

## КОРРЕКЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИНЕРЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

© 2016 И.А.Платонов<sup>1</sup>, В.М. Мухин<sup>2</sup>, П.К. Ланге<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

<sup>2</sup> Самарский электромеханический завод

<sup>3</sup> Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 16.12.2016

Рассмотрен метод коррекции динамической погрешности инерционного детектора по теплопроводности с передаточной функцией, имеющей вид апериодического звена первого порядка. Метод основан на реализации обратной функции оператора, описывающего инерционный детектор в динамическом режиме. Метод коррекции использует параболическую сплайн – аппроксимацию дискретных значений сигнала детектора, а также его первой производной. Приведен пример коррекции сигнала детектора по теплопроводности конкретного типа. Показано, что использование математического метода коррекции на базе цифровых фильтров скользящей обработки дискретных значений сигнала позволяет в несколько раз снизить динамическую погрешность инерционного детектора. Предложено использовать описанный метод также и для коррекции сигнала детектора, оператор которого соответствует инерционному звену второго порядка. Рассмотренный метод может быть легко реализован с использованием современных микропроцессорных измерительных систем. *Ключевые слова:* детектор по теплопроводности, газовый поток, передаточная функция, динамическая погрешность, сплайн – аппроксимация.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ.*

### ВВЕДЕНИЕ

Известные детекторы газоаналитических приборов [1, 2] обладают повышенной инерционностью, которая затрудняет их использование в системах экспресс - анализа содержания примесей в газовой среде. Большая инерционность этих детекторов вызвана, с одной стороны, значительной величиной объема камеры детектора, с другой – длительностью процесса установления теплового равновесия в газовом потоке между термочувствительным элементом и стенкой камеры детектора. Этот фактор вызывает появление динамической погрешности определения концентрации примеси в потоке газа.

Целью работы является разработка математического метода коррекции указанной динамической погрешности.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

При динамических измерениях интерес представляет не выходной сигнал детектора  $y(t)$ , а контролируемый входной параметр детектора  $x(t)$ . Поэтому задачей коррекции сигнала  $y(t)$  является определение значений параметра  $x(t)$  с учетом оператора  $A$ , характеризующего динамические свойства детектора и его аппаратную функцию. В современных измерительных системах доступны дискретные значения сигнала  $y(t)$ , формируемые аналого – цифровым преобразователем системы.

Такая задача может быть решена реализацией оператора  $A^{-1}$ , обратного оператору  $A$  при соответствующей обработке дискретных значений сигнала  $y(t)$  [3].

В наиболее распространенном случае инерционный детектор имеет передаточную функцию апериодического звена первого порядка

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{K}{Tp + 1}, \quad (1)$$

где  $T$  – постоянная времени детектора.

При  $K=1$  передаточная функция корректирующей цепи принимает вид

$$W^{-1}(p) = \frac{z(p)}{y(p)} = Tp + 1,$$

что соответствует реализуемому дифференциальному уравнению

Платонов Игорь Артемьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химия» Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева. E-mail: pia@ssau.ru  
Мухин Василий Михайлович, кандидат технических наук, генеральный директор АО «Самарский электромеханический завод». E-mail: directorsemz@mail.ru  
Ланге Петр Константинович, доктор технических наук, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника» Самарского государственного технического университета. E-mail: ims@samgtu



ствии со стандартной методикой [6] определения инерционности детектора по его переходной характеристике постоянная времени  $T$  детектора в выражении (1) оказалась равной 0,1с.

Известно [6,7], что концентрация введенной в газовый поток примеси в виде импульса распределяется в соответствии с функцией, близкой к Гауссовой. Это объясняется протеканием ряда физических процессов, основным из которых является процесс диффузии. При протекании газового потока через камеру детектора по теплопроводности детектор формирует сигнал  $y(t)$  в соответствии с величиной мгновенной концентрации примеси в потоке, однако инерционность детектора вызывает появление динамической погрешности.

Рассмотрим коррекцию выходного сигнала такого детектора при его входном параметре, изменяющемся в соответствии с Гауссовой функцией единичной высоты (рис. 2)

$$x(t) = \exp\left[-\frac{(t-0.05)^2}{0.015}\right]. \quad (7)$$

Ширина такой функции составляет примерно 0,05с.

При передаточной функции (1) детектора

$$W(p) = \frac{1}{Tp+1},$$

его переходная характеристика определяется

выражением  $h(t) = (1 - e^{-\frac{t}{T}})$ .

Выражение для сигнала  $y(t)$  на выходе ИП может быть получено с использованием интеграла Дюамеля:

$$y(t) = \frac{1}{T} \int_0^t \left[ \exp\left(-\frac{(t-\tau-0.05)^2}{0.015}\right) \right] \exp\left(-\frac{\tau}{T}\right) d\tau.$$

Для конкретного значения постоянной времени  $T=0,1$ с передаточной функции (1) детектора график этой функции изображен на рис. 2. Как видно из рассмотрения графика, такой детектор характеризуется очень большой динамической погрешностью.

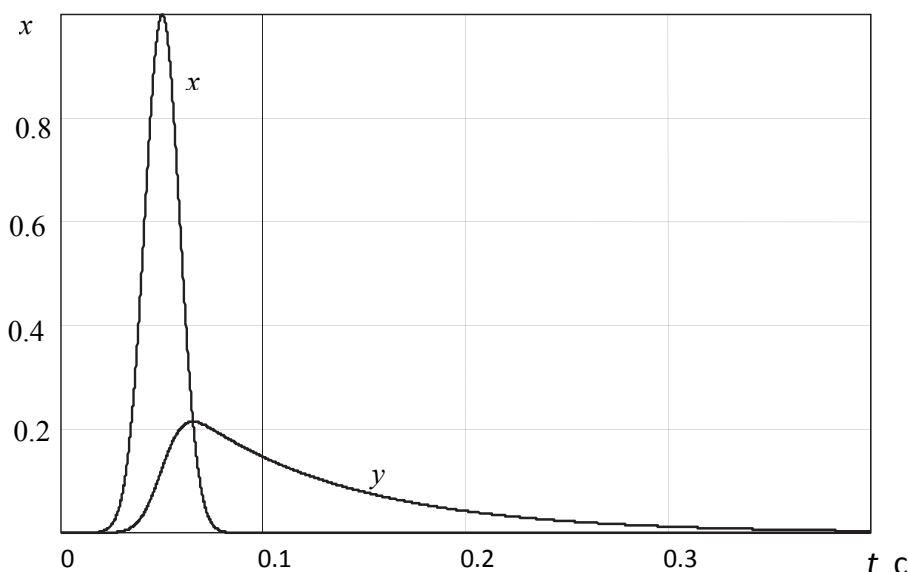
Функция скорректированного сигнала  $z(t)$  определяется при аппроксимации дискретных значений сигнала  $y(t)$  параболической сплайн – функцией с использованием выражений (2) – (3) для коэффициентов аппроксимации, а также выражений (4) – (5) для метода коррекции.

Эти функции изображены на рис. 3, при рассмотрении которого видно, что рассмотренный метод достаточно эффективно восстанавливает по форме сигнал  $x(t)$ , действующий на входе инерционного детектора, с запаздыванием в 2 интервала дискретизации.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

При наличии в потоке газа нескольких примесей, размещенных в потоке на некотором расстоянии друг от друга, детектор регистрирует последовательно два пика, форма которых близка к Гауссовой функции. Такая ситуация характерна для различных хроматографических и ряда других анализаторов. В этом случае инерционность детектора может вызвать существенную динамическую погрешность.

На рис. 4 представлены диаграммы сигналов: входного параметра  $x(t)$  микродетектора по теплопроводности, сигнала  $y(t)$ , формируемого на выходе детектора, скорректированного сигнала  $z(t)$  с использованием описанного алгоритма коррекции. Входной параметр  $x(t)$  в данном случае представляет собой сумму двух Гауссовых функций вида (7), смещенных друг относительно



**Рис. 2.** Сигналы на входе и выходе инерционного детектора:  $x$  – график изменения параметра на входе детектора,  $y$  – сигнал на выходе детектора

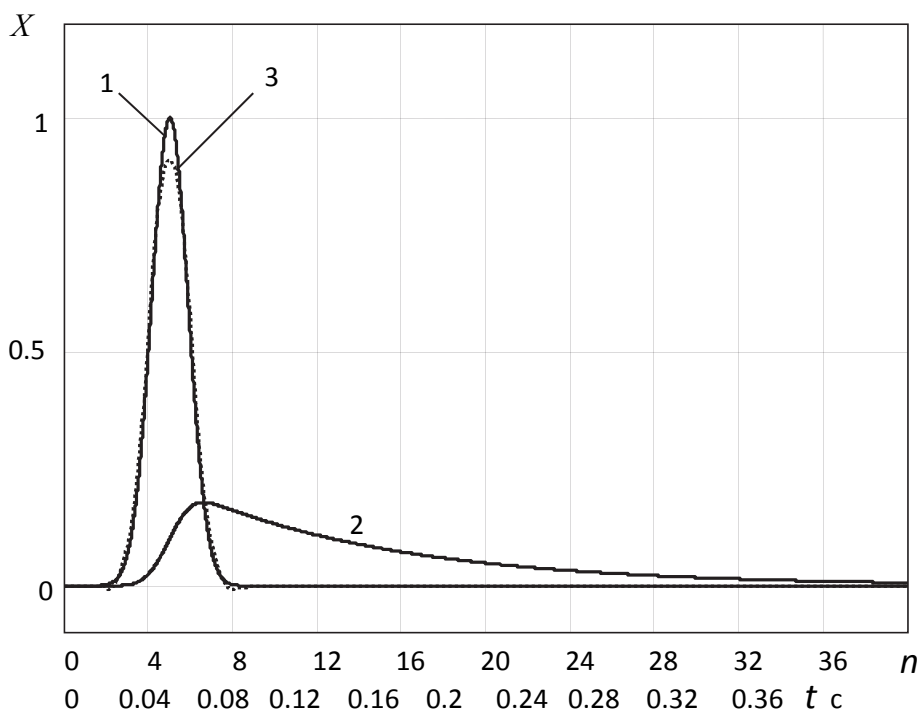


Рис. 3. Диаграммы сигналов:

1 – параметр  $x(t)$  на входе инерционного детектора; 2 – сигнал  $y(t)$  на выходе детектора;  
3 – скорректированный сигнал  $z(t-2)$ , сдвинутый на 2 дискретных интервала влево;

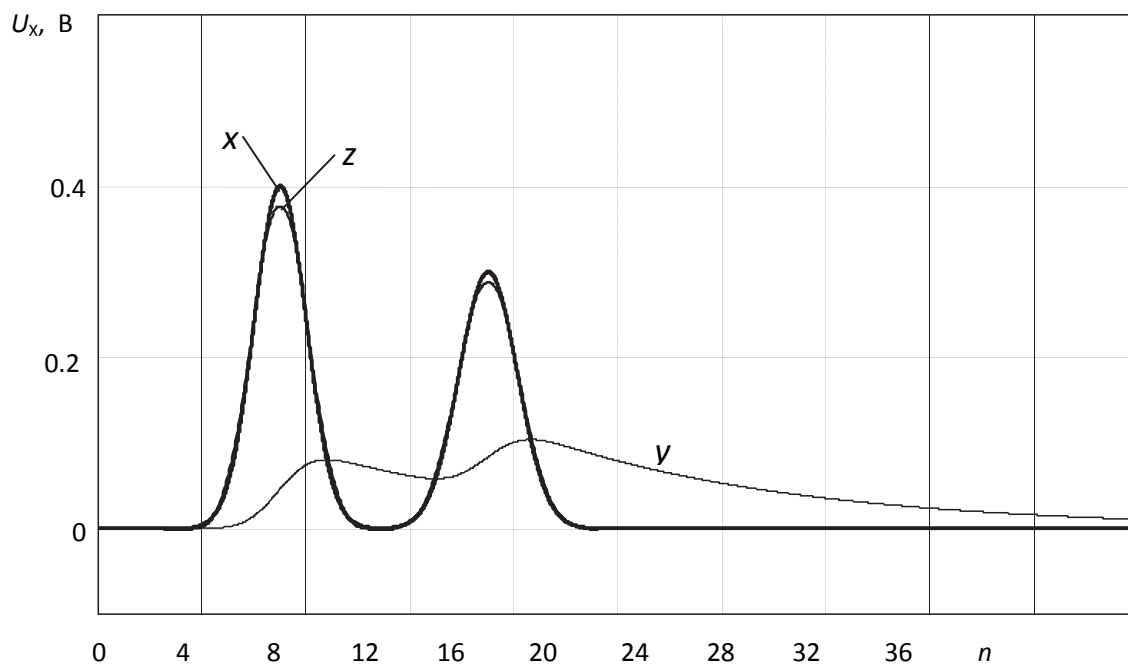


Рис. 4. Коррекция сигнала детектора, представляющего собой две смещенные Гауссовы функции

но друга на интервал 0,02с. Ширина Гауссовых функций составляет примерно 0,06с. Алгоритм коррекции использует параболическую сплайн- аппроксимацию дискретных значений сигнала детектора, интервал дискретизации составляет 0,01 с. Из рассмотрения диаграмм видно, что динамическая погрешность, в данном случае составляющая десятки процентов, с использовани-

ем описанного алгоритма коррекции снижается до нескольких процентов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод коррекции динамической погрешности инерционного детектора по теплопроводности показывает хорошие результаты в случае,

когда достаточно точно известна передаточная функция детектора. В том случае, когда передаточная функция представляет собой аperiodическое звено первого порядка, динамическая погрешность снижается в значительной степени. Описанный подход может быть применен и в том случае, когда передаточная функция детектора соответствует аperiodическому или колебательному звену второго порядка. Метод коррекции, описываемый выражениями (2) – (6), достаточно прост и может быть легко реализован современными микропроцессорными системами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высокоэффективная газовая хроматография [под ред. К.Хайвер, пер. с англ.]. М.: Мир. 1993. 288 с.
2. Berezkin V.G. Chromatographic Adsorption Analysis: Selected Works of M.S. Tswett, Ellis Horwood, New York, 1990, see: L.S. Ettre, Milestones in Chromatography, LC GS North America. 2003. P.p. 458-468.
3. Ланге П.К. Коррекция динамической погрешности измерительных преобразователей на основе сплайн-аппроксимации сигнала // Известия Самарского научного центра РАН. 2003. Т.5. № 2. С.162-168.
4. Ланге П.К. Сплайн – аппроксимация дискретных значений сигналов с применением методов цифровой фильтрации // Сб. труд. Самарского гос. тех. ун-та. Серия «Физ.-матем. науки». 2003. Вып.19. С. 134-138.
5. Динамические характеристики микродетектора теплопроводности для газоаналитических приборов / И.А. Платонов, П.К.Ланге, И.Н.Колесниченко, В.И.Платонов // Измерительная техника. 2015. № 6. С. 71-73.
6. Бражников В.В. Детекторы для хроматографии. М.: Машиностроение. 1992. 320 с.
7. Лейбнитц Е., Штруппе Х. [под ред. А.А. Жуховицкого]. Руководство по газовой хроматографии. М.: Мир, 1969. 503 с.

#### CORRECTION OF THE DYNAMIC ERROR OF INERTIAL DETECTORS FOR GAS ANALYSIS

© 2016 I.A. Platonov<sup>1</sup>, V.M. Muchin<sup>2</sup>, P.K. Lange<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

<sup>2</sup>Samara Electromechanical Plant

<sup>3</sup>Samara State Technical University

The method of dynamic error correction for thermal conductivity inertia detector with a transfer function having the form of the first order aperiodic element. The method is based on the realization of the inverse function operator describing inertia detector in a dynamic mode. Correction method uses a parabolic spline - approximation of discrete signal detector values, as well as its first derivative. An example of correction of the signal formed by the thermal conductivity detector of a particular type is described. It is shown that the use of a mathematical correction method based on digital filter in-line processing of discrete signal values allows to reduce in several times the dynamic error of inertia detector. It is proposed to use the method described above also for the correction of the signal detector, the operator of which having the form of the second order element. The considered method can be easily implemented using modern microprocessor measuring systems.

*Keywords:* A thermal conductivity detector, gas stream, transfer function, dynamic error, spline – approximation.

---

Igor Platonov, Doctor of Technics, Professor, Head at the Chemistry Department, Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev. E-mail: pia@ssau.ru  
Vasily Mukhin, Ph.D., CEO of JSC "Samara Electromechanical Plant". E-mail: directorsemz@mail.ru

Peter Lange, Doctor of Technics, Professor at the Information and Measuring Equipment Department, Samara State Technical University. E-mail: ims @ samgtu