

1.2. ДОСТОВЕРНОСТЬ КОНТРОЛЯ

Ошибки контроля. Целью контроля в общем случае является оп] деление технического состояния объекта и прогноз его изменения, а также выявление дефектов и определение их характера. В результате должна быть установлена возможность дальнейшей эксплуатации объекта или необходимость его ремонта (восстановления).

Ошибки контроля связаны с достоверностью метода диагностик и ошибками испытаний (измерений).

Применяемые методы диагностики не обеспечивают полной достоверности оценки состояния объекта. Результаты измерений включают в себя ошибки, определяемые погрешностями приборов и влиянием помех. Поэтому всегда существует вероятность получения ложного результата контроля:

исправный объект будет признан негодным (ложный дефект или ошибка первого рода);

неисправный объект будет признан годным (необнаруженный дефект или ошибка второго рода).

Графически формирование результата при таком контроле показано на рис. 1.2, где заштрихованные площади соответствуют вероятностям получения недостоверных результатов (ошибок первого второго рода).

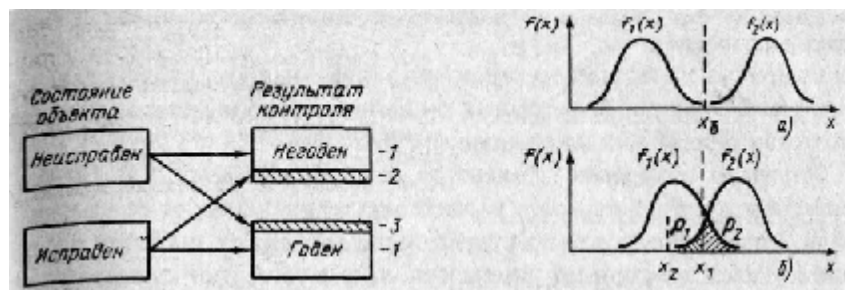


Рис. 1.2. Формирование результата при двухальтернативном контроле:

1 — достоверный результат; 2 — ошибка первого рода (ложный дефект); 3 — ошибка второго рода (необнаруженный дефект)

Рис. 1.3. Возникновение ошибки из-за несовершенства метода контроля

Ошибки контроля приводят к различным последствиям: если ^ошибки первого рода (ложный дефект) только увеличивают объем восстановительных работ, то ошибки второго рода (необнаруженный дефект) влекут за собой аварийное повреждение оборудования.

Достоверность метода диагностики определяется степенью связи технического состояния объекта с отображающими его параметрами. Как правило, эта связь - вероятностная (стохастическая). Кроме того, существует неоднозначность связи значений контролируемых параметров с состоянием объекта при различных видах дефектов. Все это создает ошибки диагностирования, связанные с несовершенством методов контроля.

На рис. 1.3 в качестве примера приведены распределения плотности вероятностей значения некоторого параметра x для двух совокупностей объектов одного вида: не имеющих дефектов $f_1(x)$ и с дефектами $f_2(x)$. Предполагается, что параметр x является прогнозирующим, т. е. имеется достаточно выраженная связь между его значением и вероятностью отказа объекта. В идеальном случае (рис. 1.3, а) по значению параметра x возможна однозначная классификация объектов (годен или негоден), соответствующая их состоянию (исправен или неисправен). Действительные распределения значений параметра x для обеих совокупностей объектов имеют общую зону (рис. 1.3, б). При этом возникают ошибки из-за несовершенства метода диагностики. Для браковочного значения параметра $x_\delta = x_1$ вероятность того, что дефект не будет обнаружен, соответствует площади заштрихованного участка P_1 , а вероятность браковки объектов без дефекта — площади участка P_2 . В этом случае вероятности появления ошибок первого и второго рода взаимосвязаны. Уменьшение числа обнаруженных дефектов обеспечивается снижением браковочной нормы до x_2 , но при этом существенно возрастает ложная браковка.

Повысить достоверность диагноза можно, используя для контроля несколько параметров, характеризующих техническое состояние объекта. Каждый из этих параметров дает информацию об определенной характеристике объекта. Их совокупность обеспечивает повышение вероятности выявления дефектов и возможность более точной оценки их опасности.

Следует указать еще на один источник ошибок диагностирования - использование измеренных значений контролируемых параметров без приведения их к нормальным условиям.

Результаты измерений зависят от условий контроля. Так, например, существует зависимость характеристик изоляции от ее температуры. Температура контакта существенно зависит от значения протекающего тока, а результат измерения, кроме того, и от состояния поверхности. Поэтому для целей диагностирования необходимо результаты измерений привести к одинаковым базовым условиям, к сопоставимому виду.

Эти условия обычно указываются при установлении браковочных нормативов, а в методике измерений должны быть предусмотрены способы приведения результатов к сопоставимому виду (температурный пересчет и т. п.).

Погрешность измерения есть следствие ограниченной точности измерительных устройств (средств измерения), а также погрешностей, вызванных влиянием внешних факторов.

Средство измерений (СИ) обычно состоит из ряда измерительных преобразователей и отсчетного устройства. В ходе преобразований информации возникает погрешность измерения: действительному значению измеряемой величины на входе x соответствует показание отсчетного устройства на выходе y .

Погрешность измерения (абсолютное ее значение $\Delta = y - x$ или относительное $\delta = \Delta/x$) имеет две составляющие – систематическую и случайную. Первая вызывается стабильными причинами и ее можно учесть. Вторая составляющая погрешности вызывается нестабильными факторами и имеет вероятностный характер. В дальнейшем, если это специально не оговаривается, будем учитывать лишь вторую составляющую погрешности, рассматривая ее как случайную величину.

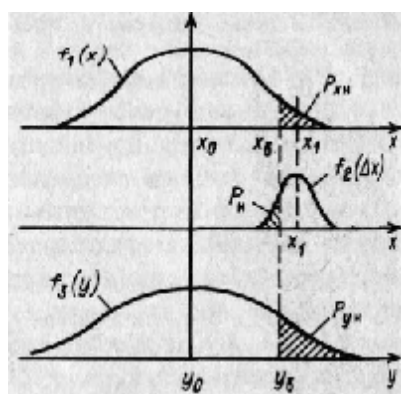


Рис. 1.4. Возникновение ошибки из-за погрешностей измерений:
 $f_1(x)$ — распределение плотности вероятностей значений измеряемого параметра x ; $f_2(\Delta x)$ — распределение плотности вероятностей погрешностей измерения для значения параметра x_1 ;
 $f_3(y)$ — распределение плотности вероятностей результатов измерений

В качестве примера влияния погрешностей измерения на достоверность контроля рассмотрим рис. 1.4, где приведено распределение $f(x)$, включающее в себя параметры всех объектов данного типа (с дефектами и с исправной изоляцией). Контролируется объект со значением параметра x_1 , которое превышает браковочный норматив x_δ , т. е. объект неисправен и должен быть отнесен к числу негодных. Измерение производится с погрешностью, имеющей распределение $f_2(\Delta x)$. Поэтому вместо значения параметра x с нормой будет сравниваться результат измерения y .

Неисправными считаются объекты, параметр которых x находится в зоне P_{xn} , а по результатам контроля негодными будут признаны объекты, значения измеряемого параметра y которых находятся в зоне P . Дефект не будет обнаружен, если измеренное значение y будет меньше браковочного $y_\delta = x_\delta$. На рис. 1.4 вероятность P_n этого события соответствует заштрихованной области под кривой $f_2(\Delta x)$.

Для уменьшения вероятности того, что дефект не будет обнаружен, необходимо увеличивать точность измерения. Однако в тех случаях, когда определяющими становятся погрешность метода или внешние влияния (помехи), высокая точность измерительных устройств не повышает эффективность контроля и лишь усложняет процесс измерений. Считается достаточным, если среднее квадратическое отклонение результатов измерения из-за погрешности СИ s_y не будет превышать одной десятой среднего квадратического отклонения s_x совокупности контролируемых значений параметра.

Ежегодная отбраковка оборудования из-за ухудшения изоляции по определяющему параметру не превышает обычно 1%, т. е. около 99% значений x оказывается ниже браковочного норматива x_b . Исходя из этого оценим в первом приближении необходимую точность эксплуатационных измерений.

Для обычно принимаемого в таких случаях нормального закона распределения 99% значений x соответствуют значению $x_b = 2,33 s_x$, откуда $s_y = 0,1 s_x = 4,3 \cdot 10^{-2} x_b$. Следовательно, достаточная точность в рассматриваемых условиях будет достигнута, если среднее квадратическое отклонение результата измерения в области браковочных значений параметра не будет превышать 4% этого значения. Ориентировочно считают, что наибольшее значение основной погрешности измерительного прибора равно удвоенному среднему квадратическому отклонению результатов измерений. При таком допущении относительная погрешность эксплуатационных измерений контролируемых параметров не должна превышать 8%.

Иногда заводы-изготовители требуют, чтобы значение контролируемого параметра, измеренное при монтаже объекта, было близко к результатам заводского контроля. В этом случае необходима высокая точность измерений, не всегда обеспечиваемая в полевых условиях.

Так, например, при измерении малых значений $\operatorname{tg} \delta$ изоляции мостом P5026 нормированное значение допускаемой погрешности $\Delta_{\text{нб}} = \Delta \operatorname{tg} \delta = 3 \cdot 10^{-3}$. Обычно для изоляции без дефектов $\operatorname{tg} \delta = 5 \cdot 10^{-3}$. Только за счет погрешности моста возможен результат измерения $\operatorname{tg} \delta_{\text{из}} = \Delta \operatorname{tg} \delta + \operatorname{tg} \delta_0 = 1,6 \operatorname{tg} \delta_0$. Поэтому значимым для контроля следует считать лишь результат, превышающий заводские данные более чем на 60%. При более жестких браковочных требованиях будут недопустимо велики ошибки контроля.

Существует еще одна возможность ошибок контроля, вызванных ошибками измерения. При эксплуатационном контроле оборудования важно обнаружить изменение контролируемого параметра. Поэтому существенно, чтобы относительная погрешность измерения не выходила из допустимых пределов. В СИ со стрелочным прибором в качестве отсчетного устройства нормируется приведенная погрешность измерения: $b_{\text{н.п}} = A / x_n$, где x_n - нормирующее значение измеряемой величины, обычно верхний предел шкалы прибора. Относительная погрешность измерения в таких СИ существенно зависит от значения измеряемой величины, ибо $b / b_{\text{н.п}} = x_n / x$.

Поэтому даже при достаточно малой нормированной приведенной погрешности СИ надо проверить относительную погрешность; в начале шкалы она будет в десятки раз больше.

Чувствительность метода измерения. В эксплуатационной практике точность измерения и определяемая ею чувствительность метода, как правило, ограничивается погрешностями из-за влияния внешних факторов - помех. Возможность влияния таких факторов не всегда даже учитывается при конструировании измерительных устройств

Помехи специфичны для каждого вида измерений и поэтому рассмотрение способов снижения погрешностей возможно лишь в соответствующих главах книги. Здесь изложим только общие вопросы. Различают помехи, вызванные паразитными токами в схеме измерений и токами влияния.

Паразитными называются токи, возникающие под действием напряжения измерительной установки и протекающие через ее измерительный элемент, минуя объект измерения. Эти токи протекают по так называемым паразитным связям между источником напряжения измерительной установки и элементами измерительного устройств! (средства измерения), а также по паразитным связям в измерительном устройстве и в объекте.

Токами влияния называются токи, возникающие под действием рабочего напряжения электрической установки, в которой находится контролируемый объект, и протекающие через измерительный элемент измерительного устройства. К ним относятся токи промышленной частоты и ее гармоник, протекающие по электрическим и электромагнитным связям между элементами измерительной установки (включая объект) и оборудованием, находящимся под рабочим напряжением. Кроме того, токи влияния возникают в измерительной установке при наличии разности потенциалов между точками заземления ее элементов.

Известны два направления обеспечения необходимой точности измерений в условиях помех: применение помехоустойчивых измерительных устройств (СИ) и создание схем измерений, обеспечивающих их защиту от влияния помех. Помехоустойчивость СИ определяется их конструкцией. Основные возможности снижения погрешностей - в повышении помехозащищенности схем измерений.

Повышение помехозащищенности заключается в обеспечении на входе СИ наибольшего возможного относительного уровня сигнала информации (увеличение отношения сигнал/помеха). Это достигается соответствующей схемой измерений и экранированием - отведением из измерительных цепей токов помех. Возможна также селекция сигнала, например измерение его на частоте, отличающейся от частоты напряжения помехи (частотная селекция), или в периоды времени, когда помеха минимальна (временная селекция). Однако в этих случаях необходимы соответствующие измерительные устройства.

Другая группа способов основана на исключении погрешности из результатов измерений. Это обеспечивается соответствующей методикой производства измерений и обработки их результатов. В тех случаях, когда имеется возможность накопления достаточного массива информации (например, при автоматизации контроля) снижение погрешности измерения от помех, имеющих случайный характер, производится путем математической обработки результатов измерений. Известно достаточное количество методов статистической обработки данных (усреднение, корреляционный анализ и т. п.), обеспечивающих повышение достоверности измерений.

Чувствительность метода измерения - это наименьшее выявляемое изменение параметра, которое может служить для суждения об изменении характеристик объекта. В простейшем случае задача определения чувствительности сводится к установлению порогового значения параметра x_n , при котором вероятность ошибок контроля первого рода (ложная браковка) не будет превышать заданного допустимого предела.

Погрешности измерений при эксплуатационном контроле определяются в основном остаточным уровнем внешних помех. Следовательно, для определения порога чувствительности метода измерений необходимо установить закон распределения погрешностей измерения и, используя его, вычислить значение x_n , соответствующее допустимой вероятности ошибки первого рода.

Как правило, закон распределения случайных помех близок к нормальному. Если принять, что вероятность ошибки не должна превышать 1 %, значение $x_n = 2,33 s_n$, где s_n — среднее квадратическое отклонение результатов измерений помех. При $x_n = 3 s_n$ вероятность ложной браковки снижается до 0,135 %

Описанная процедура определения порога чувствительности метода измерений дает лишь грубую оценку, так как реальное распределение результатов измерения помех в области крайних членов распределения обычно отличается от нормального. Однако, как правило, полученная оценка порога чувствительности достаточна для практических целей. При необходимости более осторожного прогноза необходимо рассматривать специально распределение крайних (наибольших) членов выборки.