

ЛЕКЦИЯ №2

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИБОРОВ

1. Характеристики ИП в статическом режиме

Статические характеристики описывают свойства преобразователя при работе в лабораторных условиях с малыми изменениями измеряемой величины. Эти характеристики называются градуировочными. Условия измерений - температура 25°C, влажность < 90%, нормальное давление 100 кПа.

Основной характеристикой ИП является *функция преобразования* $Y=f(X)$, определяющая зависимость выходной величины Y от входной X , которые представляют собой истинные (при теоретическом анализе) и действительные (при экспериментальных исследованиях) значения величин. Чаще всего эта зависимость описывается аналитическим выражением, иногда графически или задается в виде таблицы. В качестве обобщенной характеристики ИП данного типа принимается некоторая усредненная функция преобразования большой группы однотипных преобразователей.

Отношение выходной величины Y к входной X называется *коэффициентом преобразования* $k(X) = Y/X$ - в общем случае - функция входной преобразуемой величины.

Производная от функции преобразования $S = dY/dX = F'(X)$ называется *чувствительностью* ИП. Чувствительность характеризует степень реагирования ИП на входную величину. Для преобразователей функция преобразования которых линейна, чувствительность будет постоянной. Если же функция преобразования нелинейна, то чувствительность является функцией входной величины и связана с коэффициентом преобразования зависимостью

$$S(X) = \frac{dY}{dX} = \frac{d[k(X)X]}{dX} = k(X) + \frac{dk(X)}{dX} X. \quad (1)$$

Для характеристики нелинейных ИП используют понятие *средней чувствительности* в диапазоне преобразований

$$S_{\text{ср}} = \frac{Y_e - Y_i}{X_e - X_i}, \quad (2)$$

где $Y_k - Y_n$ и $X_k - X_n$ - диапазоны преобразований соответственно по выходной и входной величинам; Y_k, Y_n, X_k, X_n - конечный и начальный пределы преобразований.

Под *относительной чувствительностью* ИП понимают отношение относительного изменения выходной величины к относительному изменению входной:

$$S_{i \text{ от } i} = \frac{\Delta Y / Y}{\Delta X / X}. \quad (3)$$

Следует отметить, что изменение выходного сигнала ИП может быть обусловлено также влиянием неинформативного параметра входного сигнала. Поэтому говорят о чувствительности ИП к неинформативным параметрам. В общем случае полное приращение выходного сигнала с учетом влияющих неинформативных параметров

$$dY = \frac{\partial Y}{\partial X} dX + \frac{\partial Y}{\partial a} da + \frac{\partial Y}{\partial b} db + \dots + \frac{\partial Y}{\partial m} dm + \dots \quad (4)$$

Здесь $S_a = \frac{\partial Y}{\partial a}, S_b = \frac{\partial Y}{\partial b}, \dots, S_m = \frac{\partial Y}{\partial m}$ - чувствительность ИП к соответствующим неинформативным параметрам a, b, \dots, m, \dots

Номинальными характеристиками называют действительные, полученные в результате эксперимента. Они учитывают все параметры (факторы), влияющие на результат эксперимента.

Диапазон измерений - область значений измеряемой величины, в пределах которой нормированы погрешности средства измерений.

Точность измерений - характеризует близость измеренного значения физической величины к действительному. Количественное выражение точности - *погрешность*. Погрешности могут быть классифицированы по различным признакам: способу выражения (абсолютные, относительные и приведенные), условиям возникновения (основные и дополнительные), степени неопределенности (систематические и случайные) и др.

Наибольшая точность, с которой осуществляются измерения - *разрешающая способность*. Обобщенная характеристика, определяющая пределы допустимых погрешностей - *класс точности*.

2. Характеристики ИП в динамическом режиме

Динамическими называют такие характеристики ИП, которые проявляются лишь при работе преобразователя в динамическом режиме, т. е. при преобразованиях переменных во времени величин. Динамические характеристики описывают свойства измерительного преобразователя при быстрых изменениях измеряемой величины. Графическая регистрация быстро протекающих физических процессов характеризуется динамической характеристикой (ЭЭГ, ЭКГ, МГ и др.).

Основной характеристикой, описывающей работу преобразователя в динамическом режиме, является дифференциальное уравнение, связывающее выходную величину $Y(t)$ с входной $X(t)$:

$$(a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0) Y(t) = (b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_0) X(t) \quad (5)$$

где p - оператор дифференцирования.

Удобной для анализа формой представления дифференциального уравнения является операторная форма в виде изображения по Лапласу:

$$L[X(t)] = X(s); L[Y(t)] = Y(s) \quad (6)$$

$$(a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_0) Y(s) - G_Y(s) = (b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_0) X(s) - G_X(s),$$

где $G_Y(s), G_X(s)$ - остаточные члены, обусловленные ненулевыми начальными условиями. Решая уравнение относительно изображения выходной величины, получим

$$Y(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_0} X(s) + \frac{G_Y(s) - G_X(s)}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_0} \quad (7)$$

Первый член (7) представляет собой изображение $Y_n(s)$ выходного сигнала $Y_n(t)$ при нулевых начальных условиях, а второй член характеризует влияние ненулевых начальных условий.

Отношение изображения $Y_n(s)$ выходной величины к изображению $X(s)$ входной величины называется *передаточной функцией* ИП:

$$\frac{Y_i(s)}{X(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_0} = W(s) \quad (8)$$

В статическом режиме, т. е. при $X(t)=const$, $Y(t)=const$ (или $s \rightarrow 0$), передаточная функция примет вид

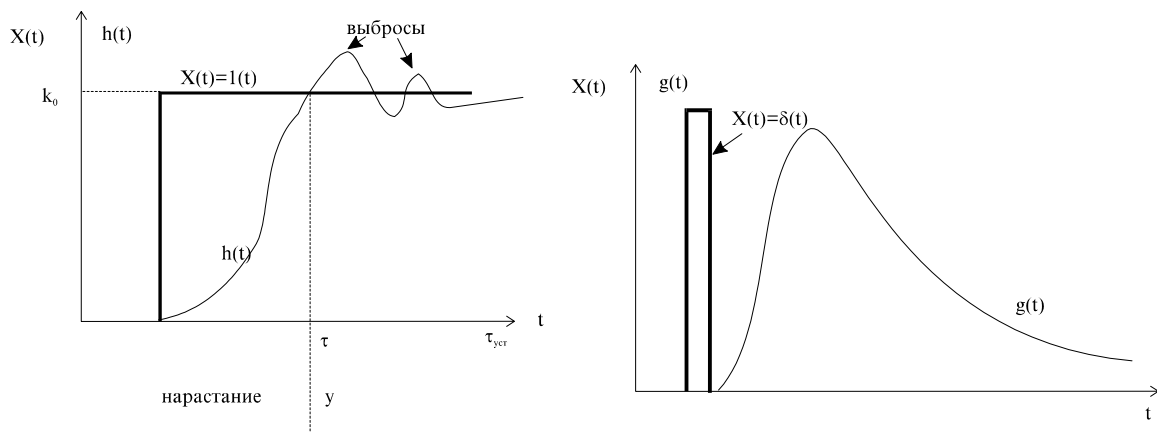
$$W_{s \rightarrow 0} = \frac{b_0}{a_0} = k_0, \quad (9)$$

где k_0 - статический коэффициент преобразования.

Передаточная функция $W(s)$ - исчерпывающая характеристика динамических свойств ИП. Однако, она малонаглядна и трудно поддается экспериментальному определению. На практике используют реакцию $Y(t)$ ИП на типовые входные сигналы и начальные условия: воздействие в виде единичного скачка или короткого импульса; и линейно нарастающее или синусоидальное воздействие.

Реакция ИП с нулевыми начальными условиями на воздействие в виде единичного скачка $I(t)$ называется *переходной функцией* $h(t)$. Скорость приближения переходной функции к установившемуся значению $h(\infty)=k_0$ является мерой инерционности ИП.

Реакция преобразователя на воздействие в виде короткого импульса единичной площади $X(t)=\delta(t)$ называется *импульсной переходной функцией*, или *функцией веса* $g(t)$.



Между переходной функцией и функцией веса существует зависимость

$$g(t) = \frac{dh(t)}{dt}; h(t) = \int_0^t g(t)dt. \quad (10)$$

Переходная и весовая функции могут быть применены для определения реакции ИП на любое реальное воздействие $X(t)$ сложной формы, представляемое в виде последовательности примыкающих друг к другу элементарных воздействий.

Установившаяся реакция на синусоидальное входное воздействие в общем случае является сложной функцией параметров преобразователя и описывается соответствующими амплитудно-частотной и фазочастотной характеристиками.

В зависимости от порядка дифференциального уравнения, описывающего ИП, различают ИП первого, второго и высшего порядков. ИП первого порядка (безынерционные, интегрирующие и дифференцирующие) характеризуются аperiodическим характером переходного процесса (тепловые, химические ИП). В электрических, механических, акустических ИП, кроме аperiodического, наблюдается колебательный характер переходного процесса.

Погрешностью преобразователя в динамическом режиме называют погрешность, присущую ему при преобразовании переменных во времени величин. *Динамической погрешностью* считают разность между погрешностью в динамическом режиме и его статической погрешностью. Динамические погрешности обусловлены инерционными свойствами преобразователя и поэтому их значения зависят от скорости изменения преобразуемой величины. При анализе динамических погрешностей обычно

пренебрегают статическими погрешностями, а динамические считают равными суммарной погрешности преобразователя в динамическом режиме.

Параметрами, характеризующими динамические свойства ИП, являются время преобразования t_n и граничная частота преобразования $\omega_{гр}$.

Временем преобразования t_n называется такое время, по истечении которого динамическая погрешность становится равной допустимой. *Граничная частота преобразования $\omega_{гр}$* - такая частота сигнала, при которой динамическая погрешность становится равной допустимой.

Динамический диапазон - область входных величин, преобразуемая ИП без заметных искажений.

3. Метрологические характеристики ИП (РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЙ СТАНДАРТИЗАЦИИ Государственная система обеспечения единства измерений РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения)

1. Чувствительность
2. Рабочий диапазон
3. Погрешность преобразования
4. КПД
5. Локальность

Локальность ДП – специфическая характеристика датчиков-преобразователей первичной информации и она определяется, как минимальная область, с которой первичный информативный сигнал может быть воспринят.

Локальность – важнейшая характеристика технических средств дефектоскопии; малые дефекты в изделиях и материалах могут быть обнаружены и определены их размеры только при высокой локальности первичного ДП. Локальность ДП зависит не только от размеров его конструкции и, в первую очередь, от размеров его преобразующего элемента (например, точечный детектор электромагнитного излучения обладает большей локальностью, чем детектор, выполненный в виде пленочной структуры).

6. Разрешение

Разрешение ДП определяется как минимальное приращение первичного информативного сигнала, которое может быть зафиксировано на выходе ДП. Разрешение измеряется в абсолютных значениях величины первичного информативного сигнала.

Разрешение ДП не может быть одинаковым во всем его рабочем диапазоне, для некоторых видов ДП оно подчиняется определенному закону (например, для детекторов), зависимость разрешения от условий работы и воздействия внешних дестабилизирующих факторов очевидна.

7. Надежность

Надежность ДП понимается как вероятность сохранения ДП при его работе.

По аналогии с оценкой надежности средств измерений надежность ДП формально вычисляется через следующие два вероятностных параметра: $P_{\text{н.д}}$ – вероятность “необнаруженного дефекта”, т. е. пропуск дефекта и $P_{\text{л.т}}$ – вероятность “ложной тревоги”, т. е. появление сигнала о дефекте, которого в действительности нет.

Применительно к ДП первый параметр $P_{\text{н.д}}$ – это несрабатывание ДП при превышении информативного сигнала его чувствительности или разрушения; второй параметр $P_{\text{л.т}}$ – появление на выходе ДП информативного сигнала при его отсутствии на входе.

В соответствии с общепринятой методикой расчета надежности, т. е. вероятности безотказной работы – результирующая надежность ДП $H_{\Sigma(\text{н.д;л.т})}$ может быть найдена из соотношения

$$H_{\Sigma(\text{н.д;л.т})} \approx (1 - P_{\text{н.д}})(1 - P_{\text{л.т}}) \quad (3)$$

причем и численное значение ожидаемой величины $P_{\text{н.д}}$ и численное значение ожидаемой величины $P_{\text{л.т}}$ должно находиться для данного, конкретного вида ДП по результатам испытаний партии ДП, находящихся в одинаковых эксплуатационных условиях.

Надежность ДП, как любого технического устройства определяется вероятностью отказов материальных элементов, образующих его конструкцию. Понятно, что надежность ДП в значительной степени зависит и от условий его эксплуатации – более тяжелые условия эксплуатации всегда увеличивают вероятность отказов элементов конструкции и, особенно, преобразующего сигнал элемента.

8. Универсальность

Универсальность ДП – чисто качественная эксплуатационная характеристика ДП, в том смысле, что она показывает как применим ДП данного типа и вида для использования его в измерительных системах различного назначения.

9. Обратимость

Обратимость ДП – еще одна из специфических характеристик ДП – это их свойство преобразовывать информативный сигнал в прямом и обратном направлениях; это характеристика свойственная не всем типам и видам ДП, а только некоторым, у которых возможен процесс преобразования прямого сигнала в выходной и при обратном включении ДП – преобразование сигнала первоначально выходного в первичный.

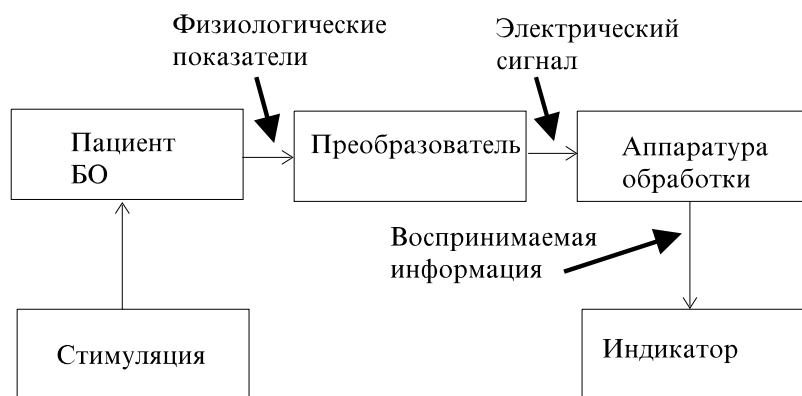
4. Основные специальные и метрологические требования к биомедицинским ИП

- отсутствие воздействия на функциональные свойства организма (не должны раздражать);
- необходимая чувствительность и точность;
- отсутствие или малая величина гистерезиса - устраняет неоднозначность показаний;
- стабильность характеристик во времени;
- определяемая динамическая характеристика (частотный диапазон, малая постоянная времени установления);
- высокие перегрузочные способности;
- устойчивость к химическим и биологическим воздействиям;
- незначительное влияние на работу других приборов;
- направленность действия (малое влияние изменения нагрузки на параметры выходной цепи);
- электробезопасность;
- безотказная работа, надежность;
- простота, технологичность конструкции;
- удобство эксплуатации;
- унифицированность и взаимозаменяемость;
- устойчивость к агрессивным средам;
- дизайн;
- массогабаритные показатели;
- стоимость.

Перечисленные характеристики применяются для описания всех преобразователей: и медицинских, и промышленных. Однако, есть несколько характеристик, которые особенно важны, когда преобразователи применяются в медицинской практике. Как правило, медицинские сигналы имеют меньшую интенсивность, чем сигналы в промышленных установках, поэтому в медицине нужны более чувствительные преобразователи. Важно также, чтобы преобразователь оказывал минимальное воздействие на пациента. Кроме того, преобразователи предназначенные для применения в клиниках, должны быть легко доступными для чистки, стерилизации во избежание переноса инфекции с одного больного на другого.

Преобразователи, предназначенные для длительного использования при вживлении в организм, должны быть изготовлены из материала химически нейтрального, не раздражающего ткань, чтобы они не вызывали воспаления или не отторгались организмом. Небезразличны масса и габариты преобразователя. Например, преобразователь, измеряющий давление в полости сердца, должен быть настолько малым, чтобы его можно было ввести через сосудистую систему пациента. Крайне важно, чтобы медицинские преобразователи были очень надежными, потому что данные с них получаемые часто играют решающую роль в постановке диагноза и исцелении пациента.

5. Особенности применения медицинских приборов

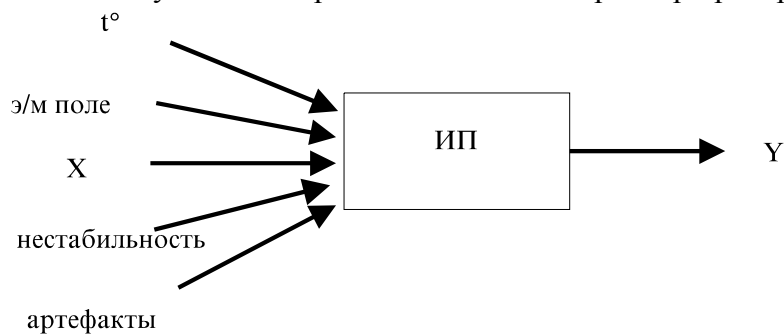


Условия, в которых работают ИП сложны и неоднозначны в силу индивидуальность БО, для их анализа различают три составные части.

1. Объект измерения - составляющая биологической системы или процесса, характеризующая множеством параметров, которые необходимо измерять отдельно.

2. Измеряемая физиологическая величина - единственный выбранный из множества параметр, интересующий наблюдателя.

3. Результат измерения - выходной параметр преобразователя.



Артефакты - любое искусственное изменение измеряемого показателя. Это то, что присуще БО, но не интересует исследователя. Артефакты - шумы, помехи, интерференционные явления, наводки кабеля и др.

Основная задача ИП - выделение из всех сигналов значения измеряемой физиологической величины.