

Лекция №1.

Введение. Основные определения информационной теории измерений.

Цели и задачи курса: данный курс предназначен для освоения базовых понятий теории измерений и базовых принципов построения средств измерения физических величин. Курс знакомит с общими вопросами разработки методов измерений и построения средств измерительной техники, используемых в технике физического эксперимента. В курсе рассматриваются типовые модели представления сигналов в измерительных системах и принципы их преобразования в основных блоках аппаратуры. Подробно излагаются сведения о принципах построения, конструктивных особенностях, характеристиках и схемах включения измерительных преобразователей.

Основные термины и определения:

Метод измерений – совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Принцип измерений – совокупность физических явлений, на которых основаны измерения.

Измерение – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Измерение – информационный процесс.

Контроль – установление соответствия между состоянием объекта контроля и заданной нормой, определяющей качественно различные области его состояния.

Физическая величина – свойство, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. Физическая величина = физическое свойство.

Единица физической величины (единица измерения) – физическая величина, которой по определению присвоено численное значение, равное единице.

Средства измерений делятся на меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки и измерительные информационные системы.

Измерительная информационная система (ИИС) – совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств, предназначенная для получения измерительной информации, ее преобразования и обработки с целью представления потребителю в требуемом виде, либо автоматического осуществления логических функций контроля, диагностики, идентификации.

Современная ИИС включает блок первичных измерительных преобразователей, блоки аналоговых преобразователей, блок аналого-цифровых преобразователей (АЦП), блок устройств цифровой обработки сигналов, блок цифровых устройств хранения и представления информации, центральное устройство управления (процессор),

интерфейсные и прочие вспомогательные устройства. Кроме того, ИИС может содержать устройство, обеспечивающее внешнее контролируемое воздействие на объект исследования (тепловое, механическое, радиационное или любое другое) с целью более полного исследования его свойств и прогнозирования поведения в сложных эксплуатационных условиях, например при воздействии на объект высоких температур и ионизирующих излучений.

В условиях, характерных для эксплуатации сложных технических объектов, существенно возрастает цена информации. Длительность, сложность, высокая стоимость подобных исследований требует продуманного выбора метода измерений, тщательного анализа совокупности информативных признаков сигналов измерительной информации и методов их обработки. Необходим технико-экономический анализ, сопоставляющий усилия и средства, затраченные на создание и эксплуатацию измерительного оборудования, с ценностью конечных результатов. Не соответствующими современному уровню развития науки и техники следует признать попытки получить возможно максимальную информацию без тщательного анализа конечной ценности для научных и практических целей.

Измерительная информация и ее количественные характеристики.

Измерение – это получение информации. С точки зрения теории информации, основы которой заложены американским ученым Клодом Шенноном, измеряемая величина x до выполнения измерений обладает неопределенностью, которая характеризуется значением безусловной энтропии

$$H(x) = - \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \log p(x) dx, \quad (1.1)$$

где $p(x)$ – плотность распределения вероятностей возможных значений измеряемой величины x . Энтропию $H(x)$ можно трактовать как среднюю неопределенность источника информации до начала процесса измерений.

Количество информации I , получаемое в результате измерения, равно убыли неопределенности, то есть разности энтропий до и после измерения:

$$I = H(x) - H(x/x_u). \quad (1.2)$$

Здесь $H(x)$ – безусловная (априорная) энтропия, описываемая плотностью вероятностей $p(x)$ измеряемой величины x до начала процесса измерений. $H(x/x_u)$ – условная энтропия, т.е. энтропия величины x при условии, что получен результат измерений x_u . Условная энтропия – мера оставшейся неопределенности измеряемой величины x после получения отсчета x_u , вызванная наличием погрешностей, помех и собственных шумов в

измерительной системе. Если бы в измерительной системе отсутствовали собственные шумы и погрешности измерений, то количество получаемой в эксперименте информации равнялось бы безусловной энтропии, т.е. неопределенность при измерениях снималась бы полностью и условная энтропия равнялась бы нулю. Очевидно, что в реальных измерительных системах это невозможно. Поэтому потери информации от помех, шума и случайных погрешностей измерений равны энтропии помех, шума и случайных погрешностей.

Если измерительный прибор имеет диапазон измерений от X_1 до X_2 , в пределах которого ожидается получение измеряемого значения x_u , то безусловная энтропия $H(x)$ источника информации, при условии равномерного закона распределения вероятности получить отсчет на шкале прибора $p(x) = \frac{1}{X_2 - X_1}$, будет равна:

$$H(x) = - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{X_2 - X_1} \log \frac{1}{X_2 - X_1} dx = \log(X_2 - X_1) \quad (1.3)$$

Условная энтропия определяется законом распределения погрешности Δ измерительного устройства и равна:

$$H(x/x_u) = - \int_{-\infty}^{+\infty} f(\Delta) \log f(\Delta) d\Delta. \quad (1.4)$$

Если погрешность равномерно распределена на интервале $[-\Delta_m, +\Delta_m]$, то условная энтропия равна:

$$H(x/x_u) = - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{2\Delta_m} \log \frac{1}{2\Delta_m} d\Delta = \log 2\Delta_m. \quad (1.5)$$

При нормальном распределении погрешности с дисперсией σ^2 условная энтропия равна:

$$H(x/x_u) = \log(\sqrt{2\pi e}\sigma), \quad (1.6)$$

где e - основание натуральных логарифмов; σ - среднеквадратическое отклонение погрешности. Сравнение (1.4) и (1.5) показывает, что средства измерений, имеющие существенно различные законы распределения погрешностей, могут давать одинаковое количество информации при измерении. В данном случае это будет обеспечено при выполнении условия $2\Delta_m = \sqrt{2\pi e}\sigma$. В связи с этим в качестве характеристики дезинформационного действия погрешности с произвольным законом распределения можно использовать энтропийное значение погрешности.

Энтропийным значением погрешности считается наибольшее значение погрешности с равномерным законом распределения, которое вносит такую же дезинформацию, как и погрешность с данным законом распределения вероятностей. Если погрешность описывается нормальным законом распределения, то энтропийное значение погрешности равно:

$$\Delta_s = \frac{1}{2} \sqrt{2\pi e} \sigma = 2,07\sigma. \quad (1.7)$$

Аналогично определяется энтропийное значение погрешности для любого конкретного закона распределения.

Зависимость между энтропийным и среднеквадратическим значениями погрешности может быть представлена в виде:

$$\Delta_s = k\sigma, \quad (1.8)$$

где k - энтропийный коэффициент.

Энтропийный коэффициент определяется видом закона распределения вероятностей погрешностей. Для нормального (гауссовского) распределения энтропийный коэффициент в соответствии с формулой (1.6) равен

$$k_n = \sqrt{\pi e/2} = 2,07,$$

а для равномерного распределения

$$k_p = \Delta_s/\sigma = \sqrt{3} \approx 1,73.$$

Полученные значения энтропийного коэффициента характеризуют область его значений, соответствующую большинству реальных законов распределения вероятностей погрешности. Анализ значений энтропийного коэффициента позволяет сделать вывод, что при одинаковом среднеквадратическом значении погрешность, распределенная по нормальному закону, вносит большую дезинформацию, чем погрешность, распределенная по равномерному закону. Более того, дезинформационное действие погрешности с любым другим законом распределения меньше дезинформационного действия погрешности с нормальным законом распределения при их одинаковых среднеквадратических значениях.

Информационный подход дает возможность с единых позиций анализировать любые средства измерений (измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные информационные системы) как в статическом, так и в динамическом режимах работы, выявлять взаимосвязи различных технических характеристик средств измерений, оптимизировать эти характеристики и оценивать предельные возможности используемых средств измерений.

Особенности физических измерений в условиях эксплуатации ядерных энергетических установок.

Достаточно специфичны задачи, связанные с организацией и проведением физических измерений в условиях, приближающихся к условиям эксплуатации ядерных энергетических установок (ЯЭУ) – при воздействии высоких температур, ионизирующих излучений, высокоагрессивных сред. Сложность, длительность, высокая стоимость подобных исследований требуют тщательного предварительного анализа имеющейся информации, продуманного выбора метода (или методов) измерений, выбора совокупности информативных признаков сигналов измерительной информации и методов их обработки. Для обеспечения удовлетворительных метрологических характеристик, чувствительности и стабильности параметров измерительных систем в сложных условиях измерений необходимо совершенствование имеющихся методов и средств и создание новых. Таким образом, анализ возможности и целесообразности проведения измерений в экстремальных условиях для решения конкретной задачи, а также степени сложности соответствующего измерительного оборудования должен проводиться с учетом многочисленных научно-технических, технико-экономических и организационных факторов.