

ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ НАГРЕВАТЕЛЯ НА СКОРОСТЬ ГАЗООБМЕНА В ДАТЧИКЕ МЕТАНА

Холодов О.А. студент; **Новиков Е.Н.**, доц., к.т.н.

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

Серийно выпускаемые датчики метана имеют значительное транспортное запаздывание. Исчисляемое десятками секунд что совершенно неприемлемо для быстродействующей газовой защиты. Уменьшение габаритов газовой камеры снижает транспортное запаздывание до единиц секунд, что также не обеспечивает необходимых параметров быстродействующего анализатора метана. Газообмен в этих датчиках обеспечивается депрессией в камере, создаваемой конвективным теплообменом термоэлементов с анализируемым воздухом и, в результате, разной плотностью газа в камере и за ее пределами, мощность термоэлементов, находящихся в камере незначительна, невелика и внешние температуры воздуха в камере над внешней средой. По этой причине в датчике создается малая депрессия, которая гасится трением на входящих предохранительных решетках и стенках камеры. Наиболее простой, на первый взгляд, конструкцией, для обеспечения в камере больших скоростей воздуха представляется воздуходувка с электрическим приводом. Однако наличие в датчике вращающихся деталей, непременно работающих месяцы и даже годы в столь пыльной и влажной атмосфере снизит надежность воздухоборного устройства. Дополнительные трудности при реализации этого устройства возникнут при обеспечении искробезопасности питания электропривода воздуходувки, что может оказаться в принципе невозможным, все это в большей мере усложнит воздухоборные устройства с электродвигателем и сделает его ненадежным.

Поэтому в основу для реализации увеличения подачи воздуха в камеру датчика, был принят конвективный теплообмен. Который хотя имеет низкую эффективность, но не содержит движущихся частей. Для увеличения скорости воздуха в камере датчика устанавливается дополнительный нагреватель мощностью в несколько ватт, а сам датчик представляет собой вертикальный цилиндр с небольшим внутренним диаметром и достаточной высотой.

При определении необходимой мощности нагревателя для обеспечения необходимой скорости воздуха необходимо выявить зависимость между рассеиваемой в датчике мощностью, геометрическими размерами, физическими свойствами воздуха и его скоростью.

Если на нагревание воздуха, движущегося в камере датчика со скоростью v , в единицу времени затрачивается количество тепла Q и температура воздуха повышается на Δt , то можно записать следующее равенство

$$Q = c_p m \Delta t = \frac{\pi d^2}{4} v \rho_B c_p \Delta t, \quad (1)$$

где: d – внутренний диаметр; ρ_B – плотность воздуха при температуре t ; C_p – его теплоемкость при постоянном давлении.

Учитывая, что плотность воздуха зависит от температуры, получим

$$\rho_B = \rho_0 \frac{T_0}{T_0 - \Delta t} = \frac{\rho_0}{1 + \frac{\Delta t}{T_0}} \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), получаем выражение, определяющее температуру воздуха в камере датчика при мощности нагревателя Q и скорости v .

$$\Delta t = \frac{T_B}{\frac{\pi}{4Q} c \rho_B d^2 T_B V - 1} \quad (3)$$

Депрессия конвективной тяги, обусловлено разностью температур и удельных весов воздуха вне камеры γ_A и внутри ее γ_t будет определяться высотой камеры датчика.

$$P = h(\gamma_A - \gamma_t).$$

Выразив удельный вес газа через плотность с учетом её зависимости от температуры

$$\gamma_t = \rho_t g = \frac{g \rho_0}{1 + \Delta t}. \quad (4)$$

Получим:

$$\Delta P = g h (\rho_0 - \rho_t) = g h \rho_0 \left(1 - \frac{1}{1 + \Delta t} \right). \quad (5)$$

Депрессия тяги нагретого воздуха частично гасится при его движении на трение о боковые стенки датчика

$$\Delta P_{\text{тр}} = \varepsilon_{\text{тр}} \frac{h \rho_t \vartheta^2}{d} \quad (6)$$

$\varepsilon_{\text{тр}}$ - коэффициент трения воздуха с внутренней поверхностью камеры датчика, который для ламинарного потока равен

$$\varepsilon_{\text{тр}} = \frac{64}{Q_s} = \frac{64 \mu}{\rho_t d \vartheta} \quad (7)$$

С учетом выражения (6) общее сопротивление стенок камеры будут определяться

$$\Delta P_{\text{тр}} = 32 \frac{h \mu}{d^2} \vartheta \quad (8)$$

На входе и выходе датчика установлены взрывозащитные сетки, которые также создают сопротивление движению воздуха и вызывают падение депрессии.

$$\Delta P_{\text{стр}} = (\varepsilon_{\text{вх}} + \varepsilon_{\text{вых}}) \frac{\rho_t \vartheta^2}{2} = \frac{\varepsilon_{\text{стр}} \rho_t \vartheta^2}{2} \quad (9)$$

Коэффициенты трения сеток на входе и выходе

$$\varepsilon_{\text{вх}} = \left(1,707 \frac{f_A}{f_B} - 1 \right)^2$$

$$\varepsilon_{\text{вых}} = \left(\frac{f_A}{f_B} + 0,707 \frac{f_B}{f_A} \sqrt{1 - \frac{f_A}{f_B}} \right)^2 \quad (10)$$

Где f_A - площадь поперечного сечения окна камеры;

f_B - полезная площадь сетки закрывающая камеру;

Общее сопротивление датчика будет

$$\Delta P = \frac{0,5(\varepsilon_{\text{вх}} + \varepsilon_{\text{вых}}) \rho_t \vartheta^2}{1 + \frac{\Delta t}{T}} + \frac{32 h \mu \vartheta}{d^2} \quad (11)$$

Депрессия развиваемая конвективной тягой, равна аэродинамическому сопротивлению датчика, поэтому

$$gh\rho_0 \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{\Delta t}{T}} \right) = \frac{2.5\varepsilon_{сер}\rho_0\vartheta^2}{1 + \frac{\Delta t}{T}} + \frac{32h\mu\vartheta}{d^2}. \quad (12)$$

Подставляем в (3-58) значение Δt из (3) и преобразовывая равенство относительно скорости воздуха, получаем

$$\frac{\pi}{80g} \varepsilon_{сер} Q^2 T_A C_p \rho_A \vartheta^2 - \left(\frac{\varepsilon_{сер}}{2g} - \frac{8}{Q_g} C_p \mu T_A k \right) \vartheta^2 - k = 0. \quad (13)$$

Полученное уравнение третьего порядка

$$A\vartheta^3 + B\vartheta^2 + C = 0 \quad (3-59) \quad (14)$$

Коэффициенты которого равны

$$A = \frac{\pi}{80g} \varepsilon_{сер} C_p \rho_A T_A d^2 \quad B = - \left(\frac{\varepsilon_{сер}}{2g} - \frac{8}{Q_g} C_p \mu T_A k \right); \quad (15)$$

Кубическое уравнение решается методом Кардена

$$\vartheta = \sqrt[3]{-q + \sqrt{q^2 + p^3}} + \sqrt[3]{-q - \sqrt{q^2 + p^3}} = \sqrt[3]{-q + \sqrt{\Delta}} + \sqrt[3]{-q - \sqrt{\Delta}}, \quad (16)$$

где

$$P = \frac{3AC - 3^2}{9A^2} \quad ; \quad q = \frac{B^2}{27A^2} - \frac{BC}{6A^2}; \quad \Delta = q^2 + P^3.$$

При решении уравнения (3-59) оказалось, что $q \gg p$, поэтому оно может быть значительно упрощено.

$$\vartheta = \sqrt[3]{-q} \left(\sqrt[3]{1 + \sqrt{1 + \frac{p^3}{q^2}}} + \sqrt[3]{1 - \sqrt{1 + \frac{p^3}{q^2}}} \right) \approx \sqrt[3]{-q} \left[\sqrt[3]{2} - \sqrt[3]{\frac{1}{2} \left(\frac{P}{q^3} \right)} \right] \approx \sqrt[3]{-2q} \approx \sqrt[3]{\frac{BC}{3A^2} - \frac{2B^3}{27A^2}}$$

На рис.1 приведена зависимость скорости воздуха от рассеиваемой мощности нагревателя для датчика высотой 10; 20; 30 см.

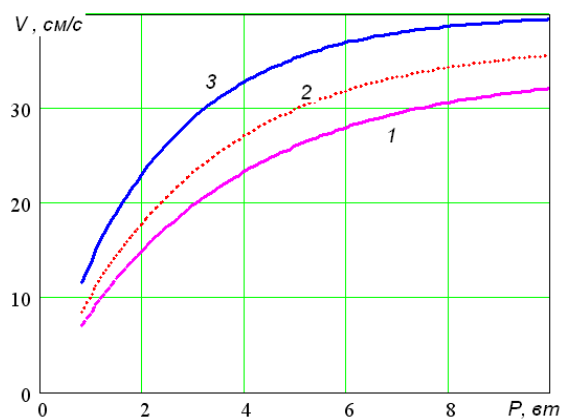


Рисунок 1 – Зависимость скорости воздуха в камере датчика от мощности нагревателя

Перечень ссылок

1. Исследование процессов тепло – и газообмена в термокаталитическом датчике метана // Е.Н. Новиков / В сб. науч. Трудов – МакНИИ, 1979 – 8 с.
2. Новіков Є.М. Автостабілізація вихідного сигналу термокаталітичного датчика метану // Известия донецкого горного института 2.2001
3. Карпов Е.Ф. Автоматическая газовая защита. – М.: Недра, 1989-234с.