телей внутреннего сгорания наиболее близким к внедрению является метод каталитического окисления их токсических компонентов. Разработанный по этому принципу Лабораторией автомобильных нейтрализаторов ЦНИТА каталитический нейтрализатор стержневого типа с платиновыми каталитическими элементами, обеспечивает обезвреживание отработавших газов карбюраторного двигателя ЗИЛ-164 полностью от альдегидов и в среднем на 70—80% от окиси углерода. Установка нейтрализатора на автомобиль вместо глушителя обеспечивает возможность безопасной эксплуатации его в условиях подземных рудников при существующей системе их вентиляции.

ЦНИТА Поступило 2.X 1963.

М. С. МИНАСБЕКЯН, Г. А. СУЛТАНЯН

ПОГРЕШНОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ ПРОВОДОВ ТЕРМОПАР

Ошибки, возникающие при замере температуры с помощью термопар, связаны с теплопроводностью проводов. Как правило, провода термопар от измеряемого объекта до измерительного прибора проходят через зоны с разными температурами. Поэтому спай термопары является либо источником, либо стоком тепла, что, естественно, искажает действительное температурное поле. Прежде, чем перейти к задаче об ошибках, связанных с теплопроводностью проводов термопары, рассмотрим стационарное распределение температуры в неизолированной неограниченной пластине толщиной $H=h+\delta$ с помещенным в ней цилиндрическим источником тепла (рис. 1).

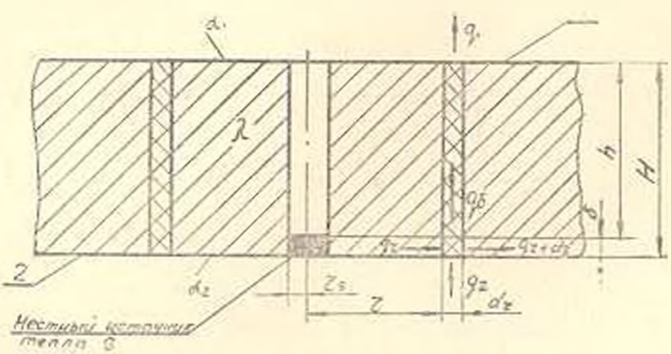

Рис. 1.

Предположим, что общее количество тепла, выделяемого источником S в цилиндрическом объеме $\pi r_s^2 \delta$, равно q_0 *ккал/час*, что источник имеет повсюду одинаковую температуру t_0 и что нет теплообмена через отверстие радиусом r_s. Коэффициент теплопроводности пластины λ предполагается постоянным. Помимо источника тепла S, пластина получает тепло через лицевую поверхность 2 от омывающего ее газа с температурой t_{r2} и отдает тепло через лицевую поверхность 1 газу с температурой t_{r1}. Коэффициенты теплоотдачи на этих поверхностях равны соответственно α_2 и α_1. Задача состоит в том, чтобы найти распределение температуры $t\ (r,\ h)$, где $r_s < r < \infty$.

Для рассматриваемого случая авторами получено следующее уравнение теплового состояния дифференциального кольца пластины:

$$r^2 \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + r \frac{\partial t}{\partial r} - \frac{r^2}{\delta\lambda} (\alpha_1' + \alpha_2) \left(t - \frac{\alpha_1' t_{r1} + \alpha_2 t_{r2}}{\alpha_1' + \alpha_2} \right) = 0, \qquad (1)$$

где

$$\alpha_1' = \frac{\alpha_1 \lambda}{\lambda + h\alpha_1} .$$

При отсутствии источника тепла S пластина была бы изотермической в направлении r, но при $r = \infty$ пластина является изотермической независимо от q_0. Следовательно, когда $r \to \infty$ тогда $\frac{\partial t}{\partial r}$ и $\frac{\partial^2 t}{\partial r^2}$ стремятся к нулю. В этом случае из уравнения (1) получим:

$$t_{r=\infty} = \frac{\alpha_1' t_{r1} + \alpha_2 t_{r2}}{\alpha_1' + \alpha_2} = \xi \qquad (2)$$

Если за новую зависимую переменную принять $T = t - \xi$, то дифференциальное уравнение (1) примет вид:

$$r^2 \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + r \frac{\partial T}{\partial r} - \varepsilon^2 r^2 T = 0, \qquad (3)$$

где

$$\varepsilon^2 = \frac{\alpha_1' + \alpha_2}{\lambda\delta} .$$

Это есть уравнение Бесселя нулевого порядка, общее решение которого имеет вид:

$$T = t - \xi = C_1 J_0 (\varepsilon r) + C_2 K_0 (\varepsilon r), \qquad (4)$$

где J_0 и K_0 являются модифицированными функциями Бесселя первого и второго рода соответственно. Функция $J_0\ (\varepsilon\ r)$ неограничено возрастает по мере того, как ее аргумент εr стремится к бесконечности. Для того, чтобы t оставался конечной величиной при $r \to \infty$ произвольная постоянная C_1 должна быть равна нулю. При $r = r_s$ имеем:

$$q_0 = - \lambda A_s \left(\frac{\partial t}{\partial r} \right)_{rs} = 2\pi\delta\lambda r_s C_2 \varepsilon K_1\ (\varepsilon r_s).$$

Отсюда находим вторую произвольную постоянную

$$C_2 = \frac{q_0}{2\pi\lambda\delta\varepsilon r_s K_1\ (\varepsilon r_s)}$$

Таким образом,

$$t - \xi = \frac{q_0}{2\pi\lambda\delta\varepsilon r_s} \frac{K_0(\varepsilon r_s)}{K_1(\varepsilon r_s)} \tag{5}$$

2. Происхождение ошибок за счет теплопроводности термопары обнаруживается из рассмотрения теплового баланса спая термопары (рис. 2). Спай термопары получает количество тепла q_{02} со стороны газов с температурой t_{r2} и с помощью проводов термопары τ и τ' (рис. 3) отводит количество тепла q_{01} в газ с температурой t_{r1} (при условии $t_{r2} > t_{r1}$).

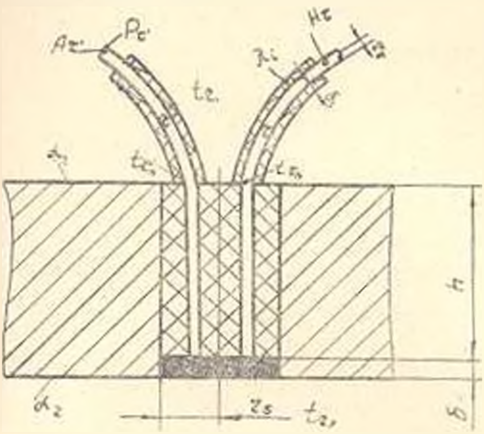

Рис. 2.

В этом случае

$$q_0 = q_{02} - q_{01}. \tag{6}$$

Значение q_0 в основном зависит от значений λ_τ и $\lambda_{\tau'}$. Чем меньше значения λ_τ и $\lambda_{\tau'}$ по отношению к λ, тем больше значение q_0, значит и больше ошибка.

Значения q_{02} и q_{01} определяются из выражений:

$$q_{02} = \alpha_2 \pi r_s^2 (t_{r2} - t_0); \tag{7}$$

$$q_{01} = \frac{\lambda_\tau}{h} \pi r_\tau^2 (t_0 - t_{\tau k}) + \frac{\lambda_{\tau'}}{h} \pi r_{\tau'}^2 (t_0 - t_{\tau k'}). \tag{8}$$

где величина t_0 есть температура записанная термопарой. Остальная часть проводов, находясь в газе с температурой t_{r1}, отдает количество тепла q_{01} газу. Для определения q_{01} воспользуемся известным решением для количества тепла, подводимого к основанию лопатки турбины r при $X = 0$, в виде:

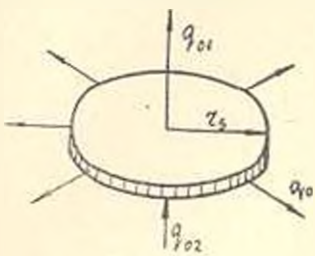

Рис. 3.

$$q_r = \sqrt{\alpha P \lambda A}\ (t_g - t_r)\ thNL.$$

Рассматриваемая задача о подводящих проводах термопары аналогична задаче о турбинной лопатке, с той лишь разницей, что длина термопарного провода L значительна, так что $NL = 1$.

Таким образом, получаем:

$$q_{01} = (H_\tau P_\tau \lambda_\tau A_\tau)^{1/2} (t_{r2} - t_0).$$

Откуда для двух параллельных проводов термопары

$$q_{01} = (H_\tau P_\tau \lambda_\tau A_\tau)^{1/2} (t_{\tau k} - t_{r1}) + (H_{\tau'} P_{\tau'} \lambda_{\tau'} A_{\tau'})^{1/2} (t_{\tau k'} - t_{r1}), \tag{9}$$

где H_τ — коэффициент теплоотдачи на границе раздела

$$H_\tau = \frac{1}{1/\alpha_\tau + \delta l/\lambda_\tau}. \tag{10}$$

В стационарном состоянии в силу (8) и (9) получим:

$$t_{\tau h} = \frac{(H_\tau P_\tau \lambda_\tau A_\tau)^{1/2} t_{r1} + \frac{\lambda_\tau^{1/2}}{h}\pi r_\tau^2 t_0}{(H_\tau P_\tau \lambda_\tau A_\tau)^{1/2} + \frac{\lambda_\tau^{1/2}}{h}\pi r_\tau^2}; \tag{11}$$

$$t_{\tau' h} = \frac{(H_{\tau'} P_{\tau'} \lambda_{\tau'} A_{\tau'})^{1/2} t_{r1} + \frac{\lambda_{\tau'}^{1/2}}{h}\pi r_{\tau'}^2 t_0}{(H_{\tau'} P_{\tau'} \lambda_{\tau'} A_{\tau'})^{1/2} + \frac{\lambda_{\tau'}^{1/2}}{h}\pi r_{\tau'}^2}. \tag{12}$$

Подставляя в уравнение (6) значения $t_{\tau h}$ и $t_{\tau' h}$ из уравнений (11) и (12) и предполагая, что провода имеют одинаковые размеры и одинаковую изоляцию, получим:

$$q_{01} = \frac{\pi r_\tau^2}{h}\left[t_0(\lambda_\tau + \lambda_{\tau'}) - \lambda_\tau \frac{B t_{r1} + \frac{\lambda_\tau^{1/2}}{h}\pi r_\tau^2 t_0}{B + \frac{\lambda_\tau^{1/2}}{h}\pi r_\tau^2} - \lambda_{\tau'} \frac{B t_{r1} + \frac{\lambda_{\tau'}^{1/2}}{h}\pi r_\tau^2}{B + \frac{\lambda_{\tau'}^{1/2}}{h}\pi r_\tau^2}\right], \tag{13}$$

где $B = A_\tau P_\tau H_\tau$.

Подставляя значения q_{02} и q_{01} из уравнений (7) и (13) в уравнение (6) получим q_0 и с помощью уравнения (5) найдем величину погрешности.

АФВНИИЭМ

Поступило 7.IX 63