

ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ГРАДИЕНТА СКОРОСТИ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ЗОНДОВЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ СКОРОСТИ ПОТОКОВ

Горбылев В. В., ст. гр. ПЭ-00

Руководитель: доц. Коренев В.Д.

Поскольку точность расходомеров определяется совокупностью различных погрешностей, неоднозначность показаний, обусловленная влиянием на них градиента скорости, во всяком случае, не должна превышать 0,1 – 0,2 величины погрешности, допустимой для приборов данного класса точности. Оценить эту величину можно, определив распределение индуцированного электрического поля (1, 2)

$$\bar{E} = -\nabla\varphi, \quad (1)$$

в измеряемом потоке жидкости, движущейся в магнитном поле измерительного преобразователя (рис. 1), поскольку, как показал проведенный анализ механизма формирования сигнала МГД измерителей, их показания целиком определяются именно его распределением в рабочей области измерительного преобразователя. Распределение электрического поля определяется как характеристиками МГД преобразователя (геометрическими параметрами его магнитного индуктора и местоположением измерительных электродов), так и структурой измеряемого потока (режимом течения - эпюрой скоростей) и в этой связи значения этих характеристик и параметров, а так же их возможные вариации в процессе измерений существенным образом определяют метрологические характеристики рассматриваемых МГД измерителей.

$$U = \varphi_{(E_1)} - \varphi_{(E_2)} = \int_{E_1}^{E_2} E_L dl = \int_{E_1}^{E_2} \left\{ \frac{j_L}{\sigma} - [V \cdot B]_L \right\} dl \quad (2)$$

где dl – элемент пути – элемент контура интегрирования L , соединяющего электроды E_1 и E_2 .

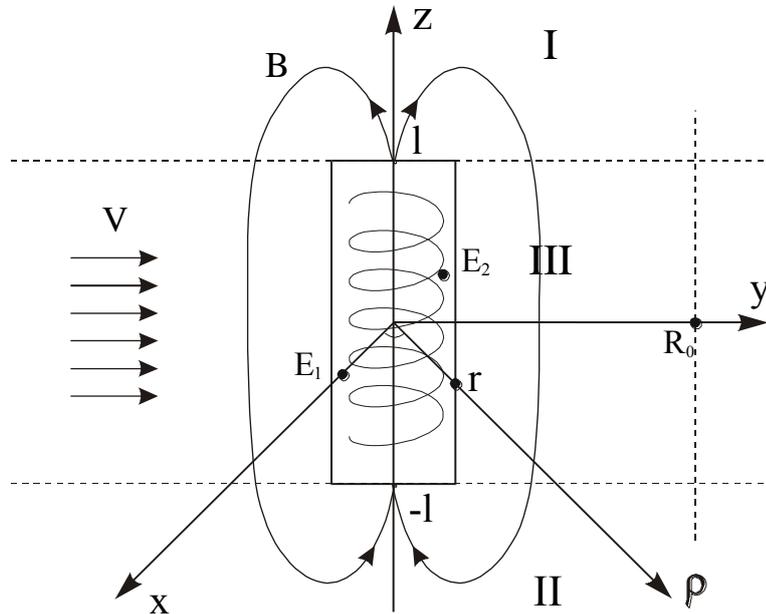


Рисунок 1- Катушка возбуждения магнитного поля преобразователя

Таким образом, искомое индуцированное электрическое поле – электрический потенциал (1) в движущейся среде описывается второй краевой задачей для уравнения Пуассона с однородным граничным условием (3, 4).

$$\Delta\varphi = \bar{B} \cdot \text{rot} \bar{V} . \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial\varphi}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0 , \quad (4)$$

где n – нормаль к границе Γ .

Решение этой задачи при произвольном распределении магнитной индукции и поля скоростей в движущейся жидкости представимо в виде [2]:

$$\varphi = \varphi(\xi, \eta, \zeta, l, r, R) = \iiint_{\Omega} G \cdot B \cdot \text{rot} V \, d\Omega = \iiint_{\Omega} G \left[B_x \frac{\partial V}{\partial y} - B_y \frac{\partial V}{\partial x} \right] d\Omega , \quad (5)$$

где $G = G(x, y, z, \xi, \eta, \zeta, l, r, R)$ - функция влияния или функция Грина задачи Неймана для уравнения Пуассона (3) в области Ω ,

Ω - внутренность цилиндрического трубопровода радиуса R с размещенным в нем цилиндрическим стержнем (преобразователем) радиуса r длиной $2l$ (рис.1);

ξ, η, ζ - соответствующая x, y, z декартова система текущих координат.

Определив из (5) распределение электрического потенциала в рассматриваемом потоке движущейся жидкости (рис.1.), можно определить разность потенциалов

$$U = \varphi_{(E_1)} - \varphi_{(E_2)} = \varphi_{(\xi_1, \eta_1, \zeta_1)} - \varphi_{(\xi_2, \eta_2, \zeta_2)},$$

снимаемую с электродов МГД преобразователя (рис.1), расположенных в точках $E_1(r, 0, 758R, 0)$ и $E_2(-r, 0, 758R, 0)$ средней скорости

$$\begin{aligned} U &= \iiint_{\Omega} G(x, y, z, \xi_1, \eta_1, \zeta_1, l, r, R) \left[B_x \frac{\partial V}{\partial y} - B_y \frac{\partial V}{\partial x} \right] d\Omega - \\ &- \iiint_{\Omega} G(x, y, z, \xi_2, \eta_2, \zeta_2, l, r, R) \left[B_x \frac{\partial V}{\partial y} - B_y \frac{\partial V}{\partial x} \right] d\Omega = \\ &= \iiint_{\Omega} \Phi(x, y, z, \xi_1, \xi_2, \eta_1, \eta_2, \zeta_1, \zeta_2, l, r, R) \left[B_x \frac{\partial V}{\partial y} - B_y \frac{\partial V}{\partial x} \right] d\Omega, \quad (6) \end{aligned}$$

где $\Phi = G_{(E_1)} - G_{(E_2)}$ – приращение функции Грина на электродах МГД преобразователя.

В выражении (6) для сигнала U разрабатываемого преобразователя расхода слагаемое $\partial V / \partial x$ в квадратных скобках определяет величину сигнала, а слагаемое $\partial V / \partial y$ – добавку в сигнал, связанную с градиентом скорости – изгибом эпюры скоростей в месте размещения преобразователя. Поэтому второе слагаемое и определяет степень зависимости показаний преобразователя от градиента скорости потока.

Для определения количественной зависимости показаний МГД преобразователя от градиента скорости измеряемого потока выражение (6) удобно представить в виде

$$U = - \iiint_{\Omega} \Phi \cdot B_y \frac{\partial V}{\partial x} [1 - \delta] d\Omega, \quad (7)$$

$$\delta(l, r) \equiv \delta = \frac{B_x}{B_y} \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial y} / \frac{\partial V}{\partial x} \right) \quad (8)$$

представляет собой относительную величину вклада в сигнал преобразователя в трубопроводах больших диаметров добавки, связанной с градиентом скорости измеряемого потока.

Следовательно, определение величины δ позволит определить степень зависимости показаний разрабатываемых измерителей от градиента скорости измеряемого потока, а её минимизация, т.е. выбор таких параметров катушки возбуждения r и l , при которых δ будет $\ll 1$, позволит свести эту зависимость к приемлемому минимуму.

Проведя несложные преобразования и вычисления, получим следующее выражение для искомого вклада:

$$\delta = \frac{B_x}{B_y} \cdot \frac{y}{x} \quad (9)$$

Для получения количественной оценки зависимости электромагнитных расходомеров от градиента скорости измеряемого потока (9) необходимо определить характер распределения магнитного поля такого измерителя, который в свою очередь определяется конструктивными параметрами магнитной системы. В связи с этим необходимо найти распределение магнитного поля, создаваемого рассматриваемым измерителем с цилиндрической магнитной системой на основе решения системы уравнений (10) при соответствующих граничных условиях.

$$\begin{aligned} \bar{B} &= -\nabla \varphi_m, \\ \Delta \varphi_m &= 0, \end{aligned} \quad (10)$$

где φ_m – магнитный потенциал.

Компоненты вектора магнитной индукции $B(B_x, B_y, B_z)$ могут быть найдены на основе определения магнитного потенциала φ_m , распределение которого описывается задачей Неймана для уравнения Лапласа для внешности цилиндра – цилиндрической магнитной системы МГД измерителя с локальным магнитным полем.

Для решения поставленной задачи, учтя аксиальную симметрию магнитной системы, рационально ввести в рассмотрение соответствующую декартовой (x, y, z) цилиндрическую систему координат (ρ, θ, z) , начало которой размещено в центре цилиндра, а ось OZ направлена по оси цилиндра (рис.1).

Для определения компонент вектора магнитной индукции в явном виде необходимо определить значение магнитной индукции на границе $z = \pm l$ (рис.1), т.е. функцию:

$$\left. \frac{\partial \varphi_m}{\partial z} \right|_{z=\pm l} = -B_0 f(\rho / R_0), \quad (11)$$

где R_0 – гипотетическая граница – некоторое значение ρ , при котором магнитное поле практически отсутствует.

В результате выполненного эксперимента определена обобщенная кривая распределения вертикального компонента B_z вектора магнитной индукции в плоскости полюсов катушек возбуждения магнитного поля МГД преобразователей с локальным магнитным полем, которая с достаточной для проводимых исследований степенью точности (порядка 5%) была аппроксимирована степенным полиномом, методом наименьших квадратов.

Выполненные экспериментальные исследования позволили окончательно сформулировать граничное условие (11) для магнитного потенциала φ_m ; определить гипотетическую границу $R_0 = 5r$, через которую можно заведомо считать, что магнитное поле не выходит, т.е. записать условие затухания магнитного поля с расстоянием от катушки возбуждения $\varphi_m(R_0, z) = 0$ и определить в явном виде распределение магнитного поля рассеяния МГД преобразователя.

На основании аналитического выражения для определения распределения вертикального компонента вектора магнитной индукции (B_z) на торцах магнитной системы при $z = l$, были рассчитаны расчетные значения $B_{z \text{ расч.}}$

Качество полученного решения для распределения магнитного поля рассеяния МГД преобразователей с локальным магнитным полем оценивалось по величине среднего квадратического отклонения

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_{z \text{ расч.}} / B_0 - B_{z \text{ эксп.}} / B_0)^2}{n-1}} \cdot 100\% , \quad (12)$$

полученных расчетных значений B_z при $z = l$, от соответствующих экспериментальных результатов.

Здесь n – количество точек, в которых производился эксперимент.

Очевидно, что влияние движущихся слоев жидкости на снимаемую с электродов МГД преобразователя разность потенциалов падает с расстоянием и вклад достаточно удаленных от него слоев пренебрежимо мал. Однако величина “достаточно удаленный”, несомненно, связанная с геометрическими параметрами магнитной системы измерительного преобразователя, требует количественной оценки.

На основании проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

- область пространственного осреднения – рабочая область измерителя – в основном сконцентрирована в зоне расположения электродов и ее протяженность не превышает трех радиусов магнитной системы измерительного преобразователя;
- погрешность определения магнитного поля рассеяния МГД преобразователей с локальной магнитной системой, полученного на основе решения краевой задачи не превышает 1%.

Перечень ссылок

- 1 ГОСТ 8.361-79. ГСИ. Расход жидкости и газа. Методика выполнения измерений по скорости в одной точке сечения трубы.
- 2 Положий Г.Н. Уравнения математической физики. – М.: "Высшая школа", 1964. – 438с.