

УДК 531.7.681.3

© В. А. Иванов, В. В. Каминский, Н. Н. Степанов

ДВУХПАРАМЕТРОВЫЙ ДАТЧИК КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА НА ОСНОВЕ SmS (краткое сообщение)

Дано описание разработанного авторами двухпараметрового датчика давления и температуры на основе тонкопленочного барорезистора из сульфида самария на стеклянной подложке и термопары хромель—алюмель. Датчик работоспособен при температурах в интервале $(-60, +40)$ °С и давлениях до 70 МПа, имеет быстродействие 0.1 с, область локализации измерений объемной деформации ~ 1 мм³, устойчив в бетоне в течение более 3 лет. Датчик предназначен для измерений во влажных дисперсных средах (бетон, грунт и др.). Для иллюстрации возможностей датчика проведены измерения в застывающем бетонном тесте и грунте $(-50, +20)$ °С.

Кл. сл.: барорезисторы, моносульфид самария, датчики давления и температуры

Комбинированными можно назвать датчики, включающие в себя два и более разнородных чувствительных элемента. Представленный в настоящей работе датчик локальных объемных напряжений в бетоне или грунте, возникающих в условиях быстроменяющихся температур, выполнен на основе тонкопленочного барорезистора с чувствительным слоем из SmS и термопары [1, 2]. Высокая степень линейности зависимостей логарифма электросопротивления R от температуры T и давления P позволяет связать P , T и R барорезистора

соотношением

$$\ln R = \ln R_0 + P_g \cdot P + \alpha \cdot T, \quad (1)$$

где R_0 — начальное электросопротивление датчика, P_g и α — соответственно барический и температурный коэффициенты сопротивления. Из уравнения (1) можно получить следующее соотношение:

$$P = A_0 + A_1 \cdot \ln R + A_2 \cdot T, \quad (2)$$

где $A_0 = -(\ln R_0) / P_g$; $A_1 = (P_g)^{-1}$; $A_2 = -\alpha / P_g$.

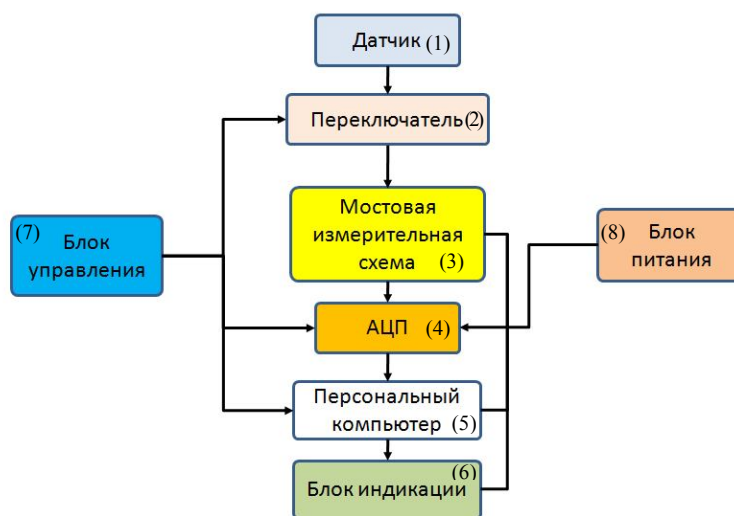


Рис. 1. Структурная схема измерительного устройства с двухпараметровым датчиком давления и температуры. Обозначения в тексте

С хорошей точностью значение температуры можно связать с выходным сигналом термопары (U) полиномом, аппроксимирующим номинальную статистическую характеристику (НСХ) преобразования хромель-алюмелевой (ХА) термопары [5]:

$$T = \sum_{i=0}^8 C_i \cdot U^i. \quad (3)$$

Коэффициенты полинома, а также значения R_0 , P_g и α барорезистора с предварительной их градуировкой хранятся в памяти компьютера. Нахождение P и T по измеренным U и R осуществляется с помощью выражений (2) и (3). Структурная схема измерительного устройства приведена на рис. 1. Выход датчика 1 через переключатель 2 связан со входом мостовой измерительной схемы 3, выходной сигнал которой через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 4 поступает в память компьютера 5. Результаты вычисления физических величин P и T выводятся на блок индикации 6. Питание измерительной схемы обеспечивается блоком 7, а блок 8 управляет работой измерительного устройства в целом.

Применение барорезистора на основе SmS в датчике локальных объемных напряжений в бетоне оправдано не столько линейностью логарифмов его характеристик, сколько стабильностью параметров этого материала в бетоне. Известны различные датчики напряженного состояния в бетоне на основе металлических тензорезисторов (см., например, [3]). Однако такие тензорезисторы не долговечны при нахождении в бетоне и поэтому не позволяют стабильно производить измерения без специальных устройств, защищающих тензорезисторы от непосредственного соприкосновения с бетоном. При помощи таких устройств не представляется также возможным измерять

объемные деформации в бетоне в малых областях порядка 1 мм^3 . Не удается проводить подобные измерения и с помощью датчиков других типов, например магнитострикционных [4], вследствие их большого размера (не менее 10 см^3). В то же время необходимость в таких измерениях имеется, в частности, для диагностики поведения бетонных изделий, изготавливаемых и работающих в условиях отрицательных температур. Одна из основных проблем здесь состоит в определении наиболее низких температур и некоторых других условий, при которых возможно бетонирование. Критерием в этом случае может служить поведение локальных объемных напряжений при понижении температуры. Кроме того, для практики необходимы датчики, постоянно установленные в бетонных конструкциях, с помощью которых может осуществляться постоянный мониторинг их надежности при эксплуатации.

Важное значение имеет использование в качестве подложки пленочного барорезистора силикатного стекла [1]. Малая жесткость датчиков вследствие небольшого модуля упругости стекла и их мало отличающийся от бетона коэффициент линейного расширения не вносят существенных искажений в поле напряжений бетонных конструкций. Кроме того, привлекает доступность и дешевизна выпускаемых промышленностью тонких ($\sim 100 \text{ мкм}$) стекол. Главным же является обнаруженная нами стабильность поведения моносульфида самария на стекле в бетоне. На рис. 2 из [1] представлен график временной зависимости электросопротивления барорезистора. Измерения проводились в течение трех лет. Слабая зависимость электросопротивления датчика от времени позволила избежать применения для них каких-либо защитных покрытий.

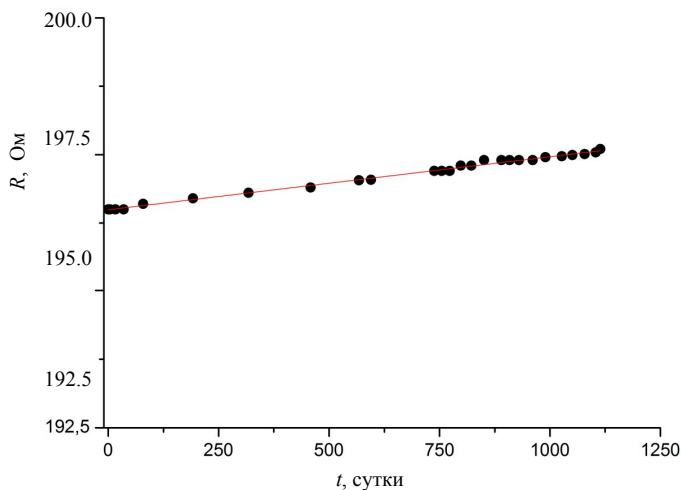


Рис. 2. Временная стабильность электросопротивления тонкопленочного барорезистора на основе SmS на стеклянной подложке в бетоне

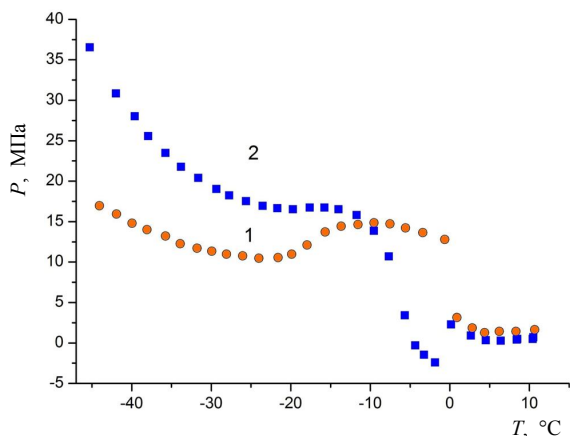


Рис. 3. Зависимости локальных объемных напряжений от температуры в затвердевающем бетоне (точки 1) и замораживаемом грунте (квадраты 2), полученные с помощью двухпараметрового датчика комбинированного типа с барорезистором из SmS

Конструктивно датчик представляет собой подложку из силикатного стекла с размерами $1.5 \times 1.0 \times 0.1$ мм, на которую нанесен чувствительный слой состава $Sm_{0.995}Gd_{0.005}S$ и контактные площадки из константана. На одну из контактных площадок напаяна ХА-термопара. Сопrotивление резистора 200 ± 5 Ом, $P_g = (1.00 \pm 0.01) \cdot 10^{-3}$ МПа⁻¹, $\alpha = (1.10 \pm 0.01) \cdot 10^{-3}$ К⁻¹. Такие датчики позволяют проводить измерения объемных напряжений до 70 МПа, с точностью до 2 % при температурах от -60 до +40 °С в областях размером ~1 мм³.

Датчик работает совместно с компьютерно-измерительной системой "Аксамит-6.25". Барорезистор и термопара подключаются по схемам для подключения резистивных датчиков и термопар согласно описанию системы. Быстродействие датчика определяется быстродействием измерительной системы и составляет 0.1 с. Других датчиков, позволяющих проводить аналогичные измерения, в настоящее время не существует.

Для иллюстрации возможностей датчиков на рис. 3 приведены полученные с их помощью зависимости локальных объемных напряжений от температуры в затвердевающем бетоне и замораживаемом грунте. Барорезисторы калибровались с помощью задатчика давления МЦ-600 в интервале давлений от атмосферного до 60 МПа при температурах +20 °С и -50 °С и с помощью газовой камеры до давлений 15 МПа при $T = -50$ °С.

Тарирование термопар и барорезисторов по температуре, а также эксперименты по определению объемных напряжений проводились при естественно низких температурах в климатической камере фирмы "Фойтрон" типа 3101-01 в диапазоне температур (+20, -50) °С. В этих диапазонах P и T параметры P_g и α сохраняли указанные выше значения. Датчики показали свою работоспособность во влажных дисперсных средах, таких как бетон или грунт в указанном температурном интервале. Кривая 1 на рис. 3 снята в бетонном тесте (цемент, песок, вода в весовом соотношении 1 : 1.09 : 0.35 соответственно), кривая 2 — в грунте (песок и вода в соотношении 2.08 : 0.35). Охлаждение происходило в течение ~ 2 ч. Кривые такого типа удалось получить впервые. Никакими другими средствами это сделать невозможно. Из анализа кривых 1, 2 на рис. 3 следует принципиальное отличие поведения бетонного теста и грунта. Это является следствием мелкодисперсности цемента. В связанной воде замерзание происходит постепенно в различных порах разного размера при различных температурах. Рисунок позволяет сделать вывод, что бетонирование может производиться при $T \geq -10$ °С, т. к. до таких температур вода в бетонном тесте находится в жидкой фазе.

Датчики применялись в Институте физико-технических проблем Севера СО РАН для диагностики поведения бетонных изделий, работающих в условиях Крайнего Севера и зоны вечной мерзлоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каминский В.В., Сосов Ю.М., Володин Н.М. и др. Тензорезистор. А. с. № 1717946, приоритет от 11.07.1989.
2. Каминский В.В., Молодых А.А., Степанов Н.Н. и др. Особенности применения полупроводниковых тензо- и барорезисторов на основе сульфида самария // Научное приборостроение. 2011. Т. 21, № 2. С. 53–59.
3. Архипов А.М. Закладной прибор для измерения деформаций в бетоне. А. с. № 214190, приоритет от 11.01.1967.
4. Эссорг Х.Х., Кульмет Р.Ю., Виркус Х.М. и др. Устройство для определения напряженного состояния бетонных строительных конструкций и изделий. А. с. № 1021934, приоритет от 19.06.1981, БИ № 21. 1983.
5. ГОСТ 8.585–2001 Термопары. Номинальные статистические характеристики преобразования. М.: Госстандарт России. 2001.

*Институт физико-технических проблем Севера
СО РАН, г. Якутск (Иванов В.А.)*

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
РАН, г. Санкт-Петербург (Каминский В.В.,
Степанов Н.Н.)*

Контакты:
Иванов Василий Алексеевич,
v.ivanov49@mail.ru

Каминский Владимир Васильевич,
vladimir.kaminski@mail.ioffe.ru

Степанов Николай Николаевич,
stnick@hotmail.ru

Материал поступил в редакцию: 28.08.2014

THE SmS BASED TWO-PARAMETER SENSOR OF A COMBINED TYPE (Short message)

V. A. Ivanov¹, V.V. Kaminski², N. N. Stepanov²

¹*Institute of Physical-Technical problems of the North, SB RAS, Yakutsk, RF*

²*Ioffe Physical-Technical Institute of RAS, Saint-Petersburg, RF*

The description of a two-parameter sensor, which is able to measure pressure and temperature was presented. This sensor was developed by the authors of the paper based on thin-film baroresistor made of samarium monosulfide placed on a glass substrate and achromel-alumel thermocouple. The sensor operates at temperatures of $(-60)÷(+40)$ °C and pressures up to 70 MPa, has a speed of 0.1 s, has the area of volumetric strain measurements localization ~ 1 mm³, is stable while being placed in concrete for more than 3 years. The sensor is designed for measurements in wet particulate media (concrete, soil, etc.). The measurements in the stiffening concrete and ground at the temperature range of $(+20)÷(-50)$ °C were conducted to illustrate the capability of the sensor.

Keywords: baroresistors, samarium monosulphide, pressure and temperature sensors

Contacts: *Stepanov Nikolay Nikolaevich,*
stnick@hotmail.ru

Article arrived in edition: 28.08.2014