

СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА

Рыжков С.В., студент; Новиков Е.Н., доц., к.т.н.

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

До настоящего времени как в нашей стране, так и за рубежом накоплен значительный опыт разработки и эксплуатации приборов и аппаратуры автоматического контроля состава и параметров приисковой атмосферы. Наибольшие успехи добился в решении вопросов автоматического контроля метана.

Однако установлено, что в условиях шахт, разрабатывая пласты опасные по внезапным газодинамическим явлениям, применение приборов и аппаратуры автоматического контроля метана, что осуществляют только оценку концентрации, недостаточно эффективно для своевременного предупреждения взрыва и удушья горняков.

Необходимой эффективности работы аппаратуры газового контроля (АГК) можно достичь при дополнительном контроле скорости нарастания и распространения концентрации метана в горной выработке или других информационных признаков, свойственных опасным газодинамическим явлениям.

Из регрессивных кривых изменения концентрации метана при внезапных выбросах (рис. 1) следует, что верхняя доверительная граница имеет закон изменения CH_4 :

$$n(t) = 0,33 + 0,8t. \quad (1)$$

Поскольку термокаталитический датчик метана представляет собой апериодическое звено второго порядка [1, 3]:

$$W_D(p) = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{n_{\text{мо}}(p)} = \frac{K_{DM}}{(T_G p + 1)(T_T p + 1)} \quad (2)$$

где $K_{DM} = K_G \cdot K_T$ коэффициент передачи (чувствительности) ДМ, В/об%;
 $T_T = 0,6\text{с}$ и $T_G = 2,2\text{с}$ – постоянные времени теплообмену и газообмену ДМ.

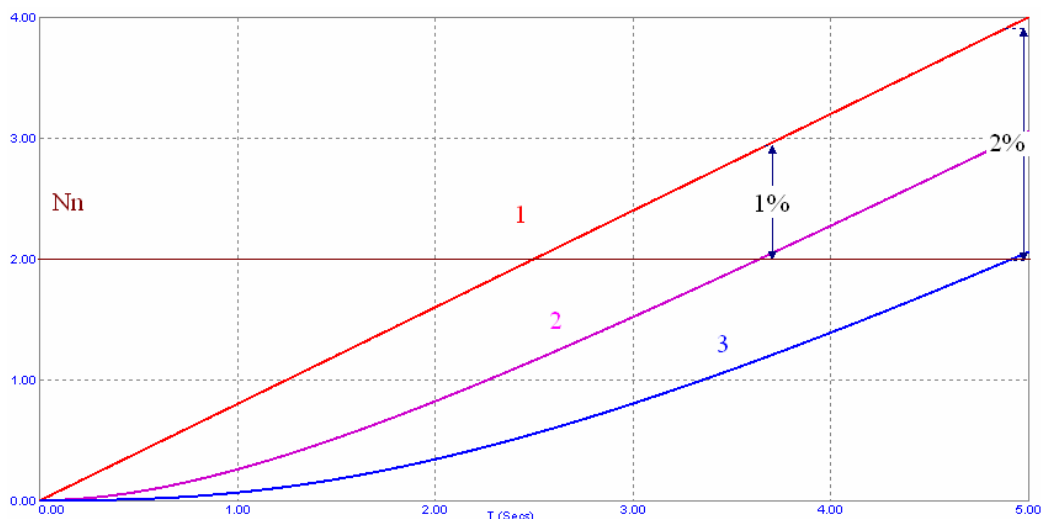


Рисунок 1 - Зависимости изменения концентрации CH_4 (1 - на входе датчика; 2 - на выходе форсированного датчика; 3 - на входе пороговых устройств)

В этой ситуации если на вход ДМ подать сигнал (1) то на выходе получим зависимость на которую будут реагировать пороговые устройства АГЗ (3 – зависимость; рис.1). Из

данных зависимостей следует, что на выходе ДМ сигнал пропорциональный 2% CH_4 появится через 2с, в это время концентрация в выработке достигнет 4% CH_4 . Поэтому для снижения такой погрешности необходимо уменьшать инерционность ДМ.

При линейном изменении содержания метана на входе датчика метана:

$$n(t) = n_0 + V t \quad (3)$$

Соответственно выражению (2) изменение содержания метана на выходе датчика будет:

$$n_{II}(t) = n_0 + V \left[t - T_r - T_r - \frac{T_r^2}{T_r - T_r} e^{-\frac{t}{T_r}} + \frac{T_r^2}{T_r - T_r} e^{-\frac{t}{T_r}} \right] \quad (4)$$

Если из (3) вычесть (4) то получим значение динамической погрешности $\Delta = n(t) - n_{II}(t)$.

$$\Delta(t) = V \left[T_r + T_r + \frac{T_r^2}{T_r - T_r} e^{-\frac{t}{T_r}} - \frac{T_r^2}{T_r - T_r} e^{-\frac{t}{T_r}} \right] \quad (5)$$

Данные зависимости также подтверждают необходимость уменьшения инерционных свойств термокаталитического датчика метана, поскольку даже при скорости нарастания концентрации метана $V = 0,2$ об%/с динамическая погрешность достигает 0,5 об% что превышает допустимый уровень равный 0,2 об%.

Самый простой способ форсирования переходной характеристики термокаталитического датчика метана основан на вычете сигналов двух апериодических звеньев с постоянными времени, на вход которых подается один и тот же сигнал [3].

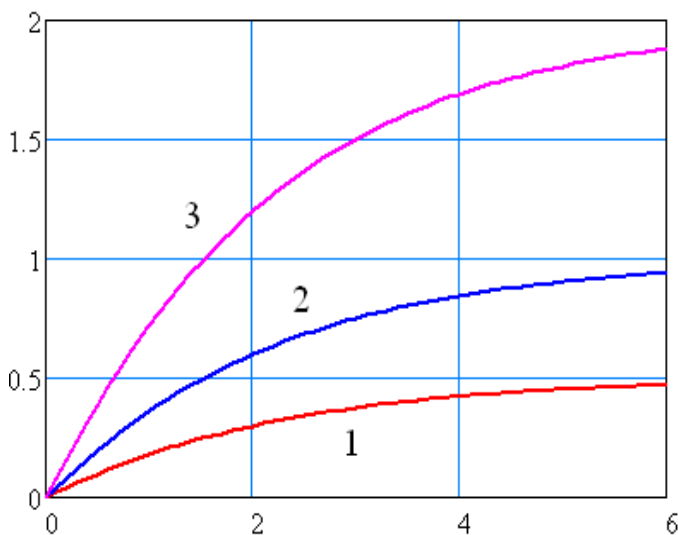


Рисунок 2 - динамические погрешности показаний термокаталитического датчика метана (1 – при скорости нарастания концентрации метана $V = 0,2$ об%/с ; 2 – при $V = 0,4$ об%/с ; 3 – при $V = 0,8$ об%/с)

Таким путем несложно форсировать однокамерный датчик с обособленным катализаторами. Для этого при равной мощности $P_{НА} = P_{НК}$ их постоянная времени K компенсационному элементу выбирается немного больше постоянной времени активного элемента H_A . При этом чувствительность (каталитическая активность) компенсационного элемента меньше чувствительности активного. Это позволяет кроме форсировки датчика в динамическом режиме обеспечить определенную чувствительность его в статическом

режиме. Приросты сопротивлений R_A и R_K чувствительного R_A и компенсационного R_K элементов будут разными ($\Delta R_A > \Delta R_K$) при влиянии на соответствующие им катализаторы анализируемой газовой смеси S %.

Скачкообразное изменение метана в воздухе от нуля к S % вызовет вышеуказанные приросты сопротивлений по следующим переходным характеристикам:

$$\Delta R_A = \eta R_0 \beta \frac{S A}{\alpha_A F_A} (1 - e^{-\mu_A \tau}) \quad (6)$$

$$\Delta R_K = \eta R_0 \beta \frac{S A}{\alpha_K F_K} (1 - e^{-\mu_K \tau})$$

η - коэффициент определяемый параметрами измерительного моста;

α - коэффициент теплоотдачи элемента;

β - температурный коэффициент сопротивления;

A, D - константы каталитической эффективности соответственно активного и компенсационного элементов НА НК ;

R_0 – сопротивление при 0 °C;

F - поверхность чувствительных элементов.

Для равноплечего моста, когда $R_A = R_K = R_1 = R_2 = R$ и $\Delta R_K \ll R$, $\Delta R_A \ll R$ напряжение разбаланса составит:

$$U_{\text{БЫХ}} = \frac{U_{\text{П}}}{4R} (\Delta R_A \cdot \Delta R_K) \quad (7)$$

При допущении, что $\frac{A}{\alpha F_A} \approx \frac{D}{\alpha_K F_K}$ (из условия тепловой симметрии рассеивания равных мощностей) получим:

$$U_{\text{БЫХ}} = \frac{\eta U \beta}{4} \frac{S A}{\alpha_K F_K} (e^{-\frac{\tau}{T_A}} - e^{-\frac{\tau}{T_K}}) \quad (8)$$

Передачная функция форсированного таким способом датчика имеет вид:

$$W(p) = \frac{U_{\text{БЫХ}}(p)}{U_{\text{ВХ}}(p)} = \frac{\eta \cdot U \cdot \beta \cdot S A}{4 \cdot \alpha_K F_K} \frac{(T_K - T_A) p}{T_K \cdot T_A \cdot p^2 + (T_K - T_A)(p + 1)} = \frac{k \cdot (T_K - T_A) p}{(T_K - T_A)(p + 1)} \quad (9)$$

Из (9) видно что форсированный датчик представляет собой два звена соединенных последовательно, дифференцирующее звено:

$$W_1(p) = k \cdot (T_K - T_A) p$$

и апериодическое звено первого порядка:

$$W(p) = \frac{1}{(T_K - T_A)(p + 1)}$$

Быстродействие будет возрастать с уменьшением разности постоянных времени T_A - активного и T_K - компенсационного элементов, в следствии уменьшения активности элементов, что непременно обусловит ответное уменьшение общей чувствительности датчика и неминуемо вызовет большую погрешность измерения в случае быстрого изменения концентрации метана.

На рис. 3 приведены переходные характеристики обычного датчика и форсированного.

Если применить форсированный датчик ДМ для контроля концентрации CH_4 то информацию о пороговой концентрации 2% CH_4 получим через 3,6с, а реальная концентрация будет 3% CH_4 . Это может привести к взрыву метано воздушной смеси. Поэтому целесообразно применять дополнительно контроль скорости нарастания концентрации метана [3, 4].

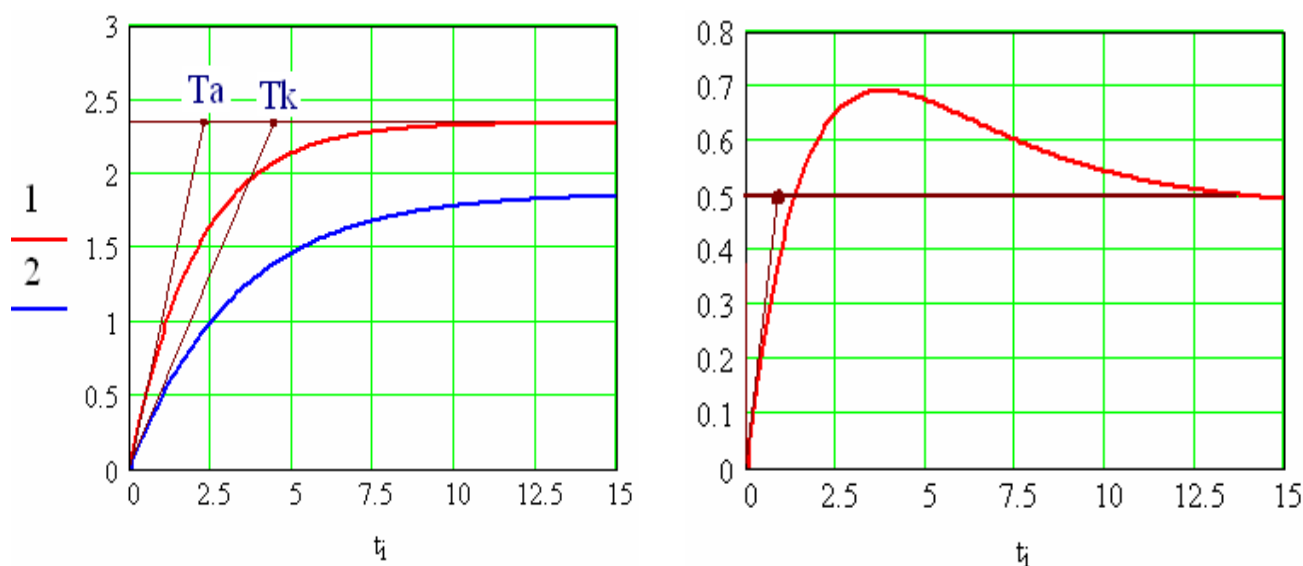


Рисунок 3 - приведены переходные характеристики обычного датчика и форсированного (1 - переходные характеристики обычного датчика; 2 - переходные характеристики датчика с активным компенсационным элементом; 3 - переходные характеристики датчика форсированного)

На основании проведенных исследований форсирования термокatalитического метода контроля концентрации метана можно сделать вывод, что применение дополнительного чувствительного элемента датчика метана снижает динамическую погрешность измерения. Но это снижение не достаточно при контроле газодинамических явлений со скоростями нарастания более 0,5 об% /с. Для устранения этого недостатка рекомендуется применять дополнительно канал контроля скорости нарастания концентрации метана [3, 4].

Перечень ссылок

1. Назаренко В. И., Новиков Е.Н. Влияние реакции окисления метана на метрологические характеристики термокatalитического датчика метана/ Вопросы вентиляции и борьбы с газом и внезапными выбросами в угольных шахтах/ научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского. М., 1977 - Вып. 157. – С. 111 – 115.
2. Назаренко В. И., Новиков Е.Н. О допустимом разбросе параметров корректора малоинерционной газовой защиты/ Борьба с газом, пылью и выбросами в угольных шахтах / сб. науч. тр. / МакНИИ – Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1976. – Вып. 12. – С. 63 – 66.
3. Новиков Е.Н., Назаренко В. И. Компенсация статической и динамической погрешностей термокatalитического датчика метана / Улучшение охраны труда и техники безопасности на предприятиях и стройках угольной промышленности / сб. науч. тр. / МакНИИ – Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1978. – Вып. 2. – С. 78 – 84.
4. Назаренко В. И., Новиков Е.Н. Некоторые особенности применения корректоров в быстродействующей газовой защите/ Безопасная эксплуатация электромеханического оборудования в шахтах/ сб. науч. тр. / МакНИИ – Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1979. – Вып. 9. – С. 76 – 83.