

## Особенности применения электромагнитных приборов погружного типа для коммерческого учета тепла и теплоносителя на источниках теплоснабжения

А.А. Шинелев, главный метролог ООО «ТБН энергосервис»

Задачи коммерческого учета количества теплоты и теплоносителя требуют применения достоверных методов и приборов учета. В этих задачах ключевым моментом является измерение расхода. Для измерения расходов жидкости в целях организации коммерческого учета у абонентов с трубопроводами диаметром условного прохода до 300 мм разработано и производится большое количество приборов различных типов и принципов действия. Для коммерческого учета на источниках теплоснабжения с трубопроводами  $D_u > 300$  мм приборов явно недостаточно, а имеющиеся на рынке дороги или обладают характеристиками, не удовлетворяющими в полной мере современным требованиям коммерческого учета.

В настоящее время одним из перспективных решения проблемы измерения расхода в трубопроводах больших диаметров является создание приборов учета на базе погружных электромагнитных преобразователей с использованием метода измерения «площадь-скорость».

Классический метод измерения расхода «площадь-скорость» основан на измерении локальной (местной) скорости  $v$  в одной или нескольких точках поперечного сечения трубопровода, измерении так называемой площади «живого» сечения  $S$  (площади сечения за вычетом суммарной площади миделей датчиков скорости), вычислении средней по сечению скорости жидкости  $u$  и расчете объемного расхода согласно выражению:

$$G = u \cdot S = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot v_i \right) \cdot S \quad (1)$$

где  $N$  – число датчиков локальной скорости,  $\alpha_i$  – коэффициенты, представляющие собой отношение средней скорости к локальной в  $i$ -той точке измерения  $\alpha_i = u/v_i$ .

Обычно локальную скорость измеряют в так называемых точках средней скорости, где  $\alpha_i=1$ . Точки средней скорости при развитом турбулентном течении измеряемой среды расположены на расстоянии  $(0.242 \pm 0.013) \cdot R$  от внутренней поверхности стенки трубы, где  $R$  – внутренний радиус трубы в измерительном сечении (ГОСТ 8.361-79).

Другими характерными точками для измерения скорости являются точки, лежащие на оси трубы, в которых скорость потока максимальна. В этом случае  $\alpha$  является переменной величиной, зависящей от числа Рейнольдса (число Рейнольдса  $Re$  характеризует отношение сил инерции и трения и определяет структуру потока). Еще более сложную зависимость имеет коэффициент  $\alpha$  для точек потока, не лежащих на оси и на окружности  $0.242 \cdot R$ . Это обусловило разработку в первую очередь расходомеров, в которых скорость измеряется в точке  $0.242 \cdot R$  или в центре потока. Однако, конструкция таких расходомеров довольно громоздка и сложна, поскольку предусматривает необходимость погружения датчиков скорости на разную глубину, в зависимости от диаметра трубопровода. Кроме этого, штанги, на которых крепятся чувствительные элементы датчиков скорости, могут иметь значительную длину и достаточно большой поперечный размер для сохранения прочности и предотвращения вибраций. Поэтому введение таких датчиков в поток вносит искажение профиля скорости и дополнительное гидросопротивление.

Стремление упростить конструкцию расходомеров и одновременно снизить гидросопротивление обусловило появление расходомеров с постоянной глубиной погружения, меньшей  $0.242 \cdot R$  (погружные расходомеры пристенного типа). Дополнительным достоинством расходомеров этого типа является уменьшение составляющей погрешности, связанной с несимметрией профиля скорости потока.

К настоящему времени предложено несколько модификаций «классического» метода «площадь-скорость» и выпускается ряд приборов. Однако, в рассмотренных методах измерения и в алгоритмах работы приборов, реализующих эти методы, есть ряд существенных недостатков, не позволяющих достичь высоких метрологических характеристик в широком диапазоне изменения расхода. Основные недостатки рассмотренных методов являются:

- не учитывается искажение исходного профиля скорости конструктивными элементами датчиков скорости, погруженными в поток;
- как правило, коэффициенты  $\alpha$ , описывающие неискаженный профиль скорости, задаются таблично в виде констант, рассчитанных для некоторой заданной температуры (обычно  $20^\circ\text{C}$ ) и скорости. При измерении локальной скорости не в точке  $0.242 \cdot R$  замена функции  $\alpha$  на константу  $\alpha_{маб}$  некорректна. При изменении температуры и скорости жидкости происходит изменение режима течения, что приводит к дополнительной методической погрешности определения расхода, связанной с отличием истинного значения  $\alpha$  от  $\alpha_{маб}$ .

В общем случае коэффициент  $\alpha$  зависит от средней скорости  $u$ , температуры потока  $t$ , внутреннего радиуса  $R$  и расстояния от внутренней стенки трубы до точки измерения локальной скорости  $Y$ :  $\alpha = \alpha(u, t, R, Y)$ . При заданных значениях средней скорости  $u_0$ ,  $R$  и  $Y$ , дополнительная относительная погрешность измерения расхода, связанная с температурной зависимостью коэффициента  $\alpha$  равна:

$$\delta G_t = \frac{\alpha_{маб}(u_0, t_0, R, Y) - \alpha(u_0, t, R, Y)}{\alpha(u_0, t, R, Y)} \cdot 100\% \quad (2)$$

Аналогично, при заданных значениях температуры  $t_0$ ,  $R$  и  $Y$ , дополнительная относительная погрешность, связанная с зависимостью  $\alpha$  от средней скорости равна:

$$\delta G_u = \frac{\alpha_{маб}(u_0, t_0, R, Y) - \alpha(u, t_0, R, Y)}{\alpha(u, t_0, R, Y)} \cdot 100\% \quad (3)$$

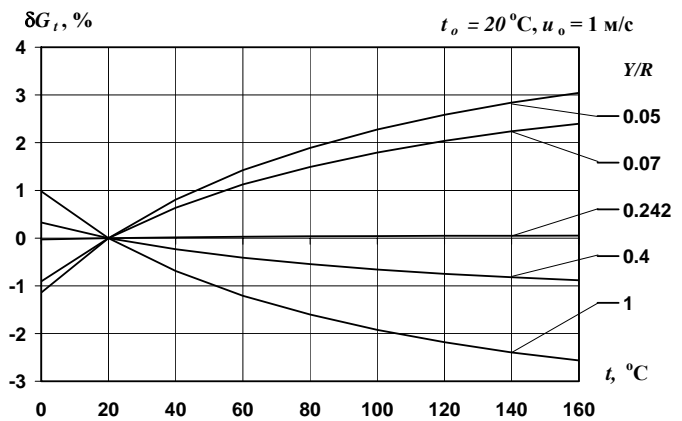


Рис. 1. Дополнительная относительная методическая погрешность  $\delta G_t$ .

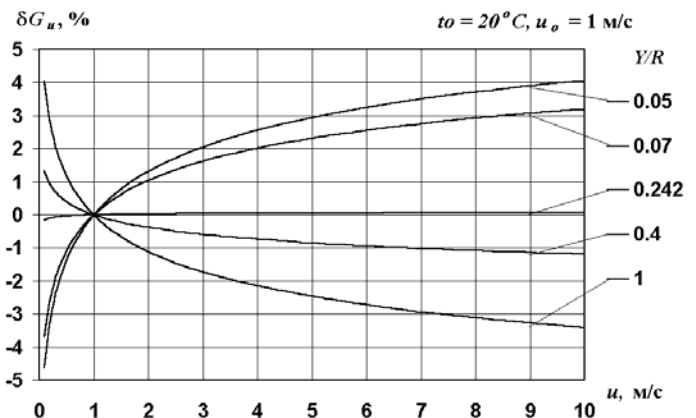


Рис. 2. Дополнительная относительная методическая погрешность  $\delta G_u$ .

На рис. 1 и 2 приведены результаты расчетов  $\delta G_t$  и  $\delta G_u$  для расходомеров, установленных на трубопроводе  $R=1000$  мм при  $u_0=1$  м/с,  $t_0=20^\circ\text{C}$  и различных значениях  $Y/R$ . Видно, что без учета зависимости  $\alpha$  от средней скорости и температуры, погрешность определения расхода может достигать неприемлемой величины.

Специалистами ООО «ТБН энергосервис» разработан метод измерений, позволяющий устранить отмеченные недостатки. Сущность метода заключается в следующем: средняя скорость рассчитывается с учетом искажения исходного профиля скорости погружной частью датчика локальной скорости (или  $N$  датчиков) путем введения поправок  $\Delta\alpha_i$  к коэффициентам  $\alpha_{in}$  для невозмущенного потока и расчете объемного расхода согласно выражению:

$$G = u \cdot S = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\alpha_{in} + \Delta\alpha_i) \cdot v_i \right] \cdot S \quad (4)$$

Алгоритм определения коэффициентов  $\alpha_{in}$  и поправок  $\Delta\alpha_i$  реализован в виде, удобном для программирования микропроцессорного вычислительного устройства (ВУ). По предложенному алгоритму коэффициенты  $\alpha_{in}$  рассчитываются как функции измеренных значений температуры  $t$ , локальной скорости потока  $u$  и введенных в ВУ значений параметров: диаметра трубопровода  $D$  и глубины погружения датчиков скорости  $Y$ , а поправки  $\Delta\alpha_i$  вычисляются как функции  $\alpha_{in}$  и числа Рейнольдса, т.е. при расчете расхода учитывается перестройка режима течения при изменении скорости потока и вязкости контролируемой среды в зависимости от температуры.

В настоящее время на основе вышеописанного метода разработаны и изготавливаются расходомеры РМ-5-Б1(Б3) и теплосчетчик КМ-5 с электромагнитными погружными преобразователями расхода для трубопроводов большого диаметра.

Локальная скорость потока измеряется датчиком скорости (ДС), принцип действия которого основан на явлении электромагнитной индукции (рис. 3). При взаимодействии магнитного поля, создаваемого катушкой возбуждения, с движущейся электропроводной жидкостью, на электродах ДС наводится ЭДС электромагнитной индукции ( $E$ ), пропорциональная локальной скорости жидкости ( $v$ ), расстоянию между электродами ( $L$ ) и электромагнитной индукции ( $B$ ).

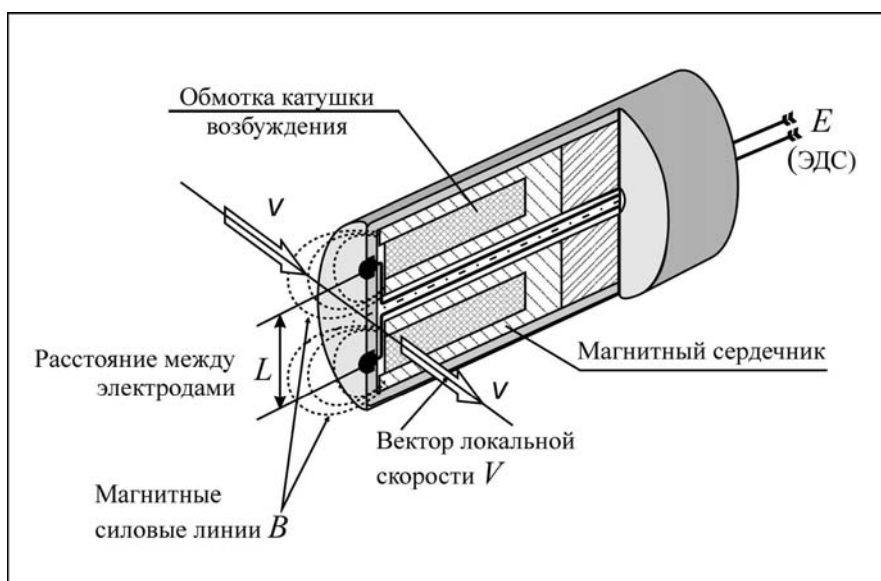


Рис. 3. Принцип работы преобразователя скорости.

ЭДС снимается двумя электродами, расположенными в торце датчика скорости, погруженного в трубу и ориентированного в ней таким образом, чтобы электроды располагались в одном поперечном сечении трубы. Сигнал от ДС экранированными проводами подается на вход измерительного блока, обеспечивающего его дальнейшую обработку. Испытания приборов показали, что благодаря применению разработок «ТБН энергосервис» удалось повысить точность измерения расхода и расширить динамический диапазон до 1:100.

На рис. 4 представлены экспериментальные данные об относительной погрешности определения расхода ( $\delta G$ ) по измеренной локальной скорости в зависимости от средней скорости ( $u$ ) в трубопроводе проливной установки.

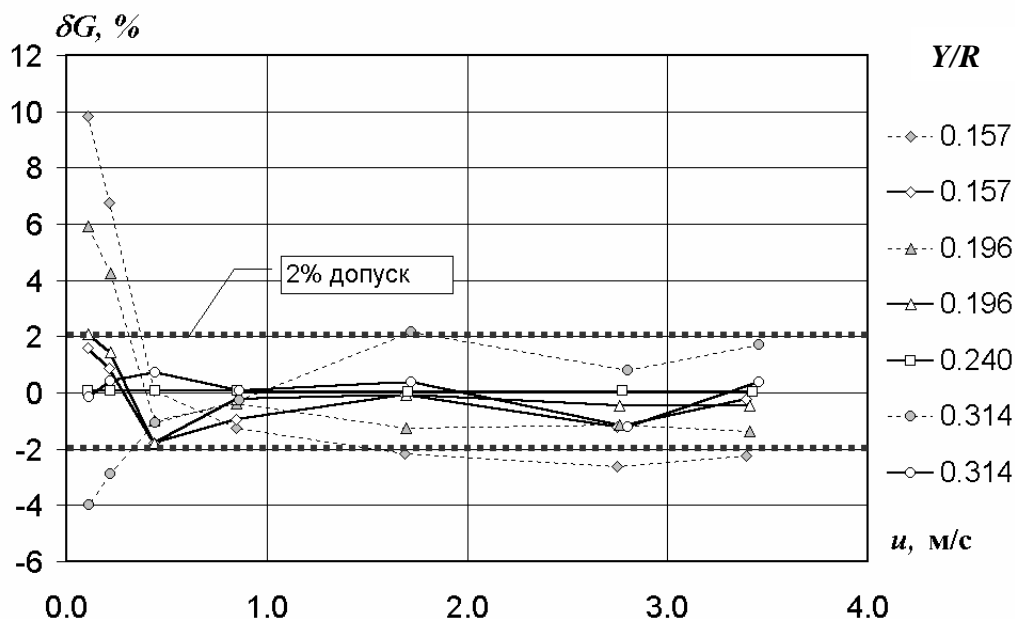


Рис. 4 Сравнение результатов расчета.

Сплошные линии – величина  $\delta G$ , полученная в результате обработки значений  $v$  по предложенной методике с учетом поправки  $\Delta\alpha_i$ . Пунктирные линии – относительная погрешность определения  $G$  по тем же значениям локальной скорости, обработанным «классическим» методом «площадь – скорость».

Как видно использование «классического» метода может приводить к недопустимо высоким значениям  $\delta G$  (до 10-12 %). Предложенная методика позволяет существенно уменьшить  $\delta G$ , до величины не превышающей  $\pm 2\%$  во всем диапазоне измерений.