

Как показано в [2], изменение аргумента КС резонансной цепи при «уходе» частоты настройки находится по формуле  $\Delta \text{tg}\varphi = 2 (\Delta\omega/\omega_0) Q$ , где  $(\Delta\omega/\omega_0)$  – относительное изменение частоты, а  $Q = 1/(2\beta)$  – добротность. Подставив вышеприведенные допуски на разброс параметров СП, найдем, что максимальное значение  $\Delta \text{tg}\varphi$  составит  $5^\circ$ .

Можно показать, что изменение аргумента КС группы из  $n$  СП равно:

$$\Delta \text{tg}\varphi_{\text{гп}} = \frac{\sum_{i=1}^n 2(\Delta\omega_i/\omega_0)Q}{n}$$

Таким образом,  $\Delta \text{tg}\varphi_{\text{гп}}$  определяется не суммой отклонений, как при контроле по отклику, а средним значением отклонения и в худшем случае не превышает вышевычисленных  $5^\circ$ . Это выгодно отличает данный метод контроля от предыдущего.

При контроле по модулю КС ( $Z$ ) ошибка  $\gamma_z$ , обусловленная допусковыми отклонениями одного СП будет:

$$\gamma_z = (Z_H - Z_\Delta)/Z_H$$

где  $Z_H = R_0$  – номинальное сопротивление на собственной частоте, а  $Z_\Delta$  – сопротивление с учетом отклонений параметров СП от номинальных значений. С учетом [2] можно  $Z$  представить в виде:

$$Z = R_0 / \sqrt{1 + \delta_\Delta^2 \cdot Q_\Delta^2},$$

где  $\delta_\Delta$  – значение относительной расстройки при отклонении собственной частоты от номинального значения,  $Q_\Delta$  – значение добротности с учетом отклонения  $\beta$  от номинального значения. Учитывая, что  $\delta_\Delta Q_\Delta \ll 1$ , и представляя  $Z_\Delta$  двумя первыми членами ряда Маклорена, можно показать, что:

$$\gamma_z = -1/2 \delta_\Delta^2 Q_\Delta^2$$

Учитывая связь между добротностью  $Q$  и степенью затухания  $\beta$  [2],  $\gamma_z$  можно выразить через допустимые отклонения параметров СП:

$$\gamma_z = -\frac{1}{2} \left( \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \right)^2 \frac{1}{4\beta_H^2 (1 \pm \Delta\beta/\beta_H)^2}.$$

Для самого неблагоприятного варианта, когда  $(\Delta\omega/\omega_0) = 5\%$ ,  $\beta = \beta_H(1-0,1)$ ,  $\gamma_z = 0.13\%$ . В группе, составленной из десяти СП, при самом неблагоприятном варианте изменение модуля КС группы СП будет  $1.3\%$ . В то время, как изменение модуля КС группы из десяти СП при наклоне на  $90^\circ$  одного СП типа СВ-5 составит  $(7-8)\%$ , а СВ-10 –  $5\%$ . Таким образом, учитывая результаты эксперимента и проведенного анализа, можно сделать вывод, что контролировать правильность установки СП в группе для СВ-5 и СВ-10 надо по изменению модуля КС, а для СВ-20 – по изменению аргумента КС.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Разработка устройств контроля жесткости пружин сейсмоприемников, правильности установки и исправности групп сейсмоприемников. Отчет по НИР, Абаринов Е.Г. № гос. рег. 1995427, Гомель, 1996г.
2. Абаринов Е.Г. Анализ и расчет частотно-избирательных цепей и активных фильтров с помощью относительной расстройки. Учебное пособие. Гомель, Ротапринт ГПИ, 1993г.

## ТЕРМОКОНВЕКТИВНЫЙ МИКРОРАСХОДОМЕР

В.А.Жарнов, С.А.Мурашко

Гомельский политехнический институт им. П.О.Сухого (Гомель)

В технике измерения микрорасходов газов и жидких сред получили широкое распространение так называемые термоконвективные расходомеры [2]. Неоспоримым достоинством данных расходомеров является бесконтактный способ получения информации, следуют непревзойденные качества при измерении агрессивных сред, находящихся при высоком давлении и температуре сред. Кроме того, этот тип расходомера отличается значительный динамический диапазон (1:10000). К недостаткам следует отнести нелинейность выходной характеристики и низкое быстродействие [1,3].

В докладе рассматривается один из вариантов термоконвективного микрорасходомера входящих в состав установки для исследования проницаемости зерна. Расходомер построен по симметричной схеме – в середине нагревательный элемент, симметрично относительно него расположены термоприемники (Рис. 1). Нагревательный элемент (НЭ) и термо-

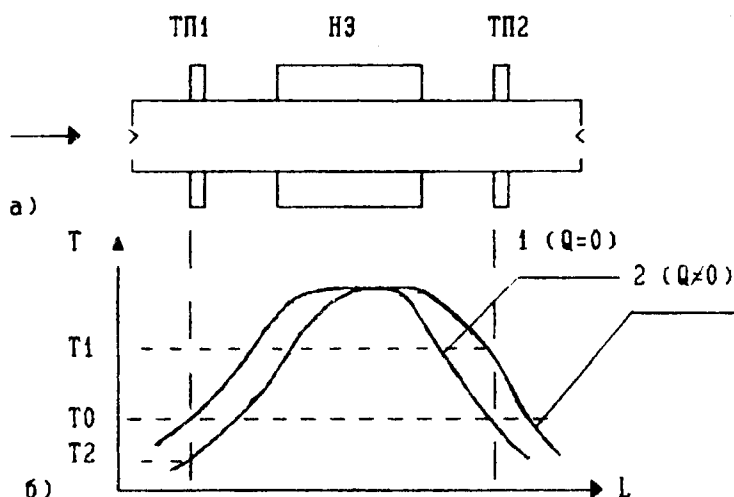


Рис. 1. Схема расходомера (а) и распределение температуры вдоль трубопровода (б).

реямой среды непосредственно прилегающей к внутренней стенке трубопровода, при этом, сама среда по толщине не прогревается. Данное обстоятельство является чрезвычайно важным, поскольку с изменением температуры среды могут существенно искажаться результаты измерений проницаемости кернов.

Особенностью измерения является, чрезвычайно низкий расход, составляющий (0–20)г/час, при внутреннем диаметре трубы 4мм. Данная особенность накладывает жесткие требования к измерению разности температур, которая находится на уровне 0,05°C, при расходе 1г/час.

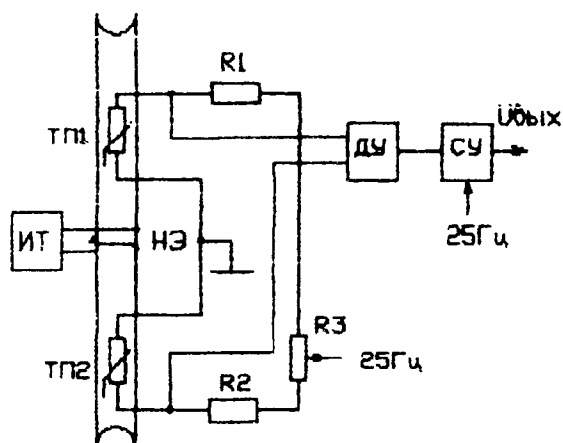


Рис. 2. Схема измерения.

мостовая схема, в два нижних плеча, в которые включены ТП, а другие плечи реализованы с использованием термостабильных резисторов ( $\leq 5 \text{ppm}/^\circ\text{C}$ ). Мост настраивается на нулевой уровень при нулевом расходе и включенном нагреве. Время выхода на режим составляет примерно 25 минут. Соединение ТП с измерительным преобразователем – четырехпроводное. К измерительной диагонали моста подключен усилитель с симметричным входом (ДУ) за счет чего осуществляется подавление симметричной составляющей сетевой помехи. После измерительного усилителя напряжение разбаланса ТП поступает на вход синхронного усилителя, где осуществляется подавление дифференциальной составляющей сетевой помехи. Таким образом, на входе синхронного усилителя (СУ) будет постоянное напряжение, пропорциональное расходу.

Действующий такой преобразователь имеет следующие характеристики:

Мощность отдаваемая нагревателем	1Вт.
Номинальное сопротивление термоприемников	15 Ом.
Разрешающая способность по температуре	0,02 °C.

приемники (ТП) расположены на наружной стороне трубопровода, и не контактируют с измеряемой средой. В отсутствии потока относительно от НЭ будет наблюдаться симметричное распределение температуры вдоль трубопровода (см. Рис. 1.б кривая 1). При наличии потока (в соответствии со стрелкой на рис.1.а) левый ТП будет охлаждаться, а правый нагреваться. В результате сформируется разность температур, которая и будет являться мерой расхода. Следует отметить, что теплообмен между ТП и НЭ осуществляется не только по стенке трубы, но и через слой измеряемой среды.

Для реализации измерительного преобразователя, обладающего такой чувствительностью, и сохранения правильности измерения при наличии значительного уровня сетевых помех на входе преобразователя была предложена функциональная схема, представленная на Рис. 2. ТП выполнены в виде медных термометров сопротивления, которые запитываются переменным током половинной частоты сетевого напряжения. Такое питание позволяет избавиться не только от сетевых помех присутствующих на входе измерительного преобразователя, но и исключить влияние разного рода термоЭ.Д.С., образующихся во входной цепи измерительного преобразователя. НЭ питается постоянным током, чем обеспечивается неизменность мощности нагрева среды. Для компенсации начального сопротивления ТП использована

Диапазон измерения расхода	0 – 20 г/час.
Габаритные размеры	170 × 220мм.
Потребляемая мощность	2 Вт.

На Рис. 3 приведены градуировочные характеристики расходомера, полученные с использованием микробюретки, входящей в комплект установки Т-108 (производства Гомельского ЗИП).

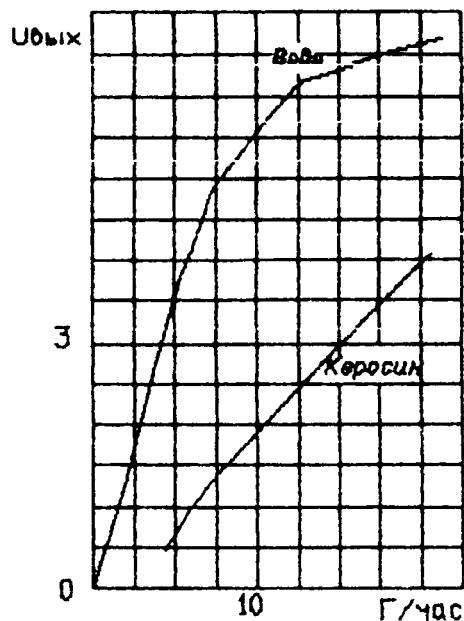


Рис. 3. Градуировочные характеристики расходомера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гладков Ю.И., Хачидзе Т.И., Широков А.Н., Чистяков Ю.Д. Расходомеры газов и жидкостей // Электронная промышленность -N12, 1990 -С.76.
2. ГОСТ 15528-86. Средства измерений расхода, объема или массы протекающих жидкости и газа. Термины и определения.
3. Sensor für die dynamische kalorimetrische Durchflubmessung. Witke W., Hesse Ch., Joneit D., Gutter A. "Technisches Messen", 1991, 58, N 7/8, 293-295 (нем.)

Отпечатано на ризографе ГПИ им. П.О.Сухого

Оригинал-макет подготовлен Сусловым А.А.

Подписано в печать 21.06.1996