

В наше время для получения оперативной информации о современных скоротечных процессах необходимо иметь соответствующие их требованиям средства измерения. Существующие прогнозирующие кибернетические устройства не в состоянии обеспечить такие измерения из-за низкого быстродействия. Поэтому возникает задача создания современных средств измерения, которые позволяют проводить такие измерения.

Поставленная задача может быть решена путем применения нового класса средств измерения - прогнозирующих средств измерения (ПСИ), который будет иметь метрологическое обеспечение, поддержанное современными компьютерными технологиями.

Структурная схема такого СИ представлена на рис.1.

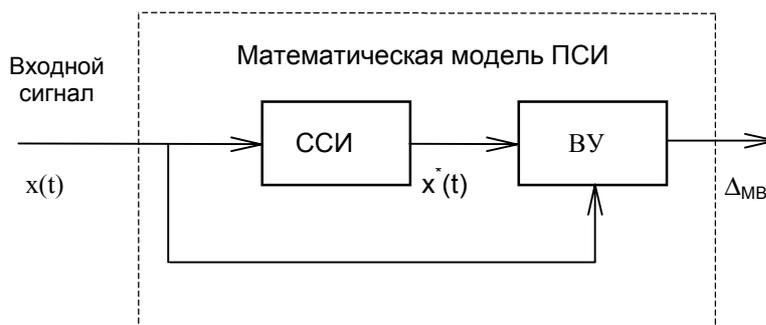


Рис. 1.

На вход смоделированного СИ (ССИ) подаются детерминированные сигналы. В ССИ заложены алгоритмы прогноза, по которым производится обработка входных сигналов. В вычислительном устройстве (ВУ) происходит вычисление абсолютных погрешностей прогнозирующих методов измерения Δ_{MB} по формуле:

$$\Delta_{MB} = x(t) - x^*(t), \quad (1)$$

где $x(t)$ - действительное значение входного сигнала; $x^*(t)$ - значение сигнала, полученного по результатам прогноза.

Исследование погрешностей методов измерения проводилось для трех групп входных детерминированных сигналов: полиномиальных, тригонометрических и сигналов в виде показательной и логарифмической функций.

Сигналы обрабатывались следующими алгоритмами прогноза:

- Линейный алгоритм прогноза на 1 шаг вперед (ЛП-1): $\hat{x}_{i+2} = 2 \cdot x_{i+1} - x_i$.
- Линейный алгоритм прогноза на 0,5 шага вперед (ЛП-0.5): $\hat{x}_{i+1.5} = 1.5 \cdot x_{i+1} - 0.5 \cdot x_i$.
- Квадратичный алгоритм прогноза на 1 шаг вперед (КВП-1): $\hat{x}_{i+3} = 3 \cdot x_{i+2} - 3 \cdot x_{i+1} + x_i$.
- Квадратичный алгоритм прогноза на 0,5 шага вперед (КВП-0.5) : $\hat{x}_{i+2.5} = 0.375 \cdot x_i - 1.25 \cdot x_{i+1} + 1.875 \cdot x_{i+2}$.
- Кубический алгоритм прогноза на 1 шаг вперед (КП-1): $\hat{x}_{i+4} = 4x_{i+3} - 6x_{i+2} + 4x_{i+1} - x_i$.
- Кубический алгоритм прогноза на 0,5 шага вперед (КП-0.5): $\hat{x}_{i+3.5} = 2.1875 \cdot x_{i+3} - 2.1875 \cdot x_{i+2} + 1.3125 \cdot x_{i+1} - 0.3125 \cdot x_i$.
- Алгоритм прогноза по последнему значению на 1 шаг вперед (ППЗ-1) [2]: $\hat{x}_{i+1} = x_i$.
- Алгоритм прогноза по скользящему среднему по двум точкам на 0,5 шага назад (СС2-0,5):

$$\hat{x}_{i+0.5} = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}.$$

Рассмотрим погрешности методов измерения ПСИ для каждой группы входных сигналов.

1. Полиномиальные входные сигналы. Исследование проводилось для полиномиального сигнала общего вида: $x(t) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$ В нашем случае $n \leq 3$, t - переменная (время), $t \geq 0$, $i \geq 0$.

Если алгоритм прогноза совпадает с характеристикой входного сигнала, то погрешность равняется нулю.

Для линейного входного сигнала погрешность измерения возникает только при применении ППЗ-1. Она постоянная для всех $i \geq 1$ и равняется $-a_1$.

Минимальная погрешность прогноза для квадратичного сигнала получается при использовании СС2-0.5 и равняется $\frac{1}{4} \cdot a_2$. Так же постоянная погрешность возникает в случае ЛП-1 та ЛП-0.5 и равняется соответственно $-2 \cdot a_2$ и $-0,75 \cdot a_2$. Погрешность измерения при ППЗ-1 имеет линейный характер: $-a_1 - a_2(2i+1)$. Как видно она зависит от i , причем чем меньше i , тем меньше погрешность.

Кубический входной сигнал с постоянной погрешностью прогнозируют квадратичные алгоритмы. При этом погрешность соответственно равна $-6a_3$ для КВП-1 и $-1,875a_3$ для КВП-0.5. Погрешности линейных алгоритмов и СС2-0,5 имеют линейный характер. Для ЛП-1 $\text{tg}(\varphi_1) = -6 \cdot a_3$, для ЛП-0.5 $\text{tg}(\varphi_2) = -2,25 \cdot a_3$, для СС2-0.5 $\text{tg}(\varphi_3) = 0,75 \cdot a_3$, где φ_k - угол наклона кривой погрешности, $k=1,2,3$. Отсюда следует, что минимальную погрешность метода дает СС2-0.5. Погрешность при алгоритме ППС-1 имеет квадратичный характер: $-a_1 - a_2(2i+1) - a_3(3i^2 + 3i + 1)$ Минимальное ее значение получается при $i = \frac{-2a_2 - 3a_3}{6a_3}$ и равняется $\Delta_{MB} = -a_1 + \frac{a_2^2}{3a_3} - \frac{a_3}{4}$. Алгоритм ППС-1 дает максимальную погрешность измерения для кубического входного сигнала.

2. Тригонометрические входные сигналы. Исследование проводилось для синусоидального входного сигнала: $x = Um \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$ и косинусоидального входного сигнала: $x = Um \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi)$, где Um - амплитуда; ω - частота; φ - фаза; t - переменная (время), $t \geq 0$. Расчет погрешностей проводился для $Um = 1$, $\omega = 1$, $\varphi = 0$. i - доля периода, которая равняется $i = \frac{\Delta t}{T} \cdot N$, где T - период, $\Delta t = 0.001$, $N = 1,2, \dots$

При синусоидальном и косинусоидальном входных сигналах функция погрешности для каждого алгоритма прогноза является периодической. Из этого следует, что изменяя φ можно получить минимальную или максимальную погрешность. Минимальная погрешность равняется нулю ($|\Delta_{MB}| = 0$).

Анализ погрешностей показывает, что их значения для синусоидального и косинусоидального сигналов лежат в одном пределе. Наименьший размах погрешности получается при прогнозе по СС2-0.5. За ним идут КП-0.5 и КВП-0.5.

3. Экспоненциальный $x = Um \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right)$ и логарифмический $x = Um \cdot \lg t$ входные сигналы.

τ - постоянная времени, Um - амплитуда; t - переменная (время), $t > 0$.

Для логарифмического сигнала предел функции погрешности прогнозирующих методов измерения при $i \rightarrow \infty$ стремится к нулю, и чем меньше i , тем больше погрешность. Причем для алгоритмов ППЗ-1, КВП-1, КВП-0.5, СС2-0.5 при $i \rightarrow \infty$ $\Delta_{MB} \rightarrow 0^-$, а для алгоритмов ЛП-1, ЛП0.5, КП-1, КП-0,5 при $i \rightarrow \infty$ $\Delta_{MB} \rightarrow 0^+$.

На рис. 2 представлен график погрешностей для логарифмического входного сигнала для алгоритмов ЛП-0.5, КП-1, КП-0.5, КВП-1, КВП-0.5, СС2-0.5. По горизонтали отложено условное значение времени i (отсчеты), по вертикали - значения погрешности. Из графика видно, что наименьшая погрешность возникает при использовании кубического алгоритма прогноза на пол шага вперед.

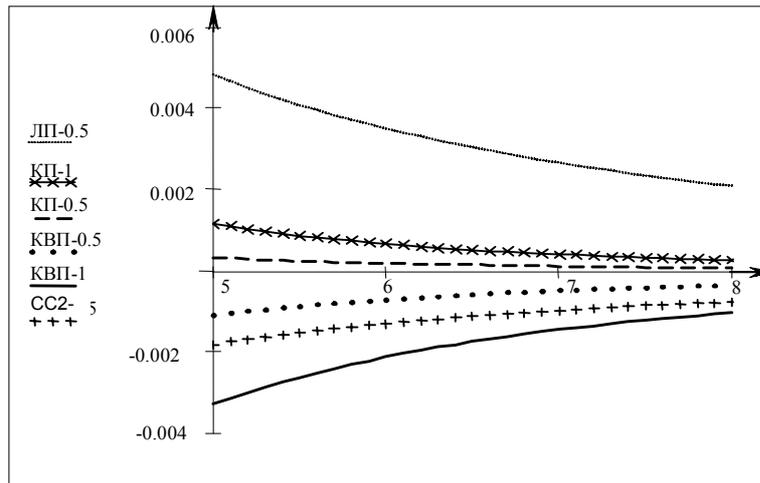


Рис. 2

Рассмотрим погрешности прогнозирующих методов измерения для экспоненциального входного сигнала. Функция погрешности для каждого алгоритма прогноза представляет собой сумму (или разницу) экспонент. Предел функции погрешностей прогнозирующих методов измерения для входного экспоненциального сигнала при $i \rightarrow \infty$ стремится к нулю, и чем меньше значение i , тем больше погрешность. Причем, как и для логарифмического сигнала, для алгоритмов ЛП-1, ЛП0.5, КП-1, КП-0,5 при $i \rightarrow \infty$ $\Delta_{MB} \rightarrow 0^-$, а для алгоритмов ЛП-1, ЛП0.5, КП-1, КП-0,5 при $i \rightarrow \infty$ $\Delta_{MB} \rightarrow 0^+$.

Минимальная погрешность возникает при КП-0.5, СС2-0.5 и КВП-0.5. Прогнозирование другими алгоритмами дает приблизительно одинаковую погрешность, которая на порядок больше.

На рис. 3 изображен график погрешностей для экспоненциального входного сигнала для алгоритмов КП-0.5, СС2-0.5 та КВП-0.5. Графики для алгоритмов СС2-0.5 и КВП-0.5 для наглядности построены по модулю. По горизонтали отложено условное значение времени i (отсчеты), по вертикали – значения погрешности. Из графика видно, что наименьшая погрешность возникает при кубическом алгоритме прогноза на пол шага вперед.

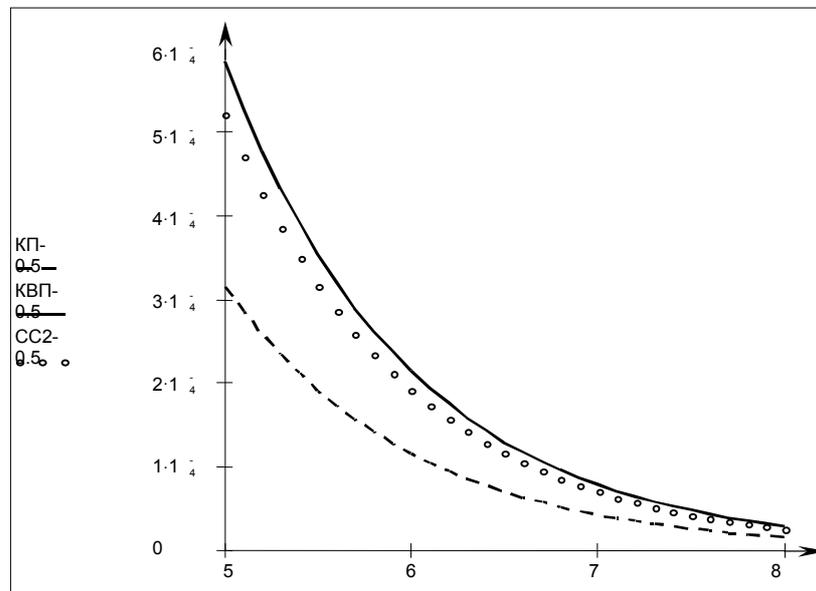


Рис. 3

Таким образом логарифмический и входные сигналы лучше всего прогнозирует кубический алгоритм на пол шага вперед.

Результаты исследований показали следующее:

При полиномиальных входных сигналах нулевая погрешность прогнозирующих методов измерения возникает в случае совпадения алгоритма прогноза с характеристиками входного сигнала

Погрешности для тригонометрических входных сигналов находятся в одинаковых пределах и могут принимать минимальное или максимальное значение в зависимости от сдвига фазы.

Сигналы в виде логарифмической и показательной функций лучше всего прогнозирует алгоритм КП-0.5.

На основании вышесказанного для прогнозирующих средств измерения можно указать группу входных сигналов и алгоритмов прогноза, которые обеспечат измерения с наименьшими четко определенными погрешностями. Это дает возможность разрабатывать тестовые сигналы для поверки ПСИ.

ЛИТЕРАТУРА.

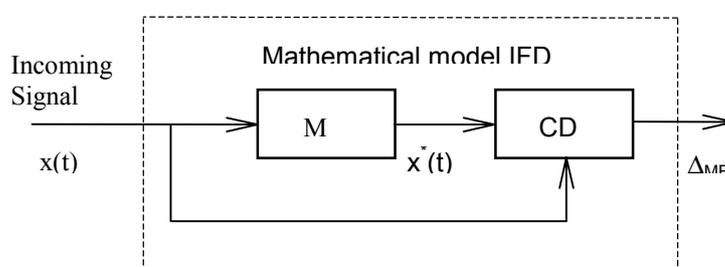
1. А.В. Мозгалеvский, Д.В.Гаскаров Некоторые технические приложения метода экстраполяции при помощи полиномов. «Радиотехника», 1967г. №2., с.107-109.
2. Губарь В.И. Метод последовательного накопления корректирующих поправок результатов измерений. «Метрология», №2, 1981. 3-9с.
3. К.Б.Скочеляс Використання алгоритмів прогнозу для зменшення адитивних похибок засобів вимірювання. «Наукові вісті НТУУ "КПІ"», 2000г. №1., с.95-99.
4. К.Б.Скочеляс Дослідження похибок прогнозуючих засобів вимірювання. «Наукові вісті НТУУ "КПІ"», 2000г. №6., с.101-105.



INFORMATION FORECASTING MEASUREMENT DEVICES AND THEIR ERRORS

Skochelyas K.

Nowadays one should have appropriate means of measurement to get necessary information about certain quick processes. Already existing information forecasting cybernetic devices are not capable of defining such measurements due to very low functioning velocity. Therefore, we see a necessity to create a modern means of measurement which is supposed to enable us to accomplish very precise and time-effective measurements.



Pic.1

The given goal can be attained by means of implementing of new measurement devices—the information forecasting devices (IFD). This is going to have a metrological basis, supported by advanced computer technologies.

The given model begins with putting the signals that have been determined into it. The M has the algorithm of forecasting which assist to work out the incoming information. The calculation part of the device (CD) is responsible for calculating absolute errors of the information anticipating measurement means (Δ_{MB}) according to the formula:

$$\Delta_{MB} = x(t) - x^*(t)$$

Where $x(t)$ is the actual figure of incoming signal; $x^*(t)$ - the next actual figure derived as a result of forecasting.

The examination of errors of measurement methods was conducted for three groups of incoming signals that have been determined. These were: polynomial signals, trigonometrically signals, and signals in the form of exponential and logarithmical functions.

The given signals are worked on according to the following forecasting algorithm:

- Linear algorithm of forecasting for 1 step a head: (LP-1): $\hat{x}_{i+2} = 2 \cdot x_{i+1} - x_i$.
- Linear algorithm of forecasting for 0.5 step a head: (LP-0.5): $\hat{x}_{i+1.5} = 1.5 \cdot x_{i+1} - 0.5 \cdot x_i$.
- Square algorithm of forecasting 1 step a head: (SQP-1): $\hat{x}_{i+3} = 3 \cdot x_{i+2} - 3 \cdot x_{i+1} + x_i$.
- Square algorithm of forecasting 0.5 step a head (SQП-0.5):
 $\hat{x}_{i+2.5} = 0.375 \cdot x_i - 1.25 \cdot x_{i+1} + 1.875 \cdot x_{i+2}$.
- Cubical algorithm of forecasting for 1 step a head (CP-1): $\hat{x}_{i+4} = 4x_{i+3} - 6x_{i+2} + 4x_{i+1} - x_i$.
- Cubical algorithm of forecasting for 0.5 step a head (CP-0.5):
 $\hat{x}_{i+3.5} = 2.1875 \cdot x_{i+3} - 2.1875 \cdot x_{i+2} + 1.3125 \cdot x_{i+1} - 0.3125 \cdot x_i$.
- The forecasting algorithm on the basis of the last measurement 1step a head (LMP-1) [2]: $\hat{x}_{i+1} = x_i$.
- The forecasting algorithm based on the average mean of two points with 0.5 steps back (AM2-0,5):

$$\hat{x}_{i+0.5} = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}$$

The results of the examination reveal the following:

1. Under polynomial incoming signals, there is a zero error level of forecasting measurement methods appears in the case of coinciding of algorithm forecasting with the data features of incoming signals.

2. The errors for the trigonometrically incoming signals exist in the same limits and can take minimal or maximal significance depending on the shift in phase.

3. The signals in the form of logarithmical and exponential functions are best forecasted by CP - 0.5 algorithm

On the basis of the above-mentioned, one can indicate the group of incoming signals and forecasting algorithms for the forecasting measurement means which will allow for the measurement with the smallest amount of errors.