

## Метрологическая надежность средств измерений

### Основные понятия теории метрологической надежности

В процессе эксплуатации метрологические характеристики и параметры СИ претерпевают изменения. Эти изменения приводят к отказам, т.е. к невозможности СИ выполнять свои функции. Отказы делятся на неметрологические и метрологические.

**Неметрологическим** называется отказ, обусловленный причинами, не связанными с изменением метрологических характеристик (МХ) средства измерений. Они носят главным образом явный характер, проявляются внезапно и могут быть обнаружены без проведения поверки.

**Метрологическим** называется отказ, вызванный выходом МХ из установленных допустимых границ. Метрологические отказы происходят значительно чаще, чем неметрологические. Нужны методы их прогнозирования и обнаружения.

Метрологические отказы подразделяются на внезапные и постепенные.

**Внезапным** называется отказ, характеризующийся скачкообразным изменением одной или нескольких МХ. Эти отказы в силу их случайности невозможно прогнозировать. Их последствия (сбой показаний, потеря чувствительности и т.п.) легко обнаруживаются в ходе эксплуатации прибора, т.е. по характеру проявления они являются явными. Для анализа внезапных отказов, обладающих двумя характерными состояниями: работоспособное и неработоспособное, возможно использовать классическую теорию надежности, так как их интенсивность является постоянной во времени.

**Постепенным** называется отказ, характеризующийся монотонным изменением одной или нескольких МХ. По характеру проявления постепенные отказы являются скрытыми и могут быть выявлены только по результатам периодического контроля СИ. Зафиксировать точное время наступления метрологического отказа ввиду скрытого характера его проявления невозможно.

Под **метрологической надежностью** понимается *способность СИ сохранять установленные значения метрологических характеристик в течение заданного времени при определенных режимах и условиях эксплуатации.*

Надежность СИ характеризует его поведение с течением времени и является обобщенным понятием, включающим в себя стабильность, безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

**Стабильность** СИ является характеристикой неизменности во времени его МХ. Стабильность – это "внутреннее" свойство СИ. Надежность, является более широкое понятие, поскольку зависит как от стабильности, так и от точности измерений и значений используемых допусков.

**Безотказностью** называется свойство СИ непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение заданного времени. Отказ является случайным событием, связанным с нарушением или прекращением работоспособности СИ. Это обуславливает случайную природу показателей безотказности, главным из которых является распределение времени безотказной работы СИ.

**Долговечностью** называется свойство СИ сохранять свое работоспособное состояние до наступления предельного состояния. *Предельным* называется состояние СИ, при котором его применение недопустимо.

**Ремонтпригодность** – свойство СИ, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, восстановлению и поддержанию его работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта. Оно характеризуется затратами времени и средств на восстановление СИ для поддержания его в работоспособном состоянии и после метрологического отказа.

**Сохраняемость** – свойство СИ сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение сроков хранения и транспортирования.

## **Изменение метрологических характеристик средств измерений в процессе эксплуатации. Показатели метрологической надежности средств измерений**

МХ СИ могут изменяться в процессе эксплуатации. Изменение МХ СИ во времени обусловлено процессами старения в его узлах и элементах, вызванными взаимодействием с внешней окружающей средой. Эти процессы протекают в основном на молекулярном уровне и не зависят от того, находится ли СИ в эксплуатации или хранится на консервации. Следовательно, основным фактором, определяющим старение СИ, является календарное время, прошедшее с момента их изготовления.

Но не все составляющие погрешности подвержены изменению во времени. Так методические погрешности зависят только от используемой методики измерения. Среди инструментальных погрешностей есть много составляющих, практически не подверженных старению, например, размер кванта в цифровых приборах и определяемая им погрешность квантования.

Для определения метрологической надежности СИ, нужно найти начальные МХ и построить математическую модель, экстраполирующую полученные результаты на большой интервал времени. Поскольку изменение МХ во времени – случайный процесс, то основным инструментом построения математических моделей является теория случайных процессов.

Модели описываются различными математическими зависимостями – линейными, экспоненциальными и т.д. – зависит от того, как погрешность увеличивается или уменьшается во времени. Их общий недостаток – идеализация случайных процессов.

В технике используется большое число показателей надежности, которые приведены в стандарте ГОСТ 27.002-89 "Надежность в технике. Термины и определения". Знание показателей метрологической надежности позволяет потребителю оптимально использовать СИ, планировать мощности ремонтных участков, размер резервного фонда приборов, обоснованно назначать межповерочные интервалы и грамотно проводить мероприятия по техническому обслуживанию СИ.

Среди показателей безотказности наибольшее распространение получили **вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа и интенсивность отказов.**

**Вероятность безотказной работы** – это вероятность того, что в течение времени  $t$  нормированные МХ не выйдут за допускаемые пределы. Вероятность  $P(t)$  является функцией времени и задается аналитически, таблицей или графиком. Например, если вероятность безотказной работы в течение 1000 ч составляет  $P(t) = 0,95$ , то это означает, что в среднем из большого числа СИ данного типа 95 % проработают более 1000 ч. Вероятность  $P(t)$  изменяется от нуля до единицы, причем, чем она ближе к единице, тем выше безотказность работы. На практике допустимым считается значение  $P(t) > 0,9$ .

**Интенсивность отказов** определяется как условная плотность вероятности возникновения отказа невозстанавливаемого СИ, которая находится для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник.

**Нарботкой до отказа** – продолжительность работы от начала эксплуатации до возникновения первого отказа. Для СИ, у которых изменение МХ является следствием износа его элементов, зависящего от интенсивности эксплуатации.

### **Метрологическая надежность и межповерочные интервалы**

Одной из основных форм поддержания СИ в метрологически исправном состоянии является его периодическая поверка. Периодичность поверки должна быть согласована с требованиями к надежности СИ. Поверку необходимо проводить через определенные интервалы времени, называемые **межповерочными интервалами** (МПИ).

Момент наступления метрологического отказа может выявить только поверка СИ, результаты которой позволят утверждать, что отказ произошел в период времени между двумя последними поверками. Величина МПИ должна быть оптимальной, поскольку частые поверки приводят к материальным и трудовым затратам, а редкие – к повышению погрешности измерений из-за метрологических отказов.

Значения МПИ рекомендуется выбирать из следующего ряда: 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 9; 12; 6К месяцев, где К — целое положительное число.

При нахождении МПИ выбирается МХ, определяющая состояние метрологической исправности средства измерений. В настоящее время существуют три основных пути их определения:

- на основе статистики отказов;
- на основе экономического критерия;
- произвольное назначение первоначального МПИ с последующей корректировкой в течение всего срока службы СИ.

Выбор конкретного метода определения продолжительности МПИ зависит от наличия исходной информации о надежности и стабильности СИ.

**Первый способ** является эффективным при условии, что известны показатели метрологической надежности. Он требует наличия большого количества экспериментальных данных по изменениям во времени МХ. Такие исследования весьма трудоемки и занимают значительное время. Этим объясняется тот факт, что статистических данных о процессах старения приборов различных типов крайне мало. В технических описаниях СИ, как правило, приводится средняя наработка до отказа, средний ресурс и срок службы. Этого недостаточно для расчета МПИ.

Определение МП **по экономическому критерию** состоит в решении задачи по выбору такого интервала, при котором можно минимизировать расходы на эксплуатацию СИ и устранять последствия от возможных ошибок, вызванных погрешностями измерения. Исходной информацией для определения МПИ служат данные о стоимости поверки и ремонта СИ, а также об ущербе от изъятия его из эксплуатации и от использования метрологически неисправного прибора. Основная сложность применения этого метода состоит в следующем. Затраты на ремонт и поверку СИ достаточно легко определяются по нормативным документам. В отличие от них потери из-за использования приборов со скрытым метрологическим отказом на практике, как правило, неизвестны. Приходится прибегать к приближенным моделям, описывающим затраты на эксплуатацию СИ со скрытыми метрологическими отказами в виде функции потерь того или иного вида.

Наиболее универсальным является метод, состоящий в **произвольном** назначении МПИ с последующей корректировкой его величины. В этом случае при минимальной исходной информации назначается первоначальный интервал, а результаты последующих поверок являются исходными данными для его корректировки.

Основной трудностью данного метода является назначение первого МПИ. Преодолеть ее возможно тремя путями. Во-первых, для определения протяженности первого МПИ могут быть использованы показатели метрологической надежности СИ. Во-вторых, длительность первого интервала может быть оценена исходя из анализа данных по эксплуатации аналогичных поверяемому по конструкции и технологии производства СИ. В-третьих, первый МПИ выбирается в соответствии с рекомендациями нормативных документов государственных и ведомственных метрологических служб.

Последующие значения МПИ определяются путем корректировки первого интервала с учетом результатов проведенных поверок большого числа однотипных СИ.