

УДК 53.084.823

**КОМПЕНСАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДАТЧИКА РАСХОДА ГАЗА**

Владимир Михайлович Ловцов

*Студент 4 курса,**кафедра «Электронные технологии в машиностроении»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: В.Т. Рябов,**кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»***Аннотация**

В статье будет предложена методика по компенсации температурных погрешностей разброса зависимости теплового газового потока от изменения температуры и изменения напряжения терморезисторов для датчика расхода газа по технологии МЭМС. Будет рассмотрена термокомпенсация с двух сторон: с физической сущности процесса и экспериментальной. Основная цель работы – это создание функции, которая объединила бы в себе множество кривых  $Q(T_{in}, T_{out}, T_{sredi}, U)$ , и которую можно было бы аппроксимировать методом кубических сплайнов.

**Тезисы**

Датчик расхода газа предназначен для измерения расхода газа на основе перепада температур между термосенсорами, а также присутствует возможность измерения расхода жидкостей с помощью введения специального коэффициента среды. Работает в диапазонах: температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $60^{\circ}\text{C}$  и расхода от 0 до  $150 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Основным элементом данного прибора является первичный преобразователь или чувствительный элемент изготовленный по технологии МЭМС, где габариты  $9 \times 3 \times 0,46 \text{ мм}$ . Измерения расхода газа происходит двумя способами: анемометрическим и калометрическим – в основе которых находится гидрогазодинамическая физическая сущность процесса прохождения среды (газа или жидкости) через трубу с определенным диаметром, в которой находится чувствительный элемент, оказывающий сопротивление течению потока среды.

Резисторы, из которых два это терморезисторы, расположены симметрично относительно нагревателя, и один нагреватель по середине, нагреваются за счет электрического тока. Для измерения перепада температур между резисторами будет использован режим постоянной мощности, так как ТКС материала резисторов, платины, достаточно мал.

Большой проблемой для разработки данного чувствительного элемента и его конструкции, а также методологии по обработке сигнала послужило то, что нет соответствующей литературы и статей по данной тематике. В основу данной работы вошли статьи и работы в основном американских ученых и исследователей. Стоит заметить, что данный прибор разрабатывается на базе ЗАО «Зеленоградского нанотехнологического центра» и там проводятся необходимые НИР.

Ниже представлена формула описывающая зависимость расхода газа от изменения температуры, где  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления (ТКС);  $\beta\sqrt{Re}$  – потеря тепла за счет конвекции;  $\beta$  – коэффициент геометрической формы;  $\Delta T$  – перепад температуры между резисторами на входе и выходе потока с учетом температуры среды;  $\theta$  – угол между нормалью плоскости чувствительного элемента и направлением потока.

$$Q(T_{in}, T_{out}, T_{sredi}) = (\alpha + \beta|\cos \theta|\sqrt{Re})\Delta T \quad (1)$$

В формуле (1) первая часть  $(\alpha + \beta|\cos \theta|\sqrt{Re})$  является практически постоянной, вносит изменение лишь коэффициент Рейнольдса, основная же проблема находится во второй части формулы, где  $\Delta T$  зависит нелинейно от температуры окружающей среды, а так как нам

необходимо будет в дальнейшем производить аппроксимацию с помощью кубических сплайнов, то для этого метода необходимо будет составлять сплайновую таблицу и программировать микроконтроллер для обработки входных данных данным методом, так как другие методы либо вызывают слишком большие погрешности, либо слишком требовательны к вычислительным мощностям. Экономически целесообразно использовать микроконтроллер, чтобы не удорожать прибор.

Исследование зависимости  $\Delta T$ , далее сигнал  $\Delta InOut$  возможно только с эмпирической стороны. На данном этапе исследований была получена эмпирическая зависимость  $\Delta InOut$  от  $\Delta Sr$  приведенного показателя температуры относительно базовой кривой. За базовую кривую была взята зависимость при температуре среды  $20^\circ\text{C}$ . Ниже будет приведена примерная зависимость  $\Delta InOut(\Delta Sr, InOut)$

$$\Delta InOut = \Delta Sr \cdot \left( \frac{B}{InOut+D} + C \right)$$

(2)

$B, C, D$  – эмпирические коэффициенты, которые можно найти с помощью корреляционного анализа. В основе данной формулы лежит несколько предположений, что зависимость нелинейна, если изменение температуры среды будет равно нулю, то и изменение входного сигнала также будет равно нулю,  $\Delta InOut$  зависит от  $InOut$  гиперболически. Рассмотрев данные предположения и воплотив их в формулу, была получена зависимость (2), которая с большой точностью описывает нелинейность параметров данной зависимости. Коэффициент корреляции получился равным 0,99557.

На рисунке 1 представлено графическое отображение результатов экспериментов, где по оси абсцисс расход, а по оси ординат перепад температур.

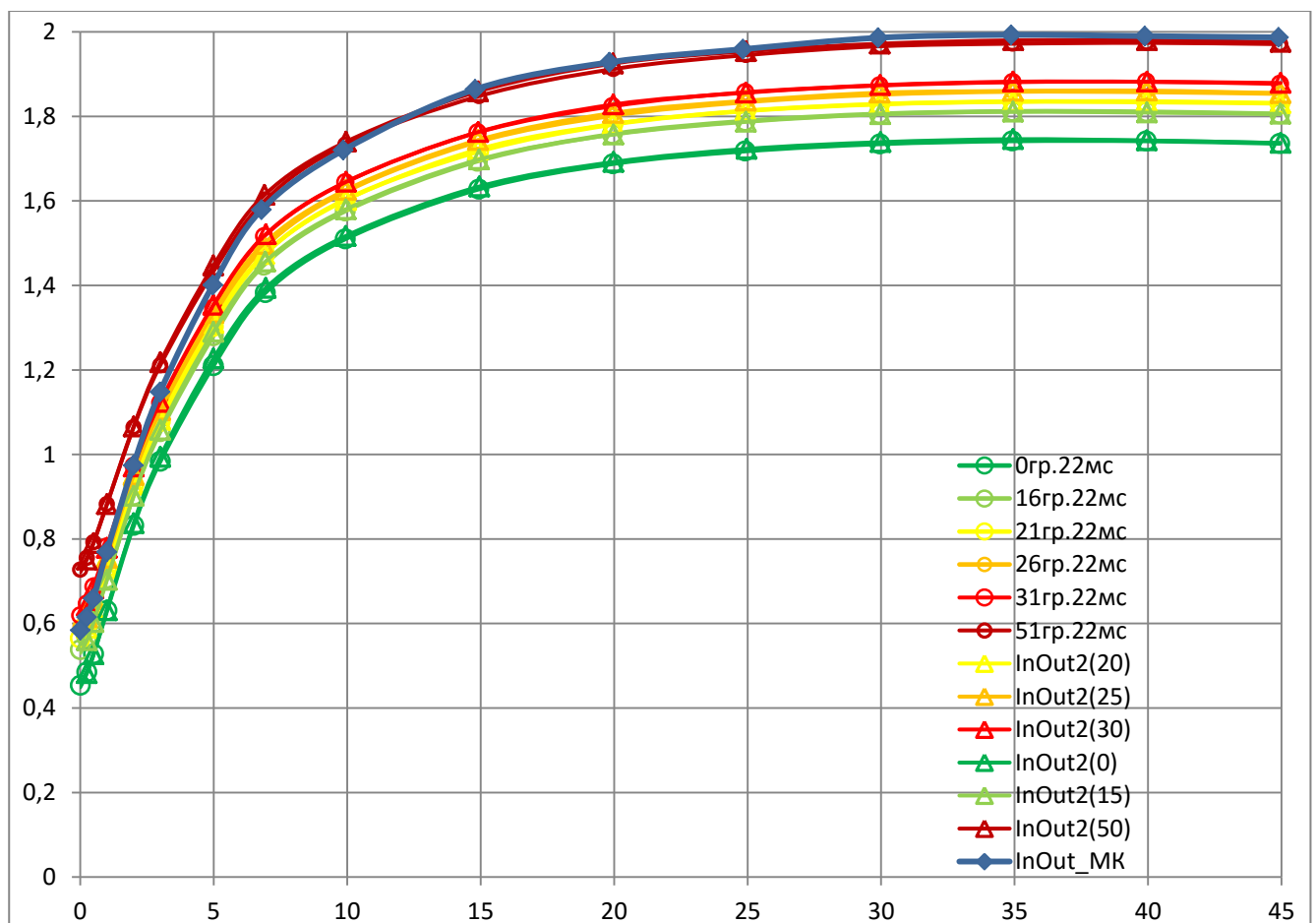


Рис.1. График зависимости расхода от перепада температур

Таким образом, данные формулы могут быть описаны языком программирования и добавлены в алгоритм обработки сигнала с чувствительного элемента на микроконтроллер. На данной стадии еще продолжается НИР по данной проблеме, так как нужно, зная зависимость  $Q(T)$  определить по  $\Delta InOut$  расход газа, но данная зависимость, описанная выше (2) не является оптимальной. Также формула (2) справедлива только при расходах до 10 л/мин, выше данного значения начинается смена методов измерения с калометрического на анемометрический и необходимо ввести соответствующие поправки. Идеальным результатом будет считаться тот, при котором получится такая функция, которая сможет объединить в себе множество кривых при различных температурах потока.

### Литература

1. *Рябов В., Дюжнев Н., Новиков Д.* Application of the streamlined body for properties amplification of thermoresistive MEMS gas flow sensor. – 2014;
2. *Бобров А.А., Попков А.Ф., Дюжнев Н.А.* Calculation of thermoresistive anemometer transducer on the membrane. // Nano and Microsystem Technology. – 2010. – №8. – С. 34-39;
3. *Yang-Qing Wu, Su-Ying Yao.* MEMS Thermal Mass Flow Meter with Double-Heater Structure // International Conference of Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC). – Tianjin, 2011;
4. *M. Elwenspoek, R. Wiegerink.* Mechanical Microsensors // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2001. - С. 153-205.