

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 681.3:622.24

DOI: 10.22213/2410-9304-2017-1-37-40

А. Н. Краснов, кандидат технических наук
Уфимский государственный нефтяной технический университет

ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ В СКВАЖИНЕ ОДНИМ ДАТЧИКОМ ПО ТРЕХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

В статье описывается устройство для измерения геофизических параметров в скважине, преобразуемых в изменение активного сопротивления резистивного датчика с использованием трехпроводной линии связи. Предлагаемое изобретение может быть использовано в нефтегазовой промышленности для исследования нефтяных и газовых скважин, а также для исследования высокотемпературных парогидротермальных скважин, предназначенных для получения пара из недра земли для геотермальных станций.

Ключевые слова: измерение давления и температуры, тензодатчик, парогидротермальная скважина.

Известны способы и устройства для дистанционного измерения давления [1] и температуры [2], использующие четырехпроводную линию связи. Однако использование четырех проводов линии связи для измерения одного параметра, невозможность внесения поправки на изменение температуры при изменении давления [3] снижает точность измерения давления, т. к. не известна температура самого тензопреобразователя, а при измерении температуры скважины дистанционным термометром [4] необходимы два датчика температуры, что усложняет устройство.

Известен способ измерения давления и температуры в скважине одним датчиком (тензомостом) [5], включающий подачу тока на датчик, измерение напряжений, по которым определяют значения измеряемых параметров.

Известное устройство для измерения давления и температуры, выбранное в качестве прототипа [6], содержит мостовой тензопреобразователь давления (тензомост) четырехпроводную линию связи (трехжильный бронированный геофизический кабель), три источника тока.

Недостатком известного способа и устройства является наличие трех источников тока, что усложняет устройство и, кроме того, создает трудности получения одинаковых токов, наличие шести нелинейных ключевых элементов (диодов) и подбор их попарно с одинаковыми вольт-амперными характеристиками также представляют значительную сложность и увеличивают дополнительную погрешность при изменении их температуры, что снижает точность измерения напряжения на выводах источника тока. Кроме того, в производственных условиях невозможно включить диоды в разрыв плеч тензомоста. Это может сделать только завод-изготовитель датчиков.

Цель изобретения – повышение точности способа и упрощение устройства измерения за счет использования двуплечего резистивного датчика давления

типа КНС (полумостовой датчик вместо мостового), повышения чувствительности по напряжению в два раза по сравнению со стандартным мостовым датчиком, устранения влияния сопротивления линии связи и отключение от брони кабеля, на которой наводится быстроменяющаяся ЭДС поляризации горных пород, а также ЭДС, вызванная электрохимическим потенциалом между жидкостью и броней кабеля.

Сущность изобретения заключается в том, что в способе измерения давления и температуры одним датчиком, включающим подачу тока на двуплечий тензомостовой датчик и измерение напряжений, по которым определяют значения измеряемых параметров, согласно изобретению при подаче положительного импульса тока, измеряется напряжение между одним питающим двуплечий тензомостовой датчик проводом (верхним) и потенциальным (средним) U_1 и между другим, питающим двуплечий тензомостовой датчик проводом (нижним) и потенциальным (средним) U_2 , а при подаче отрицательного импульса тока на плечо тензомоста 1 измеряется напряжение между потенциальным (нижним) и питающим проводом (средним) U'_2 , а значения давления и температуры определяют из соотношений:

$$P = K_p \Delta R_p = \frac{U_1 - U_2}{I};$$

$$T = K_T \Delta R_T = \frac{U_1 + U_2 - 2U'_2 - 2U_0}{2I},$$

где P , T соответственно давление кгс/см² и температура [°C] в месте нахождения скважинной части прибора; I – значение питающего тока, [мА]; ΔR_p , ΔR_T – приращение активных сопротивлений тензодатчика от изменения измеряемых параметров давления и температуры, [Ом]; K_p – коэффициент пропорциональности давления, кгс/см²·Ом; K_T – коэф-

коэффициент пропорциональности температуры, град./Ом; U_1, U_2, U_3 – измеряемые напряжения, [мВ]; $2U_0 = 2IR_{PH}$ – падение напряжения на двухплечом тензомостовом датчике (при отсутствии давления и заданной начальной температуре), [мВ]; R_{PH} – номинальное сопротивление тензодатчика, [Ом].

Поставленная цель достигается также тем, что в устройстве для измерения давления и температуры одним датчиком, содержащим полумостовой резистивный преобразователь давления, линию связи, двухполярный источник тока, согласно изобретению выводы источника тока соединены с тремя входами многоканального аналого-цифрового преобразователя (МАЦП) и через провода линии связи с двухплечим тензомостовым датчиком.

На рис. 1 представлена схема, поясняющая способ, на рис. 2 – устройство для осуществления способа.

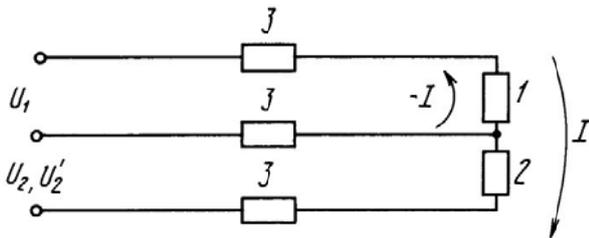


Рис. 1. Схема способа измерения

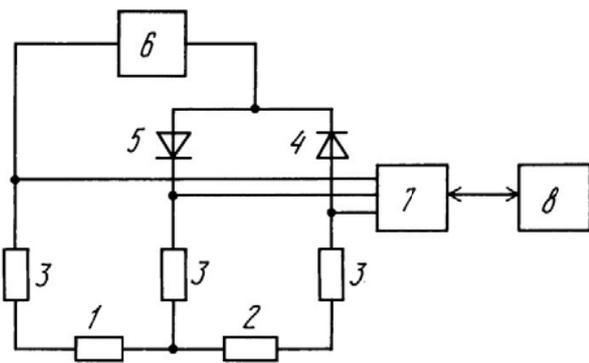


Рис. 2. Схема устройства

Способ осуществляется следующим образом. Измерительная цепь содержит полумост с тензорезисторами 1 и 2, где тензорезистор 1 получает положительное приращение сопротивления ΔR_p , а тензорезистор 2 – отрицательное приращение сопротивления ΔR_p при увеличении измеряемого давления, а при изменении температуры плечи тензомоста получают одинаковое приращение ΔR_T , трехпроводную линию связи с активным сопротивлением каждого провода 3.

Способ измерения давления и температуры одним датчиком осуществляется в следующей последовательности.

К верхнему и нижнему питающим двухплечий тензомостовой датчик проводам 3 подают ток одной полярности и измеряют напряжения между верхним питающим проводом и потенциальным (средним) U_1 ,

между нижним питающим проводом и потенциальным (средним) U_2 , а при подаче тока другой полярности на плечо 1 двухплечего тензомостового датчика измеряют напряжение между нижним (потенциальным) и средним (питающим) проводами U_2' . Значения давления и температуры определяют из соотношений

$$U_1 = I(R_{PH} + \Delta R_p + \Delta R_T + R_{л1}); \quad (1)$$

$$U_2 = I(R_{PH} - \Delta R_p + \Delta R_T + R_{л1}); \quad (2)$$

$$U_2' = -IR_{л2}, \quad (3)$$

где $R_{л1}$ – сопротивление одного провода линии связи, [Ом].

Вычитая из уравнения (1) уравнение (2) и разрешая относительно ΔR_p , получим

$$\Delta R_p = \frac{U_1 - U_2}{2I}, \quad (4)$$

а давление определяют, заранее определив коэффициент пропорциональности K_p градуировкой тензодатчика в функции давления:

$$P = K_p \Delta R_p. \quad (5)$$

Подставив в уравнение (1) значения из уравнений (3) и (4) и разрешая его относительно ΔR_T , получим:

$$\Delta R_T = \frac{U_1 + U_2 - 2U_2' - 2U_0}{2I}, \quad (6)$$

где $2U_0 = 2IR_{PH}$ – падение напряжения на двухплечом тензомостовом датчике.

Тогда значение температуры определяется из соотношения

$$T = K_T \Delta R_T, \quad (7)$$

определив заранее коэффициент K_T градуировкой тензодатчика в функции температуры.

Устройство для одновременного измерения давления и температуры одним датчиком содержит двухплечий датчик давления типа КНС с тензорезисторами 1 и 2, трехпроводную линию связи, которая представляет собой трехжильный кабель с сопротивлением каждой жилы 3, два нелинейных ключевых элемента (диода) 4, 5.

Устройство имеет двухполярный источник тока 6, быстродействующий многоканальный АЦП (МАЦП) 7 и микропроцессорный блок 8 (МПБ).

Двухплечий датчик давления имеет равные номинальные значения сопротивлений тензорезисторов R_{PH} , которые получают равные и противоположные по знаку приращения сопротивлений от изменения давления и равные приращения сопротивлений тензорезисторов от изменения температуры, т. е. текущее значение сопротивления тензорезистора 1 определяется выражением

$$R_{PH} + \Delta R_p + \Delta R_T,$$

а тензорезистора 2 в этом случае выражением

$$R_{PH} - \Delta R_p + \Delta R_T$$

при увеличении давления и температуры.

Выводы источника тока соединены с тремя входами МАЦП и тремя проводами линии связи с двухплечим тензомостовым датчиком. Причем первый вывод источника тока соединен непосредственно с первым входом МАЦП и через первый провод линии связи с первым плечом двухплечего тензомоста, а второй вывод источника тока одним концом соединен через плюс первого диода со вторым входом МАЦП и через третий провод линии связи с другим плечом двухплечего тензомоста, а другим концом через минус второго диода с третьим входом МАЦП и через второй провод линии связи с общей точкой плеч двухплечего тензомоста, выход МАЦП подключен к микропроцессорному блоку.

Устройство для реализации способа измерения давления и температуры одним датчиком работает следующим образом.

В момент подачи положительного импульса тока от источника тока 6 к двухплечему тензомостовому датчику напряжение U_1 на входе МАЦП равно

$$U_1 = I(R_{PH} + \Delta R_p + \Delta R_T + R_{Л}), \quad (8)$$

где $R_{Л}$ – активное сопротивление одного провода линии связи, [Ом]; R_{PH} – номинальное сопротивление тензодатчика (при отсутствии избыточного давления и заданной начальной температуре); ΔR_p , ΔR_T – приращение активного сопротивления тензорезистора, соответственно, от изменения измеряемых давления и температуры, которое по команде, поданной на управляющий вход МАЦП 7 от МПБ 8, преобразуется в цифровой код N_1 , [Ом]:

$$N_1 = aU_1 = aI(R_{PH} + \Delta R_p + \Delta R_T + R_{Л}), \quad (9)$$

где a – коэффициент преобразования; 1/мА.

Затем на вход МАЦП 7 по команде от МПБ 8 подается напряжение U_2 , которое определяют из соотношения

$$U_2 = I(R_{PH} - \Delta R_p + \Delta R_T + R_{Л}). \quad (10)$$

По команде, поданной на управляющий вход МАЦП 7, оно преобразуется в цифровой код N_2 , [Ом]:

$$N_2 = aU_2 = aI(R_{PH} - \Delta R_p + \Delta R_T + R_{Л}). \quad (11)$$

Далее, в момент подачи источником тока 6 отрицательного импульса тока к тензодатчику напряжение U'_2 на входе МАЦП 7 равно

$$U'_2 = -IR_{Л}. \quad (12)$$

Оно преобразуется по команде, поданной на МАЦП 7 в цифровой код N_3 , [Ом]:

$$N_3 = aU'_2 = a(-IR_{Л}). \quad (13)$$

Информация о напряжениях U_1 , U_2 , U'_2 в виде кодов N_1 , N_2 , N_3 последовательно поступает в микропроцессорный блок МПБ 8. В МПБ осуществляется определение приращений сопротивлений, вызванных изменением давления и температуры, по следующим алгоритмам

$$N_1 - N_2 = a(U_1 - U_2) = 2aI\Delta R_p; \quad (14)$$

$$N_1 + N_2 - 2N_3 - 2N_0 = 2aI\Delta R_T = a(U_1 + U_2 - 2U'_2 - 2U_0), \quad (15)$$

где $2N_0 = 2aU_0 = 2aIR_{PH}$ – цифровой код, равный падению напряжения на двухплечем тензомостовом датчике (при отсутствии давления и заданной начальной температуре), [Ом].

Обеспечивая равенство $a = 1/I$, получим алгоритмы приращений сопротивлений

$$\Delta R_p = \frac{N_1 - N_2}{2}; \quad (16)$$

$$\Delta R_T = \frac{N_1 + N_2 - 2N_3 - 2N_0}{2}. \quad (17)$$

Измеряемые одним датчиком параметры – давление и температура – вычисляются умножением результатов на коэффициенты пропорциональности, соответственно, K_p и K_T , определяемые при снятии градуировочных характеристик датчика отдельно при действии давления и температуры

$$P = K_p \Delta R_p = K_p \frac{N_1 - N_2}{2}; \quad (18)$$

$$T = K_T \Delta R_T = K_T \frac{N_1 + N_2 - 2N_3 - 2N_0}{2}. \quad (19)$$

Измеряемая информация может быть выведена на отдельные блоки индикации давления и температуры, на печать или поступать на ЭВМ для дальнейшего хранения, обработки и использования.

Таким образом, способ и устройство измерения давления и температуры, например в скважинах, позволяет при измерении давления и температуры одним датчиком по трехпроводной линии связи (по трехжильному геофизическому кабелю) расширить область использования указанных датчиков, их функциональные возможности, повысить чувствительность точности измерения и упростить устройство за счет устранения влияния на точность измерений канала связи (активного сопротивления линии связи), отсоединения измерительной цепи от брони кабеля, на которой всегда присутствует ЭДС поляризации и электрохимический потенциал, меняющийся случайным образом, устранения ключевых элементов, подбор которых трудно обеспечить.

Использование одного двухполярного источника тока вместо трех, у которых трудно обеспечить равенство токов, упрощает функции микропроцессорного блока.

Предлагаемое изобретение может быть использовано в нефтегазовой промышленности для исследования нефтяных и газовых скважин, а также для исследования высокотемпературных парогидротермальных скважин, предназначенных для получения пара из недр земли для геотермальных станций.

Библиографические ссылки

1. Ваганов В. И. Интегральные тензопреобразователи. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 136 с.

2. Померанц Л. И., Белоконов Д. В., Козляр В. Ф. Аппаратура и оборудование геофизических методов исследования скважин. – М. : Недра, 1985. – 271 с.

3. Ваганов В. И. Интегральные тензопреобразователи.

4. Померанц Л. И., Белоконов Д. В., Козляр В. Ф. Аппаратура и оборудование геофизических методов исследования скважин.

5. Лялин В. Е., Краснов А. Н. Дистанционное измерение давления и температуры в скважине одним датчиком по четырехпроводной линии связи // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2016. – № 2 (70). – С. 83–86.

6. Там же.

* * *

A. N. Krasnov, PhD in Engineering, Associate Professor, Ufa State Petroleum Technological University

Measuring Pressure and Temperature in Well By One Sensor at Three-Wire Communication Line

The paper describes a device for measuring geophysical parameters in the well that can be transformed into a change in resistance of the resistive sensor using a three-wire communication line. The invention can be used in the oil industry for the study of oil and gas wells, as well as for the study of high-temperature hydrothermal wells designed to generate steam from the earth geothermal stations.

Keywords: pressure and temperature measurement, strain gauge, steam hydrothermal wells.

Получено: 24.10.16