

периодичностями // Интеллектуальные системы в производстве. – 2012. – № 2(20). – С. 122–129.

19. Пономарева О. В. Вероятностные свойства спектральных оценок, полученных методом параметрического дискретного преобразования Фурье // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 2(16). – С. 36–41.

20. Алексеев В. А., Пономарев В. А., Пономарева О. В. Методология определения погрешностей измерения вероятностных характеристик случайных процессов, реализуемых процессорными измерительными средствами // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 2(16). – С. 91–99.

21. Пономарев В. А., Пономарева О. В. Модификация дискретного преобразования Фурье для решения задач интерполяции и свертки функций // Радиотехника и электроника. – 1984. – Т. 29, № 8. – С. 1561–1570.

Получено 21.03.2016

22. Пономарев В. А., Пономарева О. В. Временные окна при оценке энергетических спектров методом параметрического дискретного преобразования Фурье // Автометрия. – 1983. – № 4. – С. 39–45.

23. Пономарев В. А., Пономарева О. В. Обобщение дискретного преобразования Фурье для интерполяции во временной области // Известия вузов. – Радиоэлектроника. – 1983. – Т. XXVI, № 9. – С. 67–68.

24. Пономарев В. А., Пономарева О. В. Виброакустическое диагностирование коробок передач станков цифровыми методами // СТИН. – 1983. – № 9. – С. 18–21.

25. Пономарев В. А., Тимохин В. И. Применение временных окон в цифровом спектральном анализе случайных сигналов // 7-й Всес. симпозиум «Методы представления и аппаратный анализ случайных процессов и полей». – ВНИИЭП, 1974. – С. 93–96.

УДК 681.3:622.24

В. Е. Лялин, доктор технических наук, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

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

ДИСТАНЦИОННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ В СКВАЖИНЕ ОДНИМ ДАТЧИКОМ ПО ЧЕТЫРЕХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

Известны способы и устройства для дистанционного измерения давления [1] и температуры [2], использующие четырехпроводную линию связи. Однако невозможность внесения поправки на изменение температуры при изменении давления [3] снижает точность измерения давления, так как не известна температура самого тензопреобразователя, а при измерении температуры скважинным 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 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), включенных в измерительную цепь, и подбор их попарно с одинаковыми вольт-амперными характеристиками также представляет значительную сложность и увеличивает дополнительную погрешность при изменении их температуры, что снижает точность измерения напряжения на выходах источника тока. Кроме того,

в производственных условиях невозможно включить диоды в разрыв плеч тензомоста. Это может сделать только завод – изготовитель датчиков.

Подгонка сопротивления линии связи к одинаковому значению между собой вызывает определенную трудность и при изменении температуры приводит к появлению дополнительной погрешности за счет разного количества меди в проводах.

Цель изобретения – повышение точности способа и упрощение устройства измерения за счет использования стандартного мостового датчика (без переделки), повышения чувствительности по напряжению, исключения нелинейных ключевых элементов (диодов) из измерительной цепи, устранения влияния сопротивления проводов линии связи. Использование брони в данном случае не приводит к уменьшению точности измерения.

Сущность изобретения заключается в том, что в способе измерения давления и температуры одним датчиком, включающим подачу тока на диагональ питания стандартного тензомостового датчика и измерение напряжения на магистральной диагонали U_1 , согласно изобретению при смене направления тока питания тензомоста совмещают питающую и измерительную диагонали и измеряют напряжение U_2 , а значения давления и температуры определяют из соотношений

$$P = K_P \Delta R_P = U_1 / I;$$

$$T = K_T \Delta R_T = \frac{U_2 - U_0}{I},$$

где P, T – соответственно, давление, кгс/см², и температура, °С, в месте нахождения скважинной части прибора; I – значение питающего тока, мА; $\Delta R_p, \Delta R_T$ – приращение активных сопротивлений тензодатчика от изменения измеряемых параметров давления и температуры, Ом; K_p – коэффициент пропорциональности давления, кгс/см²·Ом; K_T – коэффициент пропорциональности температуры, град/Ом; $U_0 = IR_{PH}$ – падение напряжения на диагонали питания тензомостового датчика (при отсутствии избыточного давления и заданной начальной температуре), мВ; U_1, U_2 – измеряемые напряжения, мВ; R_{PH} – номинальное сопротивление тензомоста (равное номинальному сопротивлению одного тензорезистора), Ом.

Поставленная цель достигается также тем, что устройство для дистанционного измерения давления и температуры в скважине одним датчиком, содержащее стандартный тензопреобразователь давления (тензомост), четырехпроводную линию связи, измерительно-вычислительное устройство, согласно изобретению снабжено двумя развязывающими диодными цепочками 5-6, 7-8, подключенными одними выводами через провода линии связи 9, 12 к двухполярному источнику тока, а другими двумя выводами – параллельно тензорезисторам 1 и 4, включенным в противоположные плечи тензомоста.

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

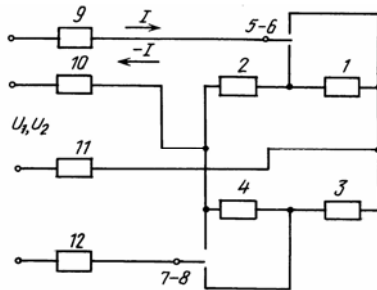


Рис. 1. Схема способа измерения

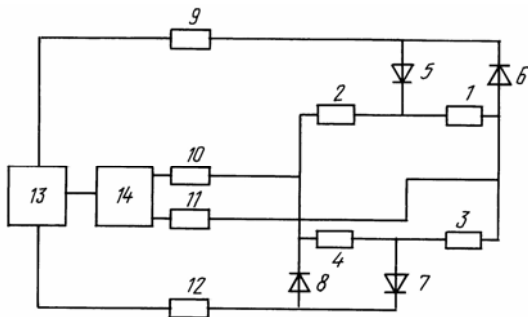


Рис. 2. Схема устройства

Способ осуществляется следующим образом. Измерительная цепь содержит мост с тензорезисторами 1, 2, 3, 4, имеющими равные номинальные значения сопротивлений R_{PH} , где тензорезисторы 1, 4 полу-

чают положительное приращение сопротивления ΔR_p , а тензорезисторы 2, 3 – отрицательное приращение сопротивления ΔR_p при увеличении измеряемого давления, а при изменении температуры все плечи тензомоста получают одинаковое приращение ΔR_T , четырехпроводную линию связи с активными сопротивлениями проводов соответственно 9, 10, 11, 12.

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

К питающим двухплечий тензомостовой датчик проводам 9 и 12 подают ток одной полярности и измеряют напряжения между потенциальными проводами 10 и 11 (U_1), а затем при подаче тока другой полярности на тензомостовой датчик также измеряют напряжение между потенциальными проводами 10 и 11 (U_2). Поскольку применяется схема с потенциальными зажимами, то абсолютная величина сопротивления проводов линии связи не влияет на точность измерений. Значения давления и температуры определяют из соотношений

$$U_1 = \frac{I}{2}(R_{PH} + \Delta R_p + \Delta R_T - (R_{PH} - \Delta R_p + \Delta R_T)); \quad (1)$$

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

Разрешая уравнение (1) относительно ΔR_p , получим

$$\Delta R_p = U_1/I, \quad (3)$$

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

$$P = K_p \Delta R_p. \quad (4)$$

Разрешая уравнение (2) относительно $\Delta R_T, R_T$, получим

$$\Delta R_T = \frac{U_2 - U_0}{I}, \quad (5)$$

где $U_0 = IR_{PH}$ – падение напряжения на диагонали питания тензомостового датчика (при отсутствии избыточного давления и заданной начальной температуре).

Тогда значение температуры определяют из соотношения

$$T = K_T \Delta R_T, \quad (6)$$

определив заранее коэффициент K_T градуировкой тензодатчика в функции температуры.

Устройство для одновременного измерения давления и температуры одним датчиком содержит стандартный мостовой датчик давления с тензорезисторами 1, 2, 3, 4, четырехпроводную линию связи, которая представляет собой трехжильный бронированный геофизический кабель с сопротивлением ка-

ждой жилы, соответственно, 9, 10, 11, 12, четыре нелинейных ключевых элемента (диода) 5, 6, 7, 8.

Устройство имеет двухполярный источник тока 13 и измерительно-вычислительное устройство (ИВУ) 14.

Мостовой 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 тензорезисторов 1 и 4 определяется выражением

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

а тензорезисторов 2 и 3 в этом случае выражением

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

при увеличении давления и температуры.

Выводы источника тока соединены через провода линии связи 9, 12, с развязывающими диодными цепочками 5-6 и 7-8, включенными параллельно с тензорезисторами 1 и 4 соответственно, а измерительно-вычислительное устройство (ИВУ) через провода линии связи 10, 11 – с измерительной диагональю тензомостового датчика.

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

В момент подачи положительного импульса тока от источника тока 13 к тензомостовому датчику на напряжения U_1 на входе ИВУ 14 равно

$$U_1 = \frac{I}{2} (R_{PH} + \Delta R_P + \Delta R_T - (R_{PH} - \Delta R_P + \Delta R_T)), \quad (7)$$

где I – значение питающего тока; R_{PH} – номинальное сопротивление тензомоста (при отсутствии избыточного давления и заданной начальной температуре); $\Delta R_P, \Delta R_T$ – приращение активного сопротивления тензорезистора, соответственно, от изменения измеряемых давления и температуры, которое преобразуется в ИВУ 14 в цифровой код N_1 , Ом:

$$N_1 = aU_1 = a \frac{I}{2} (R_{PH} + \Delta R_P + \Delta R_T - (R_{PH} - \Delta R_P + \Delta R_T)), \quad (8)$$

где a – коэффициент преобразования, 1/мА.

Далее в момент подачи источником тока 13 отрицательного импульса тока к тензодатчику на вход ИВУ 14 подается напряжение U_2 , которое определяют из соотношения

$$U_2 = \frac{I}{2} (R_{PH} - \Delta R_P + \Delta R_T + (R_{PH} + \Delta R_P + R_T)); \quad (9)$$

Оно преобразуется в ИВУ 14 в цифровой код N_2 , Ом:

$$N_2 = aU_2 = a \frac{I}{2} (R_{PH} - \Delta R_P + \Delta R_T + (R_{PH} + \Delta R_P + R_T)). \quad (10)$$

Информация о напряжениях U_1, U_2 в виде кодов N_1, N_2 последовательно поступает в измерительно-вычислительное устройство ИВУ 14. В ИВУ осуществляется определение приращений сопротивлений, вызванных изменением давления и температуры, по следующим алгоритмам:

$$N_1 = aU_1 = aI \Delta R_P; \quad (11)$$

$$N_2 = aU_2 = aI (R_{PH} + \Delta R_T) = N_0 + aI \Delta R_T, \quad (12)$$

где $N_0 = aU_0 = aI R_{PH}$ – цифровой код, равный падению напряжения на диагонали питания тензомостового датчика (при отсутствии давления и заданной начальной температуре), Ом.

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

$$\Delta R_P = N_1; \quad (13)$$

$$\Delta R_T = N_2 - N_0. \quad (14)$$

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

$$P = K_P \Delta R_P = K_P N_1; \quad (15)$$

$$T = K_T \Delta R_T = K_T (N_2 - N_0). \quad (16)$$

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 позволяют при измерении давления и температуры одним датчиком по четырехпроводной линии связи (по трехжильному бронированному геофизическому кабелю) расширить область использования указанных датчиков, их функциональные возможности, повысить чувствительность по напряжению, точность измерения и упростить устройство за счет устранения влияния на точность измерений канала связи (активного сопротивления линии связи); использование брони кабеля в данном случае не приводит к уменьшению точности измерения, поскольку броня находится в цепи источника и падение напряжения на ней, даже нестационарное, не влияет на напряжения, измеряемые ИВУ, устранение из измерительной цепи ключевых элементов, подбор которых трудно обеспечить. Использование одного двухполярного источника тока вместо трех, у которых трудно обеспечить равенство токов, также упрощает устройство.

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. Коловертнов Г. Ю., Ишинбаев Н. А., Коловертнов Ю. Д. Измерение давления и температуры в скважине одним датчиком // Проблемы эффективности производства на северных нефтегазодобывающих предприятиях : сб. докладов и сообщений 11-й науч.-техн. конф. – М., 1995. – Т. 2. – С. 6–8.

4. Пат. РФ на изобретение № 2118802. Способ дистанционного измерения давления и температуры в скважине одним датчиком давления и устройство для его осуществления / А. Н. Краснов, Г. Ю. Коловертнов [и др.]. – № 96118397/28, Заявл. 16.09.1996, Оpubл. – Бюл. № 27. 10.09.1998.

Получено 11.04.2016