

УДК 327.37

КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕАГЕНТОВ ПРИ ХИМИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

В.К. АДАМЕНКО, инж. (НИПКИ «Искра», г. Луганск)

Описаны подходы к измерению температуры реагентов при химической нейтрализации взрывчатых веществ и разработанное устройство контроля температуры в широком диапазоне с применением датчиков на основе платиновых термопреобразователей сопротивлений, являющихся наиболее точными и стабильными на период эксплуатации.

Описано підходи до вимірювання температури реагентів при хімічній нейтралізації вибухових речовин та розроблений пристрій контролю температури у широкому діапазоні із застосуванням датчиків, виготовлених на основі платинових термоперетворювачів опорю, які є найбільш точні й стабільні під час експлуатації.

The approaches to measurement of reagents temperature in the technology of chemical neutralization of explosives and developed temperature-monitoring device in wide range using sensors based on the platinum resistive temperature transducers which are the most accurate and stable during service period are described.

Одним из направлений исследований по обезвреживанию взрывоопасных предметов (ВОП) мин, снарядов и т. д. является применение технологии химической нейтрализации (разложения) монолитов взрывчатых веществ (ВВ). Данная технология рекомендуется для случаев, когда ВВ, растворяясь в жидкости, образуют химически устойчивые, нетоксичные, мало- или невзрывоопасные смеси. Применение данной технологии для обезвреживания ВОП путем растворения ВВ многократно циркулирующим реагентом через предварительно сформированную в теле ВОП реакционную полость имеет место при использовании устройства, основанного на методе вытеснения смеси (аппарат типа «Монтеню»), для перекачки растворителя с регулировкой и контролем температуры, давления, расхода (скорости потока), химического состава жидкости [1, 2].

Теоретические и экспериментальные исследования на модельных объектах, штатных ВВ и изделиях на их основе с применением данного аппарата показали, что под воздействием разных реагентов (растворителей) ВВ разлагаются и теряют детонирующие свойства с разной степенью эффективности. Скорость

разложения ВВ зависит от состава растворителя, температуры нейтрализации, скорости потока реагента и т. д. При проведении процесса нейтрализации требуется регулирование скорости процесса разложения монолитов ВВ и тепловой мощности реакции разложения, что позволяет избежать теплового инициирования взрыва монолитов ВВ.

Для оптимизации процесса растворения ВВ, а также безопасности его проведения (исключение случаев самовозгорания от возможного повышения температуры в зоне разложения ВВ и т. д.) необходим стабильный непрерывный высокоточный контроль температуры в задаваемом измеряемом диапазоне (в зависимости от материала ВВ и типа реагента) с возможностью встраивания в систему регулирования и управления проведением процесса нейтрализации.

Для решения данной задачи создан аппарат многократной прокачки химического реагента, в котором с учетом специфики проведения технологии химической нейтрализации на основе анализа температурных измерений и рекомендаций разработано и реализовано устройство с двойным контролем температуры в зоне реакции (воздействия) и в накопительной емкости с отображением текущих данных

© В.К. АДАМЕНКО, 2009

непосредственно на месте нейтрализации, с передачей их на удаленное расстояние (центральный пункт управления и т. д.) и возможностью встраивания в систему управления процессом разложения.

При разработке устройства учитывали следующие рекомендации и подходы.

При задании диапазона измерения принято во внимание то, что температурный контроль процессов нейтрализации ВВ (уже исследованных) с наработанными оптимальными режимами в основном осуществляется в диапазоне 0...100 °С за некоторым исключением, однако при проведении процессов разложения исследовательского характера в зоне воздействия из-за протекания экзотермических реакций возможно повышение температуры до и более 300 °С.

Качество измерения температуры и задаваемый диапазон во многом зависят от применяемого датчика температуры (термопреобразователя). В настоящее время применяется широкая номенклатура датчиков температуры (зарубежных фирм Analog Devices, Dallas Semiconductor, National Semiconductor, Honeywell, Texas Instruments, Endress+Hauser, Siemens Building Technologies, Danfoss, а также российских ЗАО НПК «Эталон», ЗАО «Взлет», НПО «Вакууммаш», ЗАО «ТЕРМИКО», группа предприятий «Теплоприбор», ООО «Термэкс», ООО «ТЕХНО-АС» и др.), и совершенствуются как аналоговые, так и цифровые методы измерения.

Для измерения температуры в соответствии с применяемой технологией наиболее подходят датчики термопреобразователей сопротивлений (ТС) на основе платиновых (ТСП) и медных (ТСМ) и термоэлектрических преобразователей (ТЭДС). Данные датчики серийно выпускаются в разных конструктивных исполнениях (средовые термометры), в том числе для жидких сред во взрывоопасных зонах, в концентрированных растворах кислот и щелочей и т.д.

Применение термометров на основе ТЭДС требует решения вопросов, связанных с контролем температуры холодных спаев и необходимостью внесения поправок. Это вызвано

возникновением термоэлектрической неоднородности в проводниках, необходимостью коррекции градуировочной характеристики из-за изменения состава сплава, нелинейной зависимостью ТЭДС от температуры, проявлением «антенного» эффекта в длинных проводах и др. При проведении низкотемпературных измерений с применением этих термометров трудно обеспечить высокую точность и для поддержания ее в заданном температурном диапазоне на длительный период эксплуатации требуется постоянный контроль и подстройка схемы измерения.

Термометры на основе ТСМ имеют более линейную характеристику зависимости сопротивления от температуры и являются самыми дешевыми. Однако они имеют меньший диапазон измерения (во избежание окисления медь допускает нагрев не более чем до 200 °С), очень низкое удельное сопротивление, требуют большой измерительный ток (при большом токе нагрев измерительного резистора влияет на точность измерения), необходимость разработки стабильных измерительных схем на дискретных элементах и т.д.

Наиболее перспективными с точки зрения стабильности свойств в диапазоне температур 13,81...903,89 К являются ТСП [3]. Изменение сопротивления (параметр стабильности) в определенной постоянной температурной точке (чаще всего измеряют при 0 °С) в пересчете на изменение температуры равняется 0,05 °С / год. Термометры на основе ТСП с нормальной статической характеристикой (НСХ) для указанного диапазона температур практически по-прежнему остаются эталонными приборами, а их физические и химические свойства мало изменяются с течением времени. Наблюдения при эксплуатации за данными термометрами в течение десяти лет показали, что изменение сопротивления от первоначального значения в пересчете на изменение температуры не превысило 0,5 °С [4]. В зависимости от предназначения термометры на основе ТСП имеют защитную арматуру, предохраняющую от механических, химических, термических нагрузок.

Для измерения температуры жидких, газообразных, твердых (в том числе сыпучих материалов) сред изготавливают как пленочные, так и проволочные платиновые датчики различной модификации: Pt-50, Pt-100, Pt-500, Pt-1000 класса допуска А, В, С [5].

Учитывая наличие специализированных компонентов в интегральном исполнении некоторых фирм [6] для совместной работы с ТСП, а также задачу высокоточного контроля температуры, наилучшим образом подходят промышленные датчики типа Pt-100 с положительным ТКС класса допуска А (допускаемое отклонение от номинального значения сопротивления при 0 °С $\Delta t = \pm 0,05$ %, допускаемое отклонение по температуре проволочных термометров для измеряемого диапазона от -100 до +450 °С, для пленочных термометров в измеряемом диапазоне от -50 до +450 °С $\Delta t_1 = \pm (0,15 + 0,002|t|)$ °С с сопротивлением $R_0 = 100,00$ Ом при 0 °С и $R_{100} = 138,50$ Ом при 100 °С (для датчиков с $W_{100} = R_{100}/R_0 = 1,3850$) и $R_{100} = 139,10$ Ом (для датчиков с $W_{100} = R_{100}/R_0 = 1,3910$) [5]. Более точные существующие датчики типа Pt-100 с классом допуска АА (W 0.1, F 0.1) с допускаемым отклонением $\Delta t = \pm (0,1 + 0,0017|t|)$ °С обеспечивают диапазон измерения температуры от -50 до +250 °С и являются более дорогими, требующими повышенного внимания при эксплуатации. При выборе конструктивного исполнения датчиков необходимо принимать во внимание также коэффициент тепловой инерции.

Функция преобразования сопротивления ТСП описывается нелинейной зависимостью сопротивления от температуры. Логичным подходом аппаратной реализации схемы точного измерения температуры является передача этой функции для пересчета в вычислительное устройство для дальнейшего использования результатов измерения. Применение для связи токовой петли позволяет измерять температуру на удаленном расстоянии от места измерения. Данная схема реализации предполагает преобразование значений сопротивления в токовый сигнал с нормированными значениями величин, его передачу, преоб-

разование в удобную форму для дальнейшего использования результатов измерения, и требует непрерывной математической обработки и коррекции нелинейной функции от влияющих факторов (допускаемых отклонений конкретных датчиков и др.).

Математическая обработка сводится к решению неприведенных полных квадратных уравнений, получаемых из интерполяционных. Интерполяционные уравнения для ТСП с $W_{100} = 1,3910$ для диапазонов температур от -200 до 0 °С и от 0 до 600 °С соответственно равны:

$$W_T = 1 + AT + BT^2 + CT^3(T - 100), \quad (1)$$

$$W_T = 1 + AT + BT^2, \quad (2)$$

где W_T — значение отношения сопротивлений при температуре T к сопротивлению при 0 °С; $A = 3,96847 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $B = -5847 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$; $C = -4,3558 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$.

Интерполяционные уравнения для ТСП с $W_{100} = 1,3850$ для диапазонов температур от -200 до 0 °С и от 0 до 850 °С соответственно те же (1) и (2), но с коэффициентами $A = 3,90802 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $B = -5,802 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$; $C = -4,27350 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$.

Истинное значение температуры, например в интервале от 0 до 600 °С, вычисляют по формуле

$$T = (B/2)(-A \pm [A^2 - 4B(1 - W_T)])^{1/2}. \quad (3)$$

При оценке точности измерения температуры при данном подходе необходимо учитывать ее допускаемые отклонения в зависимости от применяемых датчиков, степень соответствия НСХ с интерполяционными уравнениями (~0,01...0,03 °С), погрешность, вносимую электрической схемой измерения, и т. д.

Одним из вариантов реализации измерительной схемы является ввод в вычислительное устройство в виде таблицы индивидуальной функции зависимости температуры от сопротивления конкретного применяемого датчика, заранее снятыми для сравнения и оценки с получаемыми измеряемыми данными. При определении точности измерения температуры при данном подходе необходимо

учитывать степень дискретизации индивидуальной функции и т. д.

Существует подход схемного решения, упрощающий процесс математической обработки результатов измерений. Он основывается на передаче в вычислительное устройство аппаратно получаемой линейаризованной функции при измерении.

Точность измерения во многом будет зависеть от точности линейаризации (соответствия значений линейаризованной и заданной линейной функций), допускаемых отклонений конкретных датчиков и т. д. Данный подход в значительной степени реализован в интегральных разработках XTR103, XTR105 [6], в которых имеют место функции преобразования, усиления и линейаризации с выдачей токового сигнала 4 мА в точке измерения минимальной температуры и 20 мА в точке измерения максимальной температуры в задаваемом диапазоне. Разработки идентичны и различаются внешне номиналами установочного R_Z , линейаризирующего R_{LIN} и согласующего R_{CM} прецизионных резисторов (точность сопротивлений 1 %), применяемых в измерительной схеме для конкретного выбранного температурного диапазона. Практически подбор прецизионных резисторов для XTR105 является более длительным по времени из-за применения больших значений номиналов. Применение

интегральных разработок, как показали исследования, в большей степени уменьшает проявление «антенного» эффекта по сравнению с подобными схемами, выполненными на дискретных элементах и требующих более качественное экранирование, упрощает принципиальную электрическую схему и в итоге само устройство, что делает его более надежным и стабильным. Применение данного подхода в измерительных схемах обеспечивает достаточно приемлемую точность.

С учетом выше указанного разработано и реализовано устройство применительно к технологии нейтрализации с данным подходом контроля температуры, отличающимся дистанционной передачей информации от датчиков в центральный пульт управления с возможностью сверки показаний рабочих и контрольных датчиков температуры в зоне реакции и в накопительной емкости для повышения надежности проведения процесса измерения и настройки.

Конструктивно устройство состоит из двух одинаковых блоков, каждый из которых используется совместно со своими рабочим и контрольным датчиками температуры типа Pt-100. Блок устройства (рис. 1) включает модули преобразователей 1, 3, обработки 2, 4, индикации 5 и питания 6, расположенных в одном корпусе, который устанавливается в

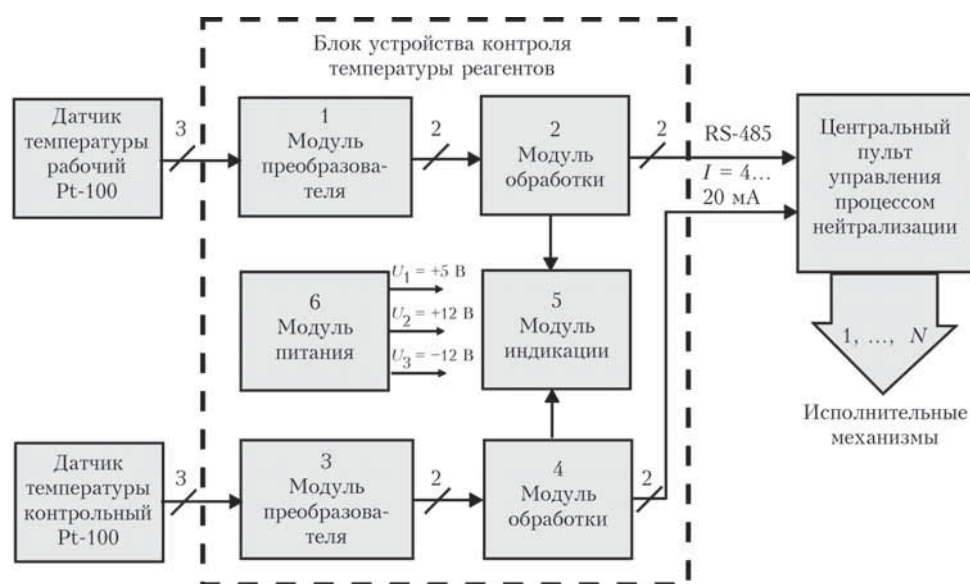


Рис. 1. Схема контроля температуры реагентов с помощью блока устройства (обозначения в тексте)

непосредственной близости от контролируемого объекта для повышения точности измерения.

Для связи датчиков температуры Pt-100 с блоком (с модулями преобразователей 1, 3) с целью уменьшения погрешности влияния сопротивлений линий связи с измерительными схемами применены схемы с трехпроводными линиями связи. Модули преобразователей 1, 3 осуществляют преобразование сопротивлений рабочего и контрольного датчиков температуры Pt-100 в электрический ток, усиление, линеаризацию и передачу нормированных сигналов в модули обработки 2, 4 с помощью токовой петли. Модули обработки 2, 4 принимают и преобразуют нормированные сигналы токовой петли в удобные для обработки сигналы напряжения, затем в цифровую форму и производят обработку в соответствии с заложенной программой с отображением результатов на жидкокристаллическом индикаторе.

Передача информации с датчиков (с блока) на удаленное расстояние в центральный пульт управления может осуществляться как с помощью токовой петли с сигналом 4...20 мА, так и с использованием для передачи данных двунаправленной сбалансированной линии (витой пары) промышленного стандарта связи EIA/TIA (RS-485).

Стандарт RS-485 позволяет поддерживать связь на расстоянии 1200 м с возможностью скорости обмена до 62,5 Кбит/с.

В разработанном устройстве реализована схема, когда информация с рабочих датчиков (с блоков) передается на удаленное расстояние в цифровой, а с контрольных — в ана-

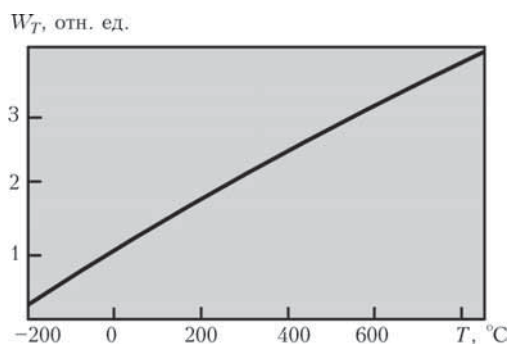


Рис. 2. График зависимости $W_T(T)$ для платиновых термометров с $W_{100} = 1,3910$

логовой форме (токовой петлей). При этом на жидкокристаллическом индикаторе непрерывно отображаются значения показаний с рабочего датчика. Сверка показаний значений рабочего датчика с контрольным непосредственно на месте нейтрализации производится нажатием кнопки для отображения значений показаний контрольного датчика. При необходимости возможна другая организация индикации, например, с одновременным отображением значений показаний обоих датчиков.

В случае нарушения какой-либо линии связи с датчиком Pt-100 модуль преобразователя блока выдает в зависимости от причин токовые сигналы 3,6 или 36 мА, которые используются в качестве аварийных.

В модулях обработки блока применены прецизионные ресиверы RCV420 [6] для преобразования токового сигнала в напряжение с нормированными значениями и электрически перепрограммируемая однокристалльная ОЭВМ [7] со встроенным 10-битным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) для обработки поступающей информации и формирования информационных посылок в соответствии с заложенной программой и измерительной схемой, а также другие компоненты.

Модуль питания формирует для блока устройства стабилизированное вторичное питание с напряжением $U_1 = +5 \text{ В} \pm 5 \%$, $U_{2,3} = \pm 12 \text{ В} \pm 5 \%$.

На первичную обмотку трансформатора модуля питания подается переменное напряжение питания $24 \text{ В} \pm 5 \%$. Возможны варианты питания другим переменным напря-

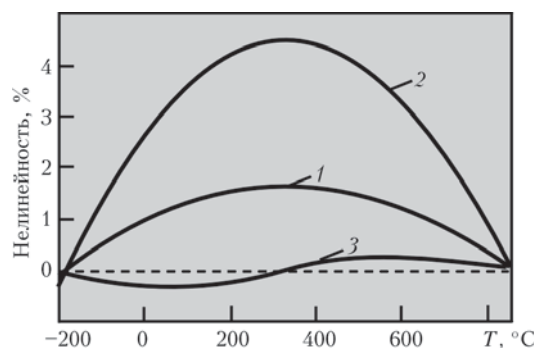


Рис. 3. Зависимость нелинейности платиновых термометров от температуры: 1 — эталонный; 2 — промышленный; 3 — промышленный после аппаратной линеаризации

жением в зависимости от применяемого трансформатора.

Мощность, потребляемая каждым блоком, не превышает 0,5 Вт.

На рис. 2 представлен график зависимости $W_t(T)$ применяемых промышленных платиновых термометров с $W_{100} = 1,3910$.

На рис. 3 представлены графики зависимости нелинейности от температуры (отклонений от линейной зависимости) эталонного 1, промышленного 2 и получаемого после аппаратной линеаризации промышленного 3 платиновых термометров.

В реализованном устройстве предусмотрена возможность индивидуальной подстройки измерительной схемы к конкретному датчику Pt-100, имеющему допускаемые отклонения по сопротивлению, что позволяет снизить погрешность измерения. Это достигается путем установки задаваемой исходной линейной зависимости в оптимальное положение относительно измеряемой конкретного датчика, а также аппаратной подстройкой — смещением граничных точек в АЦП и др.

В разработанном устройстве погрешность измерения температуры с помощью платиновых термометров составляет $\pm 0,35\%$ в широком диапазоне измерения, а при подстройке к конкретному датчику с измерением в узком диапазоне, например в интервале от 0 до 100 °С, может быть снижена до $\pm 0,2$ °С.

Контроль температуры реагентов с применением платиновых термометров в реализованном устройстве измерения температуры является достаточно высокоточным, надежным и стабильным во времени, хорошо встраивается в автоматизированные системы для обеспечения термостабилизации проводимых процессов и т.д.

Описанные подходы и схема по контролю температуры могут быть рекомендованы при проведении химической нейтрализации ВВ и других технологических процессов. 🐾

1. *Исследование* теоретических основ приборного, технологического и методического обеспечения гуманитарного разминирования: (Отчет о НИР заключительный) / Науч.-исследоват. и проектно-конструкторский ин-т «Искра». — № ГР 0106U001178; Инв. № 75. — Луганск, 2008. — 897 с.
2. *Пат. 35260 Украина, МПК F 42B 33/00.* Реагент для нейтрализации взрывовых речовин / В.А. Бігвава, В.П. Литвин, Г.Л. Логунова. — Заявл.07.04.08. — Опубл. 10.09.08; Бюл. № 17.
3. *Температурные измерения:* Справочник / О.А. Герасченко, А.Н. Гордов, А.К. Еремина и др. — Киев: Наук. думка, 1989. — 704 с.
4. *Линевег Ф.* Измерение температур в технике: Справочник: Пер. с нем. — М.: Металлургия, 1980. — 544 с.
5. *Термоперетворювачі* опору промислові платинові: ДСТУ ІЕС 60751:2006. — [Чинний від 2007. 10 01]. — К.: Держспоживстандарт України, 2006.
6. *Burr-Brown Corporation.* Linear Products. — Tucson, 1997. — 896 p.
7. *Atmel Corporation.* Configurable logic: Design and application book. — San Jose, 1997. — 804 p.

**Unmanned
Systems
Summit 2009™**

September 28 - 30, 2009, Washington, DC
Location: TBA Washington DC Metro Area



Беспилотные системы. Саммит 2009
28-30 сентября 2009 г., Вашингтон, ДС, район метро

Questions? Contact us on 1-800-882-8684 or email info@idga.org now!