

М. В. КРУПИН, старший преподаватель кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России в составе УНК АСИТ (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: krupin3@yandex.ru)

А. В. РЯЗАНОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры инженерной экологии техносферы МГТУ МИРЭА (Россия, 119454, г. Москва, просп. Вернадского, 78)

УДК 681.586.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОМАГНИТНОГО ДАТЧИКА КИСЛОРОДА

Рассматриваются вопросы измерения концентрации кислорода в газовых смесях и особенности конструкции термомангнитного датчика кислорода. Приводятся результаты экспериментальных исследований по влиянию изменения температуры и давления азотно-кислородной смеси на показания термомангнитного датчика кислорода.

Ключевые слова: датчик; кислород; термомангнитная конвекция; микропровод.

В настоящее время резко возросло значение результатов измерений как источника объективной информации о величинах, характеризующих эффективность и качество производственных процессов, состояние и свойства окружающей среды. В связи с этим к измерительным приборам предъявляются повышенные требования по точности измерений, быстродействию, надежности, массе и габаритным размерам, экономичности питания. Принципы действия основной массы измерительных приборов базируются на работе первичных преобразователей, так как именно первичный преобразователь и основанный на нем датчик, как правило, определяют конструкцию прибора, точность и надежность измерений. Следовательно, разработка усовершенствованных первичных преобразователей, датчиков и измерительных приборов, работающих на их основе, представляет собой актуальную задачу.

В процессе проектирования газоанализатора основным этапом является проведение экспериментов с целью доказать адекватность аналитических соотношений, положенных в основу модели газоанализатора, реальным параметрам узлов прибора. На основании этого утверждения представляется возможным использовать имитационную модель для проведения серии машинных экспериментов в целях определения оптимальных параметров функционально значимых узлов газоанализатора.

Датчик состоит из двух чувствительных элементов *1* и магнитной системы, в которую входят два постоянных магнита *2*, стальные (*3*) и алюминиевые (*4*) пластины. В качестве постоянных магнитов в эксперименте использовались наиболее распространенные неодимовые магниты толщиной 3 мм и диаметром 18 мм. Вид сверху на базовый вариант магнитной системы без одного из магнитов и замыкающих верхних пластин представлен на рис. 1.

Чувствительный элемент датчика (рис. 2) представляет собой спираль из 5–6 витков из проволоки толщиной 10–12 мкм в сплавленной термостойкой оболочке 1,0–1,5 мкм, сопротивлением 32–36 Ом. Спираль чувствительного элемента приваривается на токопроводящие проводники, установленные в транзисторные стойки. Такой датчик имеет малые (почти точечные) размеры, что позволяет устанавливать их в любое место магнитной системы.

В эксперименте чувствительные элементы устанавливались симметрично в магнитной и немагнитной частях измерительной системы на расстоянии

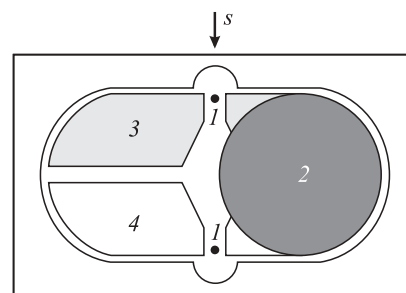


Рис. 1. Базовый вариант магнитной системы без замыкающих верхних пластин

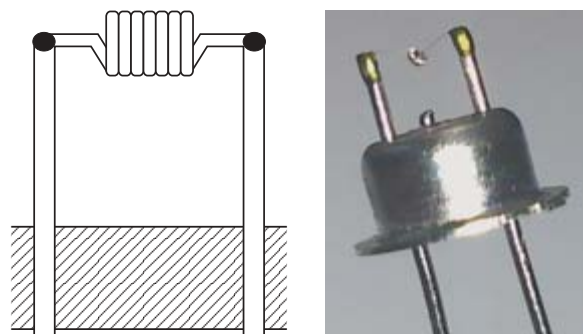


Рис. 2. Чувствительный элемент термомангнитного датчика

0,5 мм от внешних краев пластин в середине зазора по толщине, что позволило обеспечить необходимый температурный режим и решить проблему влияния неопределяемых компонентов газов.

На рис. 3 приведены расчетная зависимость напряженности магнитного поля H (А/м) в воздушном зазоре от осевой координаты s (см. рис. 1), ее аппроксимация в окрестности максимума и зависимость произведения $H \cdot dH/ds$ от осевой координаты s [2].

Из рис. 3 видно, что кривая зависимости произведения $H \cdot dH/ds$ от осевой координаты s около максимумов имеет очень крутые характеристики, поэтому необходимо чувствительные элементы располагать в местах, где произведение $H \cdot dH/ds$ максимально.

Для проведения экспериментов с датчиком термомагнитного газоанализатора был разработан испытательный стенд [2], состоящий из пневматической, силовой и измерительной частей, смонтированных на корпусе. Термомагнитный датчик располагался в герметичной камере, в которой установлен вентилятор для более равномерного перемешивания в ее объеме газовой смеси. Чувствительные элементы соединялись по мостовой схеме. Полезный сигнал снимался с диагонали измерительного моста.

Были проведены опыты по определению влияния температуры газовой смеси на показания термомагнитного датчика при давлении азотно-кислородной газовой смеси 1 атм и питающем напряжении 5 В. Температура газовой смеси изменялась в интервале от минус 30 до 30 °С с шагом 10 °С с помощью камеры тепла-холода КТХ-74. Внешний вид испытательного стенда с камерой тепла-холода типа КТХ-74 представлен на рис. 4.

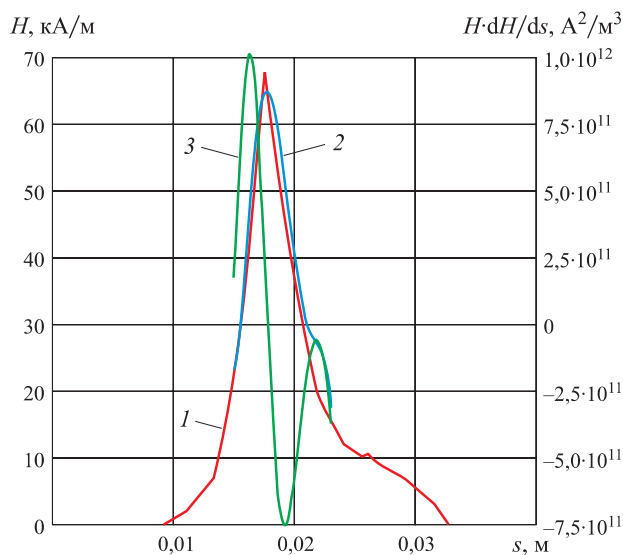


Рис. 3. Расчетные зависимости $H=f(s)$ для базового варианта магнитной системы: 1 — опыт; 2 — аппроксимация; 3 — $H \cdot dH/ds$

Была найдена аналитическая формула $f = y(x)$, которая аппроксимирует экспериментальную (табличную) зависимость с помощью многочлена первой степени $y(x) = kx + b$. Оценка погрешности экспериментальных данных обрабатывалась методом наименьших квадратов. Результаты физического моделирования при изменении концентрации кислорода в азоте от 0 до 100 % в виде графических зависимостей выходного напряжения U (мВ) измерительного моста от концентрации кислорода C (% об) при различных значениях температуры газовой смеси представлены на рис. 5.

Кроме того, были проведены опыты по определению зависимости показаний термомагнитного датчика от давления азотно-кислородной смеси при заданной температуре и питающем напряжении 5 В



Рис. 4. Испытательный стенд с камерой тепла-холода типа КТХ-74

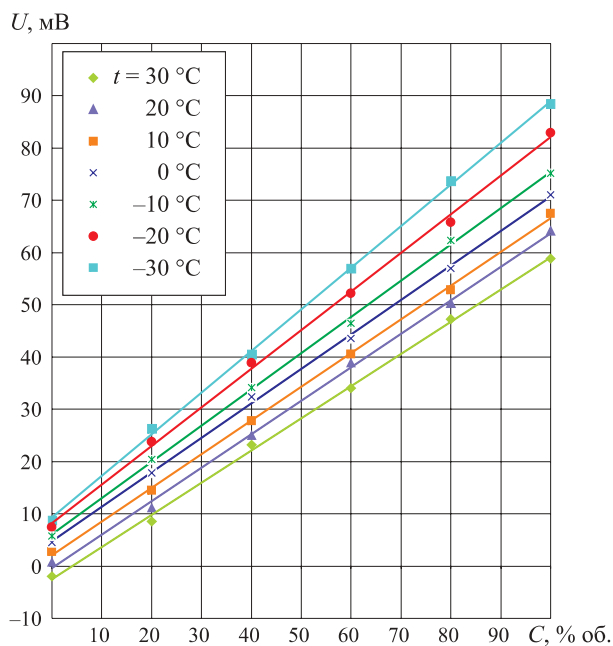


Рис. 5. Экспериментальные данные и их аналитическая зависимость по определению температурных погрешностей



Рис. 6. Внешний вид экспериментальной установки по выявлению зависимости показаний термомагнитного датчика от давления газовой смеси с помощью трехотсечной барокамеры в составе глубоководного водолазного комплекса ГВК-250

на экспериментальной установке, представленной на рис. 6.

Зависимость выходного напряжения измерительного моста от давления газовой смеси представлена на рис. 7.

Нормальная жизнедеятельность человека может быть обеспечена поддержанием парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе на определенном уровне. Парциальное давление есть произведение доли газа в газовой смеси на общее давление смеси. Так, при изменении давления газовой смеси в 1,5 раза показания датчика изменяются на столько же. Это говорит о том, что датчик производит измерения парциального давления, что дает возможность применять термомагнитный датчик для определения концентрации кислорода в газовой смеси с точки зрения влияния количества кислорода на физиологические реакции человека. Для измерения просто процентного содержания кислорода надо учитывать давление газа.

Современное состояние аналитического приборостроения характеризуется как большим разнообразием задач газового анализа, так и широким диапазоном требований к условиям работы газоана-

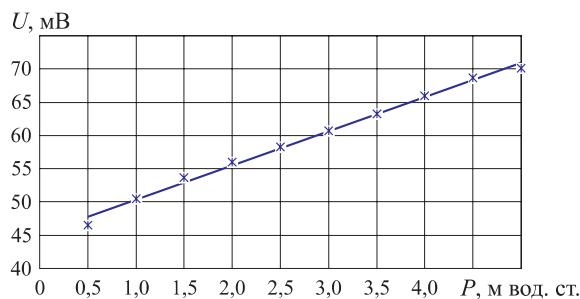


Рис. 7. Экспериментальные данные и их аналитическая зависимость по определению барометрической погрешности

лизаторов. Так, к газоанализаторам предъявляются новые требования, такие как длительная работа без обслуживания, минимальная погрешность измерений при больших диапазонах изменения условий эксплуатации (температуры, давления, изменения ускорения свободного падения, большого количества и различия неизмеряемых компонентов). Однако создание универсального, точного, чувствительного, быстродействующего газоанализатора и применение его для решения многих задач газового анализа экономически нецелесообразно. Одним из наиболее рациональных путей является создание газоанализатора с гибкой, программно настраиваемой структурой в зависимости от класса решаемой задачи. При этом некоторая избыточность аппаратных средств компенсируется высоким уровнем унификации, технологичности, что, в свою очередь, наряду с расширением функциональных возможностей газоанализаторов и ростом их номенклатуры, существенно снижает стоимость единицы продукции.

Результаты экспериментальных исследований дают основание утверждать, что термомагнитный датчик является наиболее перспективным для анализа кислорода в широком диапазоне при значительных изменениях температуры и давления газовой смеси и по своим характеристикам превосходит известные образцы сенсоров на кислород. Использование в качестве чувствительного элемента микропиралы из литого микропровода позволяет значительно улучшить эксплуатационные характеристики термомагнитных газоанализаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крупин М. В., Зыков В. И. О термомагнитном принципе детектирования кислорода в газовых смесях // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2012. — № 3. — С. 19–23.
2. Зыков В. И., Крупин М. В., Копылов Н. П., Цариченко С. Г. Стенд для испытаний термомагнитных газоанализаторов кислорода на объектах энергетики // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2012. — № 3. — С. 58–63.

Материал поступил в редакцию 15 сентября 2014 г.

EXPERIMENTAL STUDIES OF THERMOMAGNETIC OXYGEN SENSOR

KRUPIN M. V., Senior Lecturer of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: krupin3@yandex.ru)

RYAZANOV A. V., Candidate of Technical Sciences, Docent, Moscow State Institute of Radiotechnics, Electronics and Automation (MIREA) (Vernadskogo Avenue, 78, Moscow, 119454, Russian Federation)

ABSTRACT

By measuring instruments there are increased requirements in terms of accuracy of measurements, performance devices, increase their reliability, reduce weight and dimensions, power saving. The principles of operation of the bulk of instrumentation are based on the work of the primary converters. Thermomagnetic sensor consists of two sensing elements and the magnetic system. The sensing element is a spiral of 5–6 turns of wire with a thickness of 10–12 microns in a thermally fused shell of 1.0–1.5 mm. Such a sensor has a small size, which allows them to be installed in any location of the magnetic system. Sensing elements should be placed in locations where the product $H \cdot dH/ds$ maximum.

Experiments were carried out to determine the effect of temperature and pressure of nitrogen-oxygen mixture to the testimony of the thermomagnetic sensor at a supply voltage of 5 V. The temperature of the gas mixture was varied in the range from minus 30 to 30 °C in steps of 10 °C with the camera heat-cold KTKh-74. It was found analytical formula $f = y(x)$, which approximates the experimental (tabular) dependence using the first-degree polynomial $y(x) = kx + b$.

Results of experimental studies give reason to believe that the thermomagnetic sensor is the most promising for the analysis of a wide range of oxygen at high temperature and pressure of the gas mixture and outperforms known examples of sensors for oxygen. Using as a sensing element microspiral of cast microwire can significantly improve the performance of the thermomagnetic analyzers.

Keywords: sensor; oxygen; thermomagnetic convection; cast microwire.

REFERENCES

1. Krupin M. V., Zikov V. I. O termomagnitnom printsipe detektirovaniya kisloroda v gazovykh smesnykh [On the principle of thermomagnetic detection of oxygen in gas mixtures]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya* — *Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2012, no. 3, pp. 19–23.
2. Zikov V. I., Krupin M. V., Kopylov N. P., Tsarichenko S. G. Stend dlya ispytaniy termomagnitnykh gazoanalizatorov kisloroda na ob'yektakh energetiki [Stand for testing gas oxygen thermomagnetic at energy]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya* — *Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2012, no. 3, pp. 58–63.