

**В.И. Голинько, д-р техн. наук**

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

**В.В. Белоножко**

(Украина, Копотоп, ОАО «Красный металлист»)

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕРМОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАНА

Одним из наиболее распространенных методов контроля содержания метана является терموкаталитический. Этот метод обладает рядом существенных преимуществ. Теоретические и экспериментальные исследования процессов катализа и термокаталитических преобразователей весьма обширны и достаточно хорошо освещены в литературе [1 - 3].

Метод обладает высокой чувствительностью. В идеальном случае при тщательном изготовлении термокаталитических датчиков, обеспечивающем идентичность характеристик каталитически активного и компенсационного элементов, на результаты измерения не влияют температура, давление и состав атмосферы, а также колебания напряжения, питающего термогруппу (в небольших пределах). Однако на практике очень трудно достичь идентичности характеристик элементов и поэтому все выпускаемые технические средства имеют относительно большую погрешность измерения и требуют дополнительной настройки в условиях эксплуатации. Вот почему необходимы исследования направленные на совершенствование термокаталитических датчиков, в плане уменьшения влияния на их работу неконтролируемых факторов рудничной атмосферы.

Задачей настоящей работы является поиск путей улучшения метрологических характеристик термокаталитических средств контроля за счет совершенствования схем включения термокаталитических датчиков.

Рассмотрим наиболее часто применяемую схему включения термокаталитического датчика с последовательным расположением в одном плече измерительного моста термоэлементов (рис. 1). Условие равновесия измерительного моста при отсутствии горючего газа следующее

$$R_p / R_k = R_1 / R_2.$$

Если величина отношения  $R_1 / R_2 = const$  и не зависит от изменения влияющих факторов, то условием сохранения баланса моста при изменении факторов, влияющих на величину сопротивления элементов, будет:

$$\frac{R_p + \Delta R_p}{R_k + \Delta R_k} = \frac{R_p}{R_k}.$$

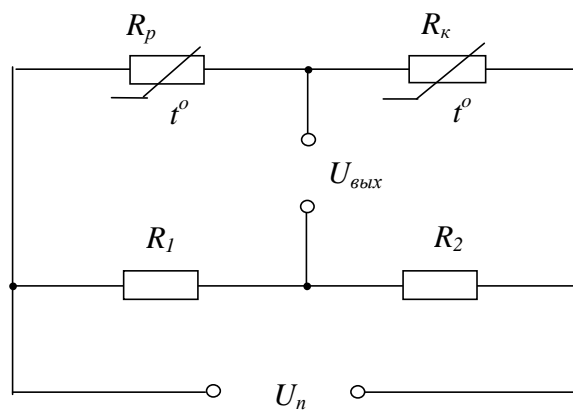


Рис. 1. Схема включения термокаталитического датчика с последовательным расположением элементов

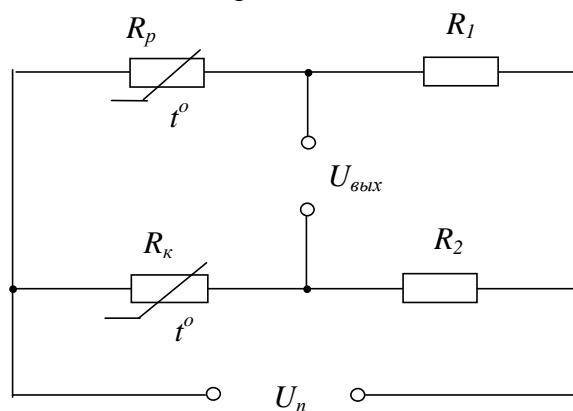


Рис. 2. Схема включения термокаталитического датчика с расположением элементов в различных плечах моста

Выполнив преобразования и перейдя от приращения сопротивлений к их дифференциалам, получим условие неизменности баланса моста

$$R_p / R_k = dR_p / dR_k. \quad (1)$$

Величина сопротивления элементов  $R_3$  в чистом воздухе может быть определена из равенства [1]

$$P_3 = \alpha_3 F_3 (t_3 - t_2) \quad (2)$$

где  $P_3$  - мощность, потребляемая элементом;  $\alpha_3$  - суммарный коэффициент теплоотдачи элемента;  $t_3$ ,  $t_2$  - температура элемента и газа, соответственно.

С учетом зависимости величины сопротивления, изготовленного из платиновой проволоки, от температуры

$$R_{\vartheta} = R_{\vartheta 0} (1 + \beta_{\vartheta} t_{\vartheta}). \quad (3)$$

Выразим мощность через величину тока, протекающего через элемент, и его сопротивление, т.е.

$$I_{\vartheta}^2 R_{\vartheta} = \alpha_{\vartheta} F_{\vartheta} \left( \frac{R_{\vartheta} - R_{\vartheta 0}}{\beta_{\vartheta} R_{\vartheta 0}} - t_{\vartheta} \right). \quad (4)$$

Здесь  $R_{\vartheta 0}$  - сопротивление элемента при нулевой температуре;  $\beta_{\vartheta}$  - температурный коэффициент сопротивления элемента.

Решив равенство (3) относительно  $R_{\vartheta}$ , получим

$$R_{\vartheta} = R_{\vartheta 0} (1 + \beta_{\vartheta} t_{\vartheta}) / \left( 1 - \frac{\beta_{\vartheta} I_{\vartheta}^2 R_{\vartheta 0}}{\alpha_{\vartheta} F_{\vartheta}} \right). \quad (5)$$

Из величин, входящих в уравнение (5), переменными являются  $t_{\vartheta}$ ,  $I_{\vartheta}$  и  $\alpha_{\vartheta}$ . Все они взаимосвязаны, т. к. изменение  $t_{\vartheta}$  влечет за собой изменение  $I_{\vartheta}$  (при питании от источника напряжения), а изменение  $I_{\vartheta}$  приводит к изменению температуры элемента и влияет на  $\alpha_{\vartheta}$ . Две из них ( $t_{\vartheta}$  и  $I_{\vartheta}$ ) можно стабилизировать, например, при питании элементов от источника стабильного тока и работе при постоянной температуре газа. Поэтому рассмотрим условие (1), прежде всего, при изменении величины  $\alpha_{\vartheta}$ .

Подставив в уравнение (5) значения соответствующих величин рабочего и компенсационного элементов, имеем:

$$R_p = R_{p0} (1 + \beta_p t_{\vartheta}) / \left( 1 - \frac{\beta_p I_p^2 R_{p0}}{\alpha_p F_p} \right); \quad (6)$$

$$R_k = R_{k0} (1 + \beta_k t_{\vartheta}) / \left( 1 - \frac{\beta_k I_k^2 R_{k0}}{\alpha_k F_k} \right).$$

Для упрощения выкладок рассмотрим условие, при котором отсутствует дрейф нуля измерительного моста при неидентичном значении одного из параметров, например, площади элементов, считая, что остальные параметры идентичны:  $\beta_p = \beta_k = \beta_{\vartheta}$ ;  $R_{p0} = R_{k0} = R_{\vartheta}$ ;  $\alpha_p = \alpha_k = \alpha_{\vartheta}$ .

В этом случае, продифференцировав выражение (6) по  $\alpha$ , подставив зна-

чение полученных величин в выражение (1) и выполнив преобразования, окончательно получим:

$$\frac{I_p^2}{F_p} = \frac{I_k^2}{F_k}. \quad (7)$$

Из этого выражения видно, что при традиционной схеме включения термомгруппы, т.е. равенстве токов, протекающих через элементы, невозможно исключить дрейф нуля при неидентичности хотя бы одного из параметров, т.к. при  $F_p \neq F_k$  условие (7) невыполнимо. Очевидно, его можно выполнить при неравенстве токов  $I_p$  и  $I_k$ , например, при включении элементов в разные плечи моста (рис. 2) или путем шунтирования одного из элементов при традиционной схеме включения. Значение тока  $I_p$ , необходимое в этом случае для исключения дрейфа нуля, будет:

$$I_p = \sqrt{I_k^2 \frac{F_p}{F_k}}. \quad (8)$$

Определим для данного случая величину температуры рабочего и компенсационного элементов. Из уравнения (2) с учетом выражений (3) и (4), имеем

$$t_3 = \frac{I_3^2 R_{30} + \alpha_3 F_3 t_2}{\alpha_3 F_3 - \beta_3 I_3^2 R_{30}}.$$

При принятых допущениях температура элементов

$$t_k = \frac{I_k^2 R_{30} + \alpha_3 F_k t_2}{\alpha_3 F_k - \beta_3 I_k^2 R_{30}};$$

$$t_p = \frac{I_p^2 R_{30} + \alpha_3 F_p t_2}{\alpha_3 F_p - \beta_3 I_p^2 R_{30}}.$$

Подставив вместо  $I_p$  его значение из равенства (8), получим

$$t_p = \frac{I_k^2 \frac{F_p}{F_k} R_{\text{эо}} + \alpha_{\text{э}} F_p t_2}{\alpha_{\text{э}} F_p - \beta_{\text{э}} I_k^2 \frac{F_p}{F_k} R_{\text{эо}}} = \frac{I_k^2 R_{\text{эо}} + \alpha_{\text{э}} F_k t_2}{\alpha_{\text{э}} F_k - \beta_{\text{э}} I_k^2 R_{\text{эо}}}.$$

Таким образом, в этом случае температура элементов  $t_p = t_k$  и, следовательно, для исключения дрейфа нуля измерительного моста необходимо термически уравнивать элементы.

Аналогичные выкладки можно сделать при постоянных значениях других влияющих величин, в общем случае условие (3) выполняется при соблюдении равенства

$$\frac{\alpha_p}{R_{po}} - \frac{\beta_p}{F_p} I_p^2 = \frac{\alpha_k}{R_{ko}} - \frac{\beta_k}{F_k} I_k^2.$$

Откуда для исключения дрейфа необходимо, чтобы

$$I_p = \sqrt{I_k^2 \frac{F_p \beta_k}{F_k \beta_p} - \left( \frac{\alpha_p}{R_{po}} - \frac{\alpha_k}{R_{ko}} \right) \frac{F_p}{\beta_p}}.$$

Полученное выражение не имеет практического значения, поскольку определить значения параметров элементов экспериментально невозможно. Однако теоретические выкладки указывают на возможность исключения дрейфа нуля измерительного моста при его термической балансировке, поэтому целесообразно разработать схему включения термокаталитического датчика, позволяющую осуществлять термическую балансировку элементов и способ выполнения балансировки.

Наиболее просто при настройке и эксплуатации термокаталитических средств контроля изменять величину тока через элементы посредством изменения величины напряжения, питающего измерительный мост, а термическую балансировку элементов осуществлять путем их шунтирования дополнительным резистором при последовательной схеме включения (рис. 1).

На рис. 3 приведены типичные кривые зависимости выходного напряжения измерительного моста от питающего напряжения, экспериментально снятые для термогрупп при  $R_p > R_k$  и  $R_k > R_p$ . Измерительные мосты уравнивались при напряжении питания  $U_{cp}$ .

Как видно из рисунка, при изменении питающего напряжения наблюдается уход нуля измерительного моста, который при определенных условиях является сопоставимым с информационным сигналом. Аналогичный характер имеет зависимость выходного напряжения измерительного моста при измене-

нии иных влияющих параметров. Задача термической балансировки при этом сводится к устранению дрейфа нуля. Учитывая разброс характеристик  $R_p$  и  $R_k$ , целесообразно при термической балансировке одновременно шунтировать оба резистора резисторными цепочками с возможностью изменения величины шунтирующих резисторов.

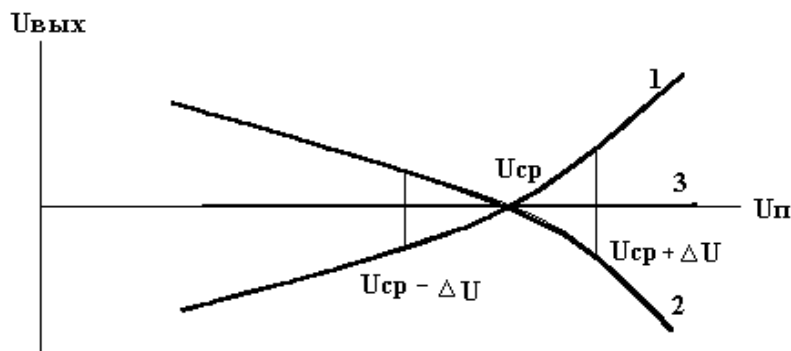


Рис. 3. Зависимость выходного напряжения измерительного моста от напряжения питания: 1 – при  $R_p > R_k$ ; 2 – при  $R_k > R_p$ ; 3 – после термической балансировки.

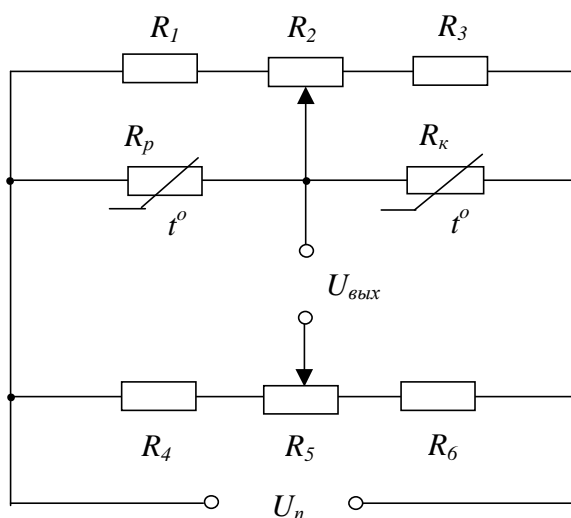


Рис. 4. Схема включения термокаталитического датчика с термической балансировкой элементов

На рис. 4 приведена предлагаемая схема включения термокаталитического датчика, позволяющая осуществлять его термическую балансировку.

Введение резисторной цепочки, шунтирующей элементы, при определенном подборе величин сопротивления шунтов позволяет выровнять температуру элементов. Поскольку при изменении сопротивлений шунтирующих элементов происходит также разбаланс моста, необходимо разработать достаточно простой способ балансировки предложенной схемы включения. В качестве параметра, при изменениях которого целесообразно осуществлять балансировку, очевидно, следует взять напряжение питания измерительного моста, а баланси-

ровку осуществлять при низкочастотной модуляции напряжения, причем глубину модуляции  $\Delta U$  необходимо выбирать с учетом возможных колебаний влияющих факторов, приведенных к колебанию питающего напряжения. Частоту модулирующего напряжения следует выбирать с учетом инерционных свойств термогруппы в диапазоне от 0,1 до 0,2 Гц.

При подаче на измерительный мост напряжения, модулированного низкой частотой (рис. 5), на выходе несбалансированного моста наблюдается модулированное той же частотой напряжение (кривая I, рис. 6), величина амплитуды которого определяется степенью неуравновешенности моста.

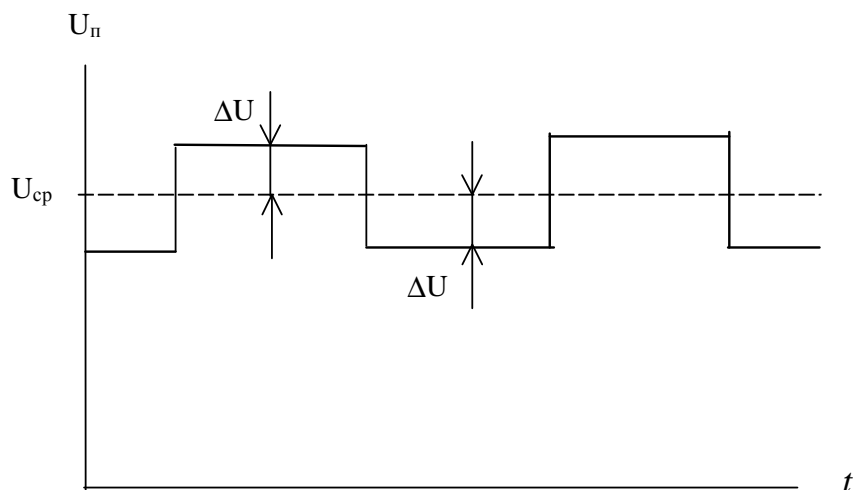


Рис. 5. Напряжение питания термогруппы при ее термической балансировке

Балансировка моста осуществляется следующим образом: вначале резистор  $R_2$  (рис.4) устанавливают в положение, при котором отсутствует низкочастотная модуляция выходного напряжения измерительного моста (кривая 2, рис. 6). Затем резистором  $R_5$  устанавливают среднее значение выходного напряжения моста, равное нулю. Так как при этом частично нарушаются условия работы термогруппы, то на выходе измерительного моста снова наблюдается низкочастотная составляющая, но с меньшей амплитудой колебаний (кривая 3, рис. 6). Указанные операции повторяют до полной балансировки моста (кривая 4, рис. 6), для чего обычно требуется 3-4 цикла регулировки.

Приведенная схема включения термогруппы и предложенный порядок ее балансировки исследованы на термогруппах, серийно выпускаемых НПО «Красный металлист» и применяемых в стационарной и переносной аппаратуре контроля содержания метана. В результате установлено, что предложенное решение позволяет практически полностью исключить уход нуля измерительного моста при колебаниях питающего напряжения и других влияющих факторов.

В производственных условиях балансировку моста можно осуществить, изменяя величину питающего термогруппу напряжения при помощи микропереключателя. В этом случае порядок балансировки следующий:

- устанавливают переключателем минимально возможное напряжение на термогруппе;

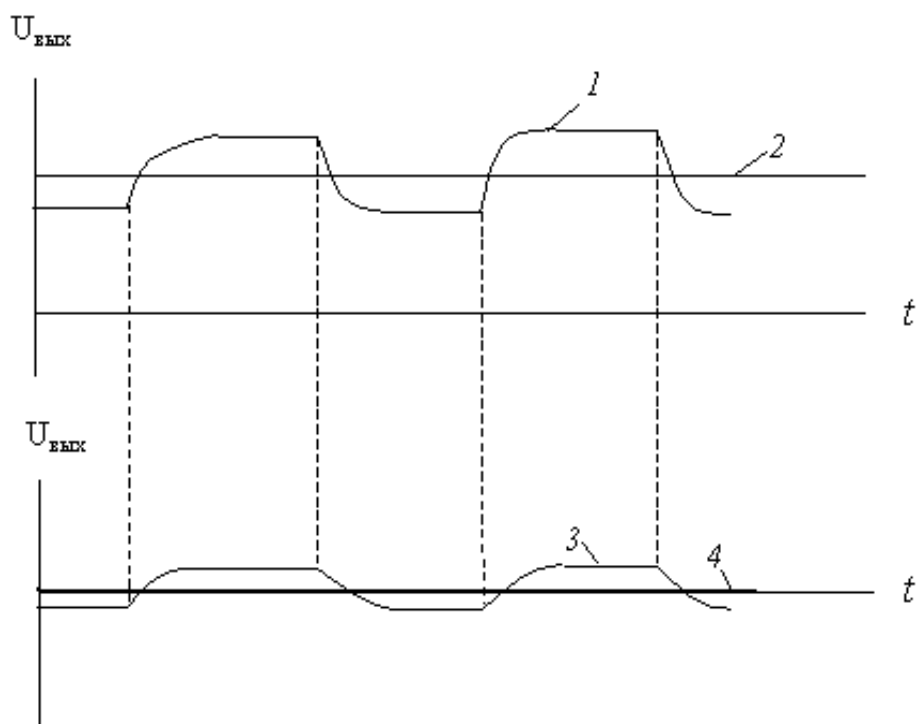


Рис. 6. Выходное напряжение измерительного моста при балансировке

- после окончания переходного процесса ( $\approx 5\text{с}$ ) резистором  $R_5$  устанавливают «0» измерительного моста;
- устанавливают максимально возможное напряжение на термогруппе;
- при появлении разбаланса, после окончания переходного процесса подстраивают измерительный мост резистором  $R_2$  и снова повторяют все операции.

При выполнении последней операции, для ускорения процесса, целесообразно резистором  $R_2$  устанавливать не «0» моста, а осуществлять 2-4 – кратное перерегулирование, т.е., например, если уход нуля составлял +2 мВ, следует установить резистором минус 6 мВ, а в измерительных мостах переменного тока, вращая в одну сторону резистор 2, вначале добиться «0» измерительного моста и довести выходное напряжение до 6 мВ. В таком случае для полной балансировки моста требуется 3-4 цикла подстройки.

Итак, термическая балансировка элементов позволяет значительно улучшить метрологические характеристики существующих средств контроля, а также создать новые, более совершенные средства, в том числе с расширенным диапазоном измерения концентраций, с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Это открывает новые возможности в плане автоматизации процессов контроля и автоматической диагностики стационарных средств контроля содержания метана.

#### Список литературы

1. Карпов Е.Ф., Биренберг И.Э., Басовский Б.И. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы. – М.: Недра, 1984. – 285 с.



2. Природные опасности в шахтах. Способы их контроля / Е.Ф.Карпов, Ф.С. Клебанов, А.Э. Петросян и др. - М.: Недра, 1981. - 471 с.
  3. Щербань А.Н., Фурман Н.И. Методы и средства контроля рудничного газа. – К.: Наук. думка, 1965. – 411 с.
- УДК 681.5.08:622.412.13