

ТЕПЛОВОЙ РАСХОДОМЕР ДЛЯ СИСТЕМ СНАБЖЕНИЯ ТОПЛИВОМ С ОБРАТНЫМ ТРУБОПРОВОДОМ

О. М. Ростокина

*Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель В. А. Карпов

Основным достоинством тепловых методов измерения расхода является отсутствие непосредственного контакта с измеряемой средой, чем и определяется основная область их применения: измерение расходов высокотемпературных, агрессивных и находящихся под высоким давлением сред [1]. Так, например, на настоящий момент отсутствуют выпускаемые серийно средства измерения расхода топочного мазута для теплоагрегатов, отсутствуют средства измерения расхода рабочей жидкости в гидравлических системах с пропорциональным управлением, расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания, а имеющиеся серийно выпускаемые тепловые расходомеры не удовлетворяют техническим требованиям для отмеченных применений [2]–[4]. Это объясняется тем, что известные технические решения предназначены для трубопроводов, масса измеряемого вещества в которых не изменяется.

В связи с этим задача совершенствования температурных методов измерения расхода представляется актуальной.

В докладе рассмотрен вариант теплового расходомера для систем снабжения топливом с обратным трубопроводом. Структурная схема такого расходомера представлена на рис. 1.

Конструктивно датчик выполнен в виде участка трубопровода, имеющего две идентичные по гидравлическим параметрам магистрали с последующим их объединением. На каждой из магистралей установлены термопреобразователи прямого подогрева R_{T1} , R_{T2} и термопреобразователи, измеряющие температуру среды t_{CP1} , t_{CP2} и расположенные на участке трубопровода выше по потоку, чем термопреобразователи R_{T1} и R_{T2} , соответственно. Расходомер также содержит два авторегулятора поддержания температур пограничного слоя $(t_1 - t_{CP1}) = \Theta_1$, $(t_2 - t_{CP2}) = \Theta_2$.

В авторегуляторах выполняется равенство:

$$\Theta_1 = t_1 - t_{CP1} = \frac{R_1}{\beta \cdot R_0}; \quad \Theta_2 = t_2 - t_{CP2} = \frac{R_2}{\beta \cdot R_0}.$$

Уравнение теплового баланса для термопреобразователей прямого подогрева R_{T1} и R_{T2} будет иметь вид:

$$P_{ЭЛ1} = \alpha_1 \cdot S_1 \cdot \Theta_1 + \alpha_{П1} \cdot S_{П1} \cdot (t_1 - t_0);$$

$$P_{ЭЛ2} = \alpha_2 \cdot S_2 \cdot \Theta_2 + \alpha_{П2} \cdot S_{П2} \cdot (t_2 - t_0).$$

При идентичности теплофизических параметров термоэлементов $\alpha_{П1} \cdot S_{П1} = \alpha_{П2} \cdot S_{П2} = k$ можно записать:

$$P_{ЭЛ1} = \alpha_1 \cdot S_p \cdot \Theta_1 + k \cdot (t_1 - t_0);$$

$$P_{ЭЛ2} = \alpha_2 \cdot S_p \cdot \Theta_2 + k \cdot (t_2 - t_0).$$

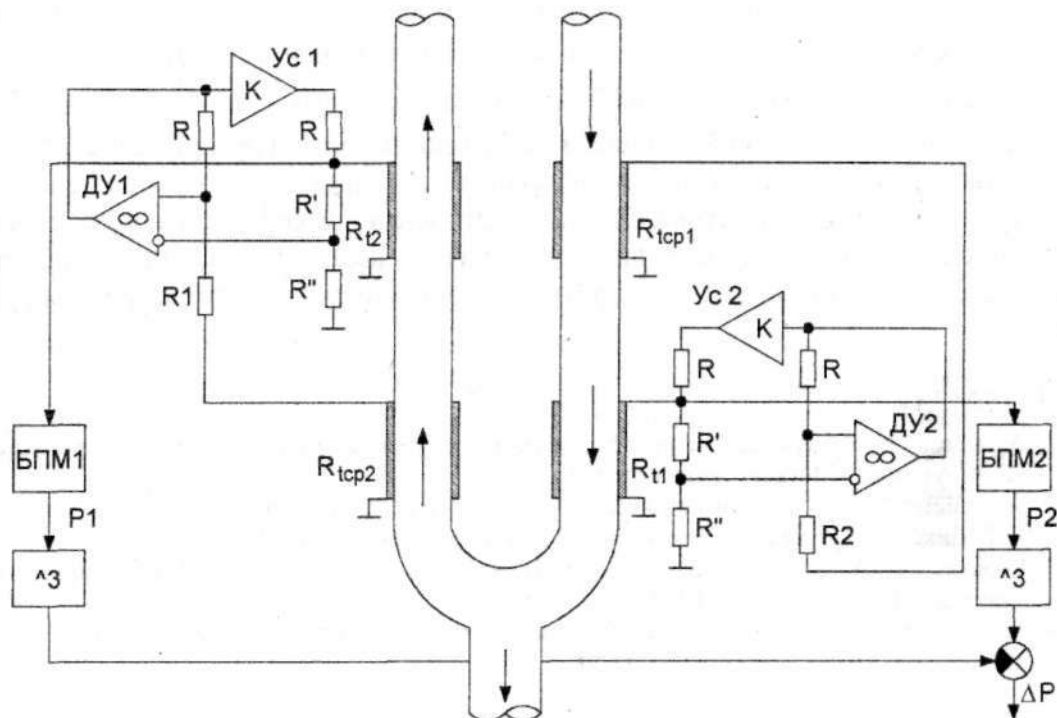


Рис. 1. Структурная схема теплового расходомера для систем с обратным трубопроводом

Полученные мощности пропорциональны коэффициенту теплообмена α_p , который является мерой массового расхода измеряемой среды (для ламинарного течения $\alpha_p \equiv G_M^{1/3}$, G_M – массовый расход).

Чтобы теперь узнать количество потребленной среды, необходимо найти разность между массовым расходом в первой и второй магистралях, т. е. разность между полученными мощностями. Так как коэффициент теплообмена пропорционален массовому расходу в степени $1/3$, то перед тем как находить разность мощностей, необходимо возвести полученные мощности в 3-ю степень.

Для первого терморезистора получаем следующее:

$$P_{ЭЛ1}^3 = (\alpha_1 \cdot S \cdot \Theta_1 + k \cdot \alpha_1 \cdot S \cdot \Theta_1)^3 = (\alpha_1 \cdot S \cdot \Theta_1)^3 + 3 \cdot (\alpha_1 \cdot S \cdot \Theta_1)^2 \cdot k \cdot \alpha_1 \cdot S \cdot \Theta_1 + 3 \cdot (k \cdot \alpha_1 \cdot S \cdot \Theta_1)^2 \cdot \alpha_1 \cdot S \cdot \Theta_1 + (k \cdot \alpha_1 \cdot S \cdot \Theta_1)^3 = (\alpha_1 \cdot S \cdot \Theta_1)^3 \cdot (1 + 3 \cdot k + 3k^2 + k^3).$$

Аналогичное выражение получаем и для мощности второго терморезистора:

$$P_{\text{эл}2}^3 = (\alpha_2 \cdot S \cdot \Theta_2)^3 \cdot (1 + 3 \cdot k + 3k^2 + k^3).$$

Теперь находим разность мощностей:

$$\Delta P = P_{\text{эл}1}^3 - P_{\text{эл}2}^3 = [(\alpha_1 \cdot S \cdot \Theta_1)^3 - (\alpha_2 \cdot S \cdot \Theta_2)^3] \cdot (1 + 3 \cdot k + 3k^2 + k^3).$$

Поскольку $k \ll 1$, можно оценить погрешность от несовершенной теплоизоляции элементов расходомера от окружающего воздуха. Пусть доля теплопотерь в окружающую среду составляет $5 \cdot 10^{-3}$, что вполне реализуемо (в мощных конструкциях эта доля составляет $0,5 \cdot 10^{-3}$), тогда погрешность в определении расхода равна соответственно $3k$, т. е. $1,5 \cdot 10^{-3} = 0,15 \%$, что для тепловых расходомеров является величиной вполне допустимой (основная погрешность составляет примерно 3 %).

Данный преобразователь имеет невысокую дополнительную погрешность от влияния температуры окружающего воздуха. Это влечет за собой снижение требований к теплоизоляции и, как следствие, к упрощению конструкции датчика либо при равных требованиях позволяет расширить диапазон измерения в сторону малых расходов.

Литература

1. Азимов, Р. К. Измерительные преобразователи с тепловыми распределенными параметрами / Р. К. Азимов. – Москва : Энергия, 1977.
2. Зисмайстер, Г. Е. Калориметрические расходомеры. Теплопередача / Г. Е. Зисмайстер, Д. Р. Диксон // Труды американского о-ва инженеров механиков. – 1966. – № 1.
3. Коротков, П. А. Тепловые расходомеры / П. А. Коротков, Д. В. Беляев, Р. К. Азимов. – Ленинград : Машиностроение, 1969.
4. Тепловой расходомер: пат. 3857 Респ. Беларусь / В. А. Карпов, С. А. Мурашко, О. М. Росткина.