

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕСТОВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РОТАЦИОННЫХ ВИСКОЗИМЕТРОВ

*О.Г. Корганова, В.А. Кузнецов*

Самарский государственный технический университет  
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Рассматривается ротационный вискозиметр повышенной точности за счет применения тестовых методов измерения.*

**Ключевые слова:** *вязкость, ротационный вискозиметр, тестовые методы, повышение точности.*

При использовании ротационных вискозиметров вопрос точности определения вязкости является в ряде случаев определяющим при выборе прибора того или иного вида.

Для повышения точности работы вискозиметра могут быть использованы различные методы. Наиболее эффективными являются тестовые методы.

Тестовые методы за счет дополнительных измерений позволяют уточнить параметры реальной функции преобразования измерительного устройства. Если функция преобразования измерительного устройства нелинейная, то необходимо использовать  $(n+1)$  тестов, где  $n$  – степень полинома, аппроксимирующего функцию преобразования [1].

На практике обычно используется линейная интерполяция нелинейной функции преобразования, как и при использовании метода образцовых мер. При линейной интерполяции достаточно двух тестов, при этом один тест должен быть аддитивным, а другой – мультипликативным [2].

Преимущества тестовых методов по сравнению с методом образцовых мер заключаются в том, что при линейной интерполяции нелинейной функции преобразования измеряемая величина сама транспортирует тесты в рабочий участок диапазона измерения, в то время как при использовании метода образцовых мер необходимо знать приближенное значение измеряемой величины для того, чтобы определить значение образцовых мер, которые должны взять измеряемую величину в «вилку».

На рис. 1 представлена структурная схема системы, реализующей тестовые методы повышения точности измерения с линейной интерполяцией нелинейной функции преобразования измерительного устройства. На схеме введены следующие обозначения:  $x$  – измеряемая величина; АТ – аддитивный тест; МТ – мультипликативный тест;  $K_1$ ,  $K_2$  – ключи; ИУ – измерительное устройство; ВУ – вычислительное устройство; УУ – устройство управления.

Определение скорректированной измеряемой величины проводится в три такта.

В первом такте ключи  $K_1$  и  $K_2$  закрыты. На вход измерительного устройства ИУ поступает измеряемая величина  $x$ .

Результат первого измерения:

---

*Ольга Георгиевна Корганова (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Информационно-измерительная техника».*

*Владимир Андреевич Кузнецов (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Информационно-измерительная техника».*

$$y_1 = (k + \alpha_x) \cdot x + \Delta\alpha,$$

где  $k$  – коэффициент преобразования ИУ;  
 $\alpha_x$  – мультипликативная погрешность;  
 $\Delta\alpha$  – аддитивная погрешность.

Во втором такте ключ К1 открыт, а К2 закрыт. На вход ИУ подается аддитивный тест.

Результат второго измерения:

$$y_2 = (k + \alpha_x) \cdot (x + Q) + \Delta\alpha,$$

где  $Q$  – образцовое приращение.

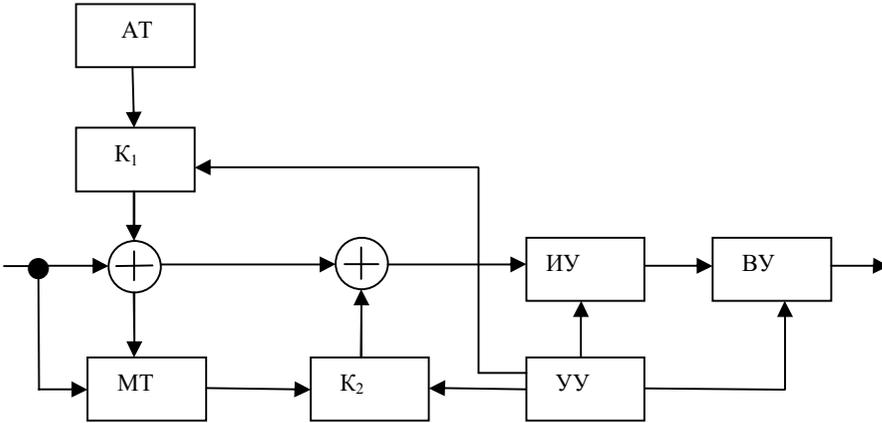


Рис. 1. Структурная схема системы, реализующей тестовые методы повышения точности измерения с линейной интерполяцией нелинейной функции преобразования измерительного устройства

В третьем такте ключ  $K_2$  открыт, а ключ  $K_1$  закрыт. На вход ИУ подается мультипликативный тест.

Результат третьего измерения:

$$y_3 = (k + \alpha) \cdot (x + n \cdot x) + \Delta\alpha,$$

где  $n$  – образцовый коэффициент.

Полученные результаты трех измерений запоминаются вычислительным устройством, а затем производится обработка полученной информации по следующему алгоритму:

$$y_2 - y_1 = (k + \alpha) \cdot Q; \quad y_3 - y_1 = (k + \alpha) \cdot n \cdot x;$$

$$\frac{y_3 - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{n \cdot x}{Q}.$$

Отсюда

$$x = \frac{y_3 - y_1}{y_2 - y_1} \cdot \frac{Q}{n}.$$

Как видно из полученного выражения, значение измеряемой величины не зависит от нестабильности коэффициента преобразования и аддитивной погрешности.

Погрешность измерений при использовании тестовых методов определяется погрешностью задания тестов, погрешностью интерполяции и погрешностью вычислений. Для уменьшения погрешности интерполяции тестовые приращения не должны сильно отличаться от значения измеряемой величины.

На рис. 2 представлена структурная схема ротационного вискозиметра, разработанного на кафедре «Информационно-измерительная техника» СамГТУ, в котором используются тестовые методы повышения точности измерения.

Вискозиметр содержит следующие блоки: ЭД – электродвигатель; Р – редуктор; ПМ – измерительный преобразователь крутящего момента; Д – токопроводящий диск; ИР – измерительный ротор; ЭМ – электромагнит; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; КР – вычислительно-управляющее устройство – контроллер; К<sub>1</sub>, К<sub>2</sub>, К<sub>3</sub> – ключи; R1 и R2 – переменные резисторы.

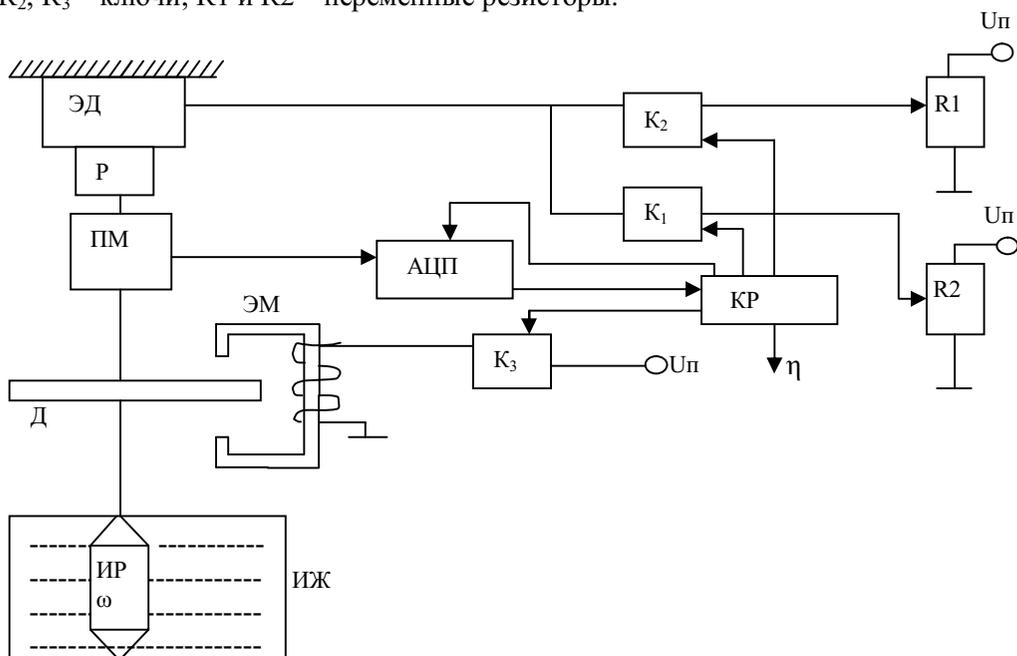


Рис. 2. Структурная схема ротационного вискозиметра, в котором используются тестовые методы повышения точности измерения

Исследуемой жидкостью ИЖ заполняется неподвижный стакан, в который помещается вращающийся измерительный ротор ИР. Измерительный ротор приводится во вращение электродвигателем ЭД через редуктор Р. При вращении ротора в исследуемой жидкости возникает тормозной момент, который пропорционален вязкости жидкости:

$$M_T = k_p \omega \eta,$$

где  $k_p$  – конструктивный коэффициент, зависящий от размеров стакана и ротора;

$\omega$  – частота вращения ротора;

$\eta$  – динамическая вязкость.

Тормозной момент преобразуется преобразователем ПМ в электрический сигнал, а затем посредством АЦП – в код, который поступает на вход контроллера КР:

$$N = k_p k_f k_{\dot{\alpha}\dot{\gamma}} \omega \eta ,$$

где  $N$  – код, поступающий на вход контроллера;

$k_{II}$  – коэффициент преобразования преобразователя крутящего момента;

$k_{\dot{\alpha}\dot{\gamma}}$  – коэффициент преобразования АЦП.

Основными источниками погрешности вискозиметра являются нестабильность коэффициентов  $k_p$ ,  $k_{II}$ ,  $k_{\dot{\alpha}\dot{\gamma}}$ , а также аддитивные погрешности.

Для повышения точности измерения вязкости формируются два теста: аддитивный и мультипликативный, а измерения проводятся в три такта. Вычислительные операции и управление вискозиметром выполняются контроллером КР.

В первом такте ключ  $K_1$  открыт, а ключи  $K_2$  и  $K_3$  закрыты, на электродвигатель подается напряжение, устанавливающее частоту вращения ротора  $n_1$ . На вход контроллера поступает код

$$N_1 = k_p k_f k_{\dot{\alpha}\dot{\gamma}} \omega_1 \eta + \Delta_\alpha ,$$

где  $\Delta_\alpha$  – аддитивная погрешность.

Во втором такте открывается ключ  $K_3$ , и электромагнит ЭМ создает дополнительный тормозной момент за счет наведения вихревых токов в диске Д. На вход контроллера поступает код аддитивного теста

$$N_2 = k_p k_f k_{\dot{\alpha}\dot{\gamma}} \omega_1 (\eta + m) + \Delta_\alpha ,$$

где  $m$  – дополнительный эталонный тормозной момент.

В третьем такте создается мультипликативный тест, при этом ключ  $K_2$  открыт, а ключи  $K_1$  и  $K_3$  закрыты. На электродвигатель подается более высокое напряжение, вследствие чего частота вращения ротора возрастает до  $\omega_2$ . На вход контроллера поступает код мультипликативного теста

$$N_3 = k_p k_{II} k_{\text{АЦП}} \omega_2 (\eta + m) + \Delta_\alpha .$$

Результаты трех измерений обрабатываются контроллером по алгоритму:

$$N_2 - N_1 = k_p k_f k_{\dot{\alpha}\dot{\gamma}} \omega_1 m ;$$

$$N_3 - N_1 = k_p k_{II} k_{\text{АЦП}} \eta (\omega_2 - \omega_1) ;$$

$$\frac{N_3 - N_1}{N_2 - N_1} = \frac{\eta \cdot (\omega_2 - \omega_1)}{\omega_1 m} .$$

Отсюда определяется вязкость исследуемой жидкости

$$\eta = \frac{N_3 - N_1}{N_2 - N_1} \cdot \frac{\omega_1 m}{\omega_2 - \omega_1} .$$

Из этого выражения видно, что тестовые методы позволяют полностью исключить из результата измерения аддитивные и мультипликативные погрешности. Точность измерения вязкости определяется погрешностью задания тормозного эталонного момента, погрешностью установки частоты вращения ротора и погрешностью вычислительных операций.

Для уменьшения погрешности вычислительных операций необходимо минимизировать погрешность от дискретности АЦП. С этой целью может быть применен 12-разрядный АЦП типа К1108ПВ2, хорошо сопрягаемый с микропроцессором.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Земельман М.А. Автоматическая коррекция погрешностей измерительных устройств. – М.: Стандарты, 1972. – 199 с.
2. Бромберг Э.М., Куликовский К.Л. Тестовые методы повышения точности измерений. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.

*Статья поступила в редакцию 29 июня 2012 г.*

## TEST METHODS USING FOR INCREASING OF ROTARY VISCOMETERS ACCURACY

***O.G. Korganova, V.A. Kuznetsov***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaja st., Samara, 443100

*Accuracy increasing of rotary viscometer is considered. Test methods using for accuracy increasing are suggested.*

***Keywords:*** *viscosity, rotary viscometer, test methods, increasing.*

---

*Olga G. Korganova (Ph.D.(Techn)), Associate professor.*  
*Vladimir A. Kuznetsov (Ph.D. (Techn)), Associate professor.*