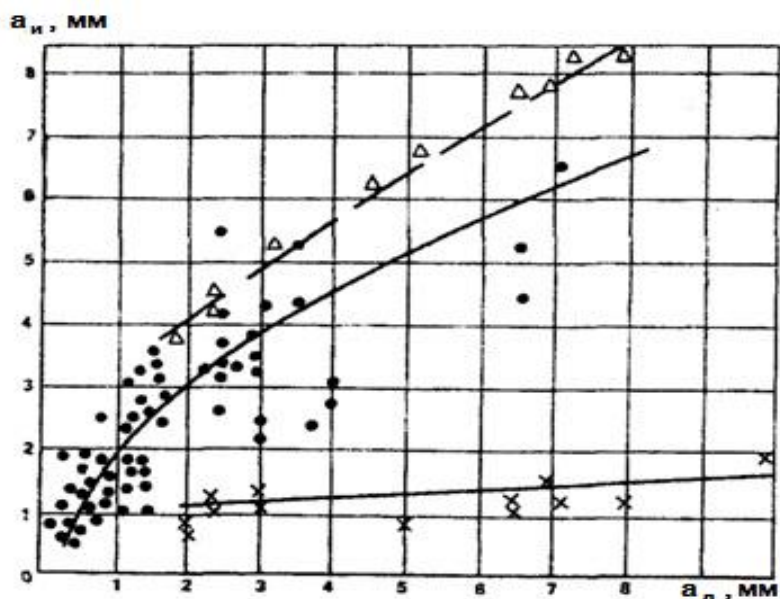


Рис. 4. Результаты измерений размеров дефекта с использованием традиционных УЗ методик [5]

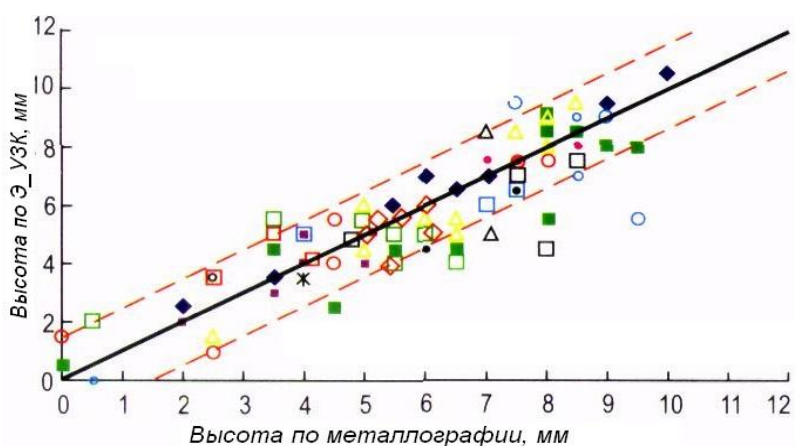


Рис. 5. Результаты измерений размеров дефекта с использованием экспертной УЗ системы [6]

Выводы

Поскольку неразрушающий контроль является элементом системы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов, его результаты должны использоваться более широко, чем до сих пор. Стоит учесть, что процессы обнаружения и измерения параметров дефектов являются вероятностными, в которых следует использовать методы теории случайных процессов. В частности, для анализа результатов НК требуется регламентация следующих параметров.

1. Достоверность контроля – величина, варьирующаяся в зависимости от норм дефектности и позволяющая оценить вероятность правильной разбраковки.

2. Вероятность выявления дефектов – параметр, изменяющийся в зависимости от прибора, контролируемого материала и толщины изделия. Характеризует вероятность выявления дефектов различной величины на различной глубине залегания.

3. Рабочая характеристика системы НК – параметр, зависящий от соотношения сигнал/шум и определяющий соотношение верных и ложных показаний дефектов. В идеале не должен опускаться ниже 80 %.

Перечисленные параметры должны использоваться при оценке работоспособности оборудования и определять требования, предъявляемые к средствам НК.

Литература

1. **Волченко В.Н.** Вероятность и достоверность оценки качества металлоконструкций. М.: Металлургия, 1979. 88 с.

2. **Коновалов Н.Н.** Нормирование дефектов и достоверность неразрушающего контроля сварных соединений. М.: ГУП НТЦ ПБ, 2004. 132 с.

3. **Власов И.Э., Иванов В.И.** О дефектометрических подходах в ультразвуковом контроле. Дефектоскопия. 1998. № 2. С. 41-46.

4. **Иванов В.И., Власов И.Э.** Некоторые проблемы неразрушающего контроля. Дефектоскопия. 2002. № 7. С. 82-93.

5. **Щербинский В.Г.** Технология ультразвукового контроля сварных соединений. М.: Тиссо, 2003. 326 с.

6. **Бадалян В.Г., Вopilкин А.Х.** Мониторинг сварных соединений трубопроводов с использованием систем АУЗК с когерентной обработкой данных // В сб. "Автоматизированный ультразвуковой контроль объектов повышенной опасности. М., С.-Пб.: изд-во "СВЕН", 2010. С. 12-16.

7. **Generazio E.R.** Validating design of experiments for determining probability of detection capability for fracture critical applications // Materials Evaluation. Vol. 69. No 12. Pp 1399-1407.