

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ САМОКОНТРОЛЬ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКАХ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

© 2016 г. Е.М. БЕЛОЗУБОВ*, В.А. ВАСИЛЬЕВ, П.С. ЧЕРНОВ

Пензенский государственный университет,
*АО «НИИ физических измерений», г. Пенза

Интеллектуальным датчиком согласно стандарту [1] считается адаптивный датчик с функцией метрологического самоконтроля. Он должен содержать параметры и алгоритмы работы, способные изменяться в зависимости от внешних сигналов. Возможность самообучения и самовосстановления при возникновении единичного сбоя является неотъемлемой частью интеллектуального датчика.

Термину «интеллектуальный датчик» в зарубежной литературе соответствует «Smart sensor», под которым понимается датчик с интегрированной электроникой (системой на кристалле, аналого-цифровым преобразователем (АЦП), микропроцессором, цифровым сигнальным процессором, и т. п.), а также реализацией цифрового интерфейса и сетевых коммуникационных протоколов [2].

Минимальный набор необходимых функциональных блоков интеллектуального датчика для информационно-измерительных и управляющих систем представлен на рис. 1.

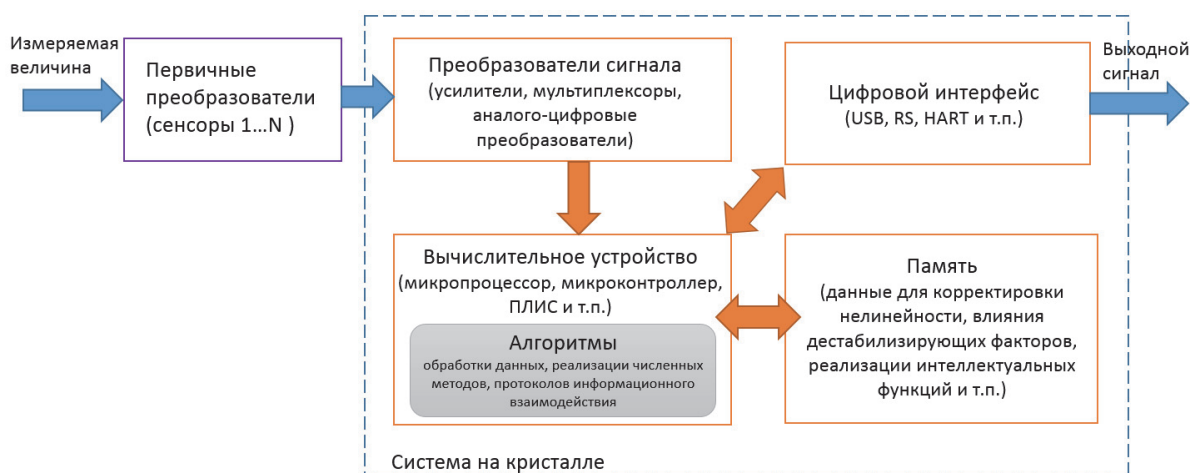


Рис. 1. Минимальный набор необходимых функциональных блоков интеллектуального датчика.

Сигналы в аналоговой форме, поступают от первичных преобразователей (сенсоров), преобразуются в цифровую форму вторичными преобразователями сигналов (усилители, аналого-цифровые преобразователи, мультиплексоры). Вычислительное устройство (микропроцессор, микроконтроллер, ПЛИС и т.п.) при помощи алгоритмов обработки данных, с использованием данных калибровки, данных для корректировки нелинейности, влияния дестабилизирующих факторов, старения, хранящихся в запоминающем устройстве, корректирует поступившие с сенсоров значения измеряемой величины, приводит их к требуемым единицам измерения. Вычислительным устройством компенсируется погрешность, обусловленная дрейфом нуля, изменением

температуры и т. п. Кроме того, на вычислительное устройство возлагается функция контроля состояния сенсоров и оценка достоверности результатов измерений. Обработанный сигнал, несущий информацию об измеряемой величине, в цифровом виде передаётся для его регистрации и отображения или используется для управления. Передача сигнала несущего информацию осуществляется посредством цифрового интерфейса с использованием коммуникационных протоколов (IEEE 1451, RS-485, HART, и т.п.) и промышленных сетей (Profibus, DeviceNet, Interbus, Fieldbus, CANbusLIN, Modbus и др.). С помощью интерфейса и коммуникационных протоколов реализуются функции калибровки сенсоров, запроса и получения информации о текущем состоянии сенсоров и интеллектуального датчика в целом. Такие датчики удобно объединять в сеть, а доступ к предоставляемой ими информации возможен через программное обеспечение пользовательского уровня (приложения) [3].

В датчиках различных физических величин (давления, силы, перемещения, температуры и др.) чаще всего используют мостовую измерительную цепь. Так в датчиках давления мостовая измерительная цепь обычно состоит из тензорезисторов [4, 5], измеряемое давление вычисляют из напряжений питающей и измерительной диагоналей мостовой измерительной схемы [6], а тензорезисторный преобразователь выполняют в виде нано- и микроэлектромеханической системы (НМЭМС) [7, 8].

Большинство выпускаемых датчиков не имеют функции самоконтроля, что не позволяет обнаружить изменение сопротивлений тензорезисторов в результате старения, выхода из строя и т.п. А это в конечном итоге приводит к недостоверности полученных результатов измерения.

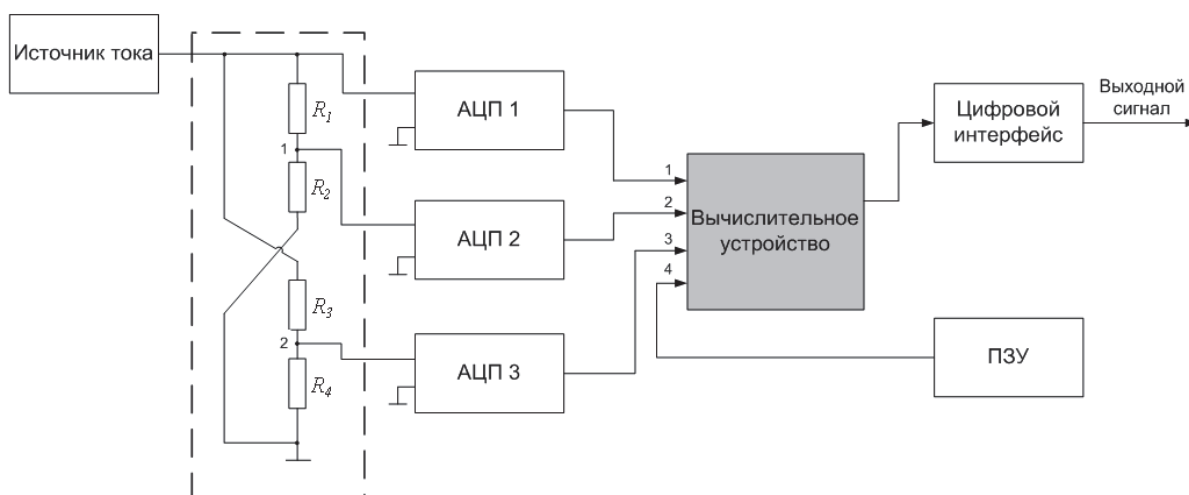


Рис. 2. Структурная схема интеллектуального датчика давления.

Для повышения надёжности результата измерения необходимо введение самоконтроля датчика и осуществление проверки достоверности измерения давления. Это возможно за счёт сравнения измеренных и вычисленных значений напряжений между одним узлом питающей диагонали и каждым из узлов измерительной диагонали. То есть необходимо произвести измерение потенциалов каждого из узлов схемы, что несет в себе бóльшую информацию, чем два напряжения (разность потенциалов).

На рис. 2 изображена структурная схема интеллектуального датчика давления на основе НМЭМС [9]. Датчик содержит мостовую измерительную цепь из тензорезисторов R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , аналого-цифровые преобразователи (АЦП), вычислительное устройство (ВУ), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), цифровой интерфейс (ЦИ). Мостовая измерительная цепь подключена к АЦП, их выходы соединены со входами ВУ, которое соединено с ПЗУ и ЦИ. Вход первого АЦП подключён к диагонали питания мостовой измерительной цепи, входы второго АЦП подключены к узлу питающей диагонали и первому узлу измерительной диагонали, а входы третьего АЦП – к тому же узлу питающей диагонали и второму узлу измерительной диагонали. Вычислительное устройство содержит блок преобразования кода АЦП в численное значение напряже-

ния, блок расчёта численного значения давления, блок самоконтроля.

Вычислительное устройство включает в себя блок преобразования кода АЦП в численное значение напряжения, блок расчёта численного значения давления, блок самоконтроля (рис. 3).

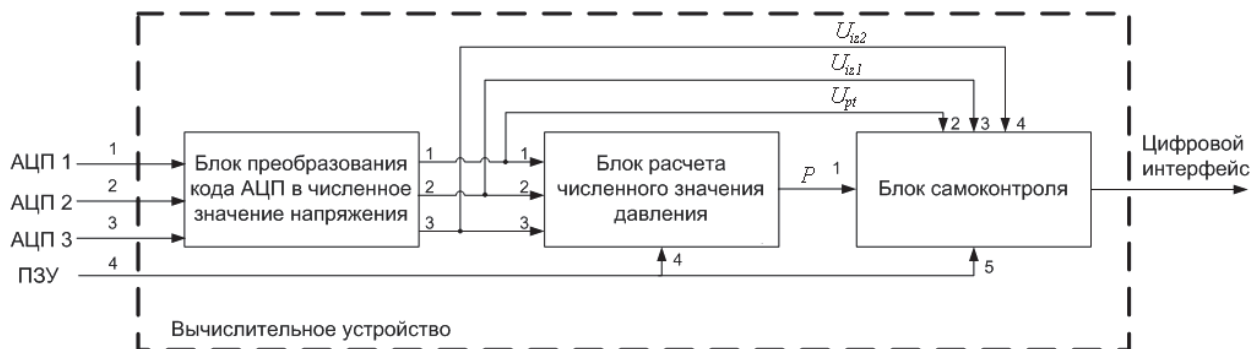


Рис. 3. Структура вычислительного устройства.

Интеллектуальный датчик давления работает следующим образом. В результате воздействия давления на датчик возникают деформации тензорезисторов, которые включены в мостовую измерительную цепь. Изменение сопротивлений тензорезисторов R_1, R_2, R_3, R_4 приводит к изменению напряжений U_{iz1}, U_{iz2} на тензорезисторах R_2, R_4 (потенциалов узлов измерительной диагонали). Напряжение U_{pt} питающей диагонали моста зависит от температуры тензорезисторного преобразователя. Напряжения U_{pt}, U_{iz1}, U_{iz2} поступают на вход первого, второго и третьего аналого-цифровых преобразователей. Выходы аналого-цифровых преобразователей соединены с первым, вторым и третьим входами вычислительного устройства, являющимися также первым, вторым и третьим входами блока преобразования кода АЦП в численное значение напряжения. Вычисленные данным блоком значения напряжений U_{pt}, U_{iz1}, U_{iz2} подаются в блок расчёта численного значения давления, который вычисляет численное значение P измеренного давления по данным, хранящимся в постоянном запоминающем устройстве исходя из напряжений питающей U_{pt} и измерительной $U_{iz} = U_{iz1} - U_{iz2}$ диагоналей. В качестве таких данных могут служить коэффициенты полиномиального выражения, сохраненные в ПЗУ на этапе калибровки, либо данные для вычисления сплайн-интерполяции. Вычисленное численное значение давления подаётся на первый вход блока самоконтроля. На второй, третий и четвертый входы блока самоконтроля подаются значения измеренных напряжений U_{pt}, U_{iz1}, U_{iz2} , а пятый вход является четвертым входом вычислительного устройства, соединенным с ПЗУ. Блок самоконтроля вычисляет напряжения U_{iz1}, U_{iz2} по данным измеренного напряжения U_{pt} и вычисленного давления P с помощью данных, хранящихся в постоянном запоминающем устройстве, которыми могут служить коэффициенты полиномиального выражения либо данные для вычисления сплайн-интерполяции. Блок самоконтроля производит сравнение вычисленных напряжений с измеренными U_{iz1}, U_{iz2} . В случае если их разница не превышает допустимого значения тестового критерия стабильности, на выходе блока самоконтроля будет значение давления, вычисленное блоком расчёта численного значения давления, в противном случае на выход блока самоконтроля кроме значения давления, поступит сигнал, сообщающий о недостоверности значения измеренного давления. С выхода блока самоконтроля сигнал поступает на вход цифрового интерфейса, формирующего выходной сигнал датчика (о давлении и его достоверности).

Калибровка осуществляется путём регистрации напряжения U_{pt} питающей диагонали мостовой схемы, напряжений U_{iz1}, U_{iz2} на тензорезисторах R_2, R_4 при установленных контрольных значениях эталонных давления и температуры, вычислении данных (например, полиномиальных коэффициентов аппроксимирующей зависимости) для нахождения значения давления P из значений напряжения питающей U_{pt} и измерительной $U_{iz} = U_{iz1} - U_{iz2}$ диагоналей, а также данных для вычисления напряжений U_{iz1}, U_{iz2} из напряжения U_{pt} питающей диагонали и давления P , и записи этих данных в по-

стоянное запоминающее устройство.

Предложенный метод реализации самоконтроля датчиков на основе мостовой измерительной схемы может быть отнесен к функциональному самоконтролю [10], поскольку не приводит к усложнению конструкции, а основан на дополнительных зависимостях между измеряемой величиной и параметрами выходного сигнала НИМЭМС.

Таким образом, благодаря введению функции метрологического самоконтроля в интеллектуальных датчиках систем измерения, контроля и управления, осуществляется проверка достоверности измерения давления и повышается надежность результата измерения. Такая функция может быть введена, например, при использовании способов измерения давления [11, 12], в датчиках на основе нано- и микроэлектромеханических систем [13–15] и др.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Госзадание, код проекта 1267).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р ГСИ 8.673–2009. ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Термины и определения.
2. *Vasiliev V.A., Chernov P.S.* Smart sensors, sensor networks, and digital interfaces / Measurement techniques, Vol. 55, No. 10, January, 2013. – P. 1115-1119.
3. Bröring A. e. a. New Generation Sensor Web Enablement // Sensors. 2011. № 11. P. 2652–2699.
4. А.с. СССР № 1597623, МПИ G01L 9/04, Бюл. № 37 от 07.10.1990. Устройство для измерения давления / В.А. Васильев, А.И. Тихонов.
5. Патент РФ № 2304762, МПК G01L 9/04, Бюл. № 23 от 20.08.2007. Способ и устройство измерения давления / В.И. Садовников, А.Н. Кононов, А.Я. Аникин, В.А. Ларионов, А.Л. Шестаков.
6. Патент РФ № 2300745, МПК G01L 9/04, Бюл. № 16 от 10.06.2007. Устройство для измерения давления / Ю.Г. Свинолупов, В.В. Бычков.
7. Патент РФ № 2398195, G01L 9/04, Бюл. № 24 от 27.08.2010. Способ изготовления нано- и микроэлектромеханической системы датчика давления и датчик давления на его основе / П. С. Чернов, В. А. Васильев, Е.М. Белозубов.
8. Патент РФ 2411474 G01L 9/04, Бюл. № 4 от 10.02.2011. Датчик давления повышенной точности на основе нано- и микроэлектромеханической системы с тонкопленочными тензорезисторами / В. А. Васильев, Е. М. Белозубов, П. С. Чернов.
9. Патент РФ 2515079 G01L 9/04, Бюл. № 13 от 10.05.2014. Способ измерения давления и интеллектуальный датчик давления на его основе / В.А. Васильев, Е.М. Белозубов, П.С. Чернов.
10. ГОСТ Р 8.734-2011 ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля.
11. Патент РФ № 2484435 МПК G01L 9/04, B82B 1/00 Способ измерения давления, способ калибровки и датчик давления на основе нано- и микроэлектромеханической системы / Белозубов Е.М., Васильев В.А., Чернов П.С. Оpubл. Бюл. № 16 от 10.06.2013 г.
12. Патент РФ № 2498250 МПК G01L 9/04, B82B 3/00 Способ измерения давления, калибровки и датчик давления на основе нано- и микроэлектромеханической системы / Белозубов Е.М., Васильев В.А., Чернов П.С. Оpubл. Бюл. № 31 от 10.11.2013 г.
13. Патент РФ № 2516375 МПК G01L 9/04, B81B 3/00 Датчик давления на основе нано- и микроэлектромеханической системы для прецизионных измерений / Белозубов Е.М., Васильев В.А., Хованов Д.М., Чернов П.С.
14. Патент РФ № 2520943 МПК G01L 9/00, B82B 1/00 Датчик давления на основе нано- и микроэлектромеханической системы балочного типа / Васильев В.А., Кондратьев А.В. // Оpubл. Бюл. № 12 от 27.06.2014 г.
15. Патент РФ № 2480723 МПК G01L 9/04, B82B 1/00 Датчик давления на основе нано- и микроэлектромеханической системы повышенной точности и надежности / Васильев В.А., Хованов Д.М. Оpubл. Бюл. № 12 от 27.04.2013 г.