

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ

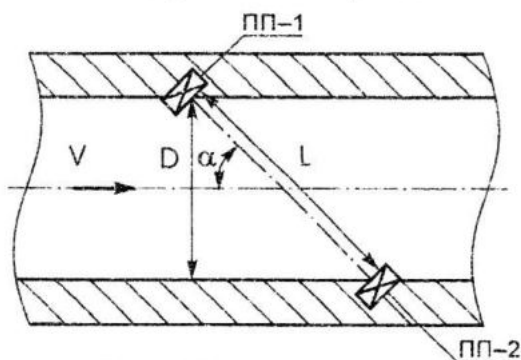
А.Н. Греков, Н.А. Греков

Морской гидрофизический институт
НАН Украины,
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoimhi@inbox.ru

В статье сделан анализ акустических дифференциальных фазовых, частотных и временных методов контроля скорости течения. Рассмотрен метод, позволяющий контролировать величину скорости распространения звука в измеряемом потоке и учитывать аппаратные задержки в электронно-акустическом тракте прибора, что позволяет повысить точность определения скорости течения.

Повышение точности акустических дифференциальных измерителей скорости течения природных вод, при их небольших габаритах, когда измерительная база составляет единицы сантиметров, ставит задачу определения величины скорости распространения звука в контролируемой жидкости и величин задержек, проявляющихся в электроакустическом тракте приемоизлучающих пьезопреобразователей и электронных схем.

В данной статье рассматривается одноканальная схема измерения, которая в отличие от многохордовой схемы, исключает погрешность от асимметрии. Схема расположения пьезопреобразователей показана на рис. 1, где они установлены под углом к потоку жидкости.



Р и с. 1. Схема расположения пьезопреобразователей

Известно [1], что дифференциальные методы основаны на разности времен

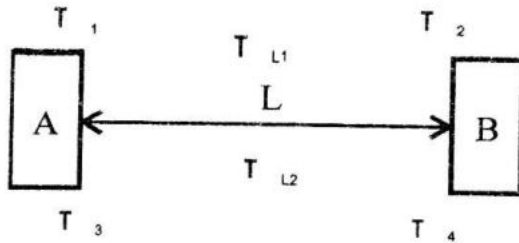
прохождения измерительной базы ультразвуковыми колебаниями, при этом время распространения ультразвуковых колебаний вдоль направления движения потока меньше, чем время против движения потока. В известных работах [2, 3] даются рекомендации, как учитывать скорость распространения звука в жидкости при дифференциальных методах измерения скорости потока. Так как величина скорости звука напрямую зависит от плотности среды, то для чистых вод её легко вычислить через температуру и давление, а для морских сред величину плотности можно определить по электропроводности, температуре и давлению.

В некоторых измерителях величину скорости звука определяют, используя дополнительный акустический канал для определения скорости звука, что значительно усложняет конструкцию прибора и увеличивает его стоимость. Однако нет четких рекомендаций, как полностью устранить задержки в электроакустическом тракте одноканального прибора. Несомненно, новые достижения в технологии изготовления пьезокерамики и электронных схемах частично решают эту проблему, но не полностью, что будет показано ниже.

Постановка задачи. Разработать новый метод контроля скорости течения жидкости, в котором учитываются аппаратные задержки, и определяется скорость звука.

Анализ методов измерения. Фазовый метод предусматривает измерение фазовых сдвигов двух ультразвуковых колебаний, возникающих от разности времен прохождения этими колебаниями одного и того же расстояния по потоку и против него. С целью упрощения выражений примем, что пьезопреобразователи расположены параллельно потоку. Рассмотрим эти пьезопреобразователи A и B (рис. 2), расположенные в жидкой среде.

Расстояние между пьезопреобразователями равно L , а скорость звука в среде c . Каждый из пьезопреобразователей имеет задержку сигнала при передаче τ_1 и τ_3 и при приеме — τ_2 и τ_4 .



Р и с. 2. Схема, поясняющая принцип работы дифференциального метода измерения скорости потока

Величину времени распространения сигнала по потоку и против него можно выразить как:

$$\tau_{L1} = \frac{L}{c+V}, \quad (1)$$

$$\tau_{L2} = \frac{L}{c-V}, \quad (2)$$

где V – скорость потока.

Время на прохождение сигнала между пьезопреобразователями при излучении преобразователем A и приеме преобразователем B запишем как

$$\tau_A = \tau_1 + \tau_{L1} + \tau_2. \quad (3)$$

И при излучении преобразователем B и приеме преобразователем A :

$$\tau_B = \tau_3 + \tau_{L2} + \tau_4. \quad (4)$$

При дифференциально-фазовом методе измерения скорости потока берется разность времен τ_A и τ_B :

$$\tau_A - \tau_B = \tau_1 + \tau_2 - \tau_3 - \tau_4 + \frac{L}{c+V} - \frac{L}{c-V}. \quad (5)$$

Величину суммы и разности задержек $\tau_1 + \tau_2 - \tau_3 - \tau_4$ обозначим как τ_{3l} . Окончательно величину скорости потока можно определить из уравнения 5:

$$V = \frac{(\tau_A - \tau_B - \tau_{3l})c^2}{2L}. \quad (6)$$

Фазы сигналов: $\varphi_1 = 2\pi f\tau_A$ и $\varphi_2 = 2\pi f\tau_B$, и уравнение 6 примет вид:

$$V = \frac{(\frac{2\pi f}{\varphi_1} - \frac{2\pi f}{\varphi_2} - \tau_{3l})c^2}{2L}, \quad (7)$$

где f – частота акустического сигнала.

Как видно из уравнения (7) для определения скорости потока необходимо знать величину скорости звука в жидко-

сти c и величину задержки τ_{3l} , которую можно учесть, если использовать градуировку измерителя на поверочных стендах. Величина τ_{3l} зависит от температуры и поэтому необходимо проводить градуировку измерителя скорости потока при различных значениях температуры, что практически не выполнимо. Нельзя изготовить идентичные по задержкам пьезопреобразователи A и B .

В дифференциально-частотном методе каждый пришедший к приемнику импульс (или пачка импульсов) возбуждает генерацию нового импульса. Изменяя частоту повторения импульсов по потоку $f_1 = 1/\tau_1$ и против него $f_2 = 1/\tau_2$, вычисляют расход:

$$f_2 - f_1 = \frac{2V}{L} \left(1 - \frac{2\tau c}{L}\right), \quad (8)$$

где L – расстояние между излучателем и приемником; c – скорость звука; l – временная задержка.

Проблема определения скорости звука остается, а ошибка от задержек накапливается в каждом цикле измерения. Кроме этого, малость величины $f_2 - f_1$ у частотных расходомеров является существенным недостатком, затрудняющим точное измерение расхода жидкости.

Анализ и совершенствование дифференциально-временного метода. Рассмотрим процесс прохождения сигналов для дифференциального временного метода, а также задержки и способ их компенсации. Аналогично, как и для фазового метода, время прохождения акустического сигнала от преобразователя A к преобразователю B :

$$\tau_A = \tau_1 + \tau_{L1} + \tau_2. \quad (9)$$

От преобразователя B к преобразователю A :

$$\tau_B = \tau_3 + \tau_{L2} + \tau_4, \quad (10)$$

где $\tau_{L1} = \frac{L}{c+V}$ и $\tau_{L2} = \frac{L}{c-V}$.

Дополнительно при излучении преобразователем A принимаем этим же преобразователем отраженный от преобразователя B сигнал:

$$\tau_{A0} = \tau_1 + \tau_{L1} + \tau_{L2} + \tau_4. \quad (11)$$

При излучении преобразователем B и приеме им отраженного сигнала:

$$\tau_{B0} = \tau_3 + \tau_{L2} + \tau_{L1} + \tau_2, \quad (12)$$

Сумму времен сигналов τ_A и τ_B (при $V^2 \ll c^2$) можно записать как:

$$\tau_A + \tau_B = \frac{2L}{c} + \tau_{32}, \quad (13)$$

а сумму времен сигналов τ_{A0} и τ_{B0} :

$$\tau_{A0} + \tau_{B0} = \frac{4L}{c} + \tau_{32}, \quad (14)$$

где $\tau_{32} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4$.

Из разностного сигнала между $\tau_A + \tau_B$ и $\tau_{A0} + \tau_{B0}$ определим величину скорости распространения ультразвука на базе L :

$$c = \frac{2L}{\tau_A + \tau_B - \tau_{A0} - \tau_{B0}}, \quad (15)$$

Измерение величины скорости потока V можно организовать циклически с временным разделением. В первом и втором цикле измерения, которые длятся миллисекунды по измеренным параметрам τ_{A1} , τ_{B1} , τ_{A2} , τ_{B2} определяются скорости V_1 и V_2 из уравнений:

$$\tau_{A1} = \tau_m + \frac{L}{c+V_1}, \quad (16)$$

$$\tau_{B1} = \tau_n + \frac{L}{c-V_1}, \quad (17)$$

$$\tau_{A2} = \tau_m + \frac{L}{c+V_2}, \quad (18)$$

$$\tau_{B2} = \tau_n + \frac{L}{c-V_2}, \quad (19)$$

где $\tau_m = \tau_1 + \tau_2$; $\tau_n = \tau_3 + \tau_4$.

С учетом того, что задержки τ_m и τ_n в основном изменяются от температуры и на практике определено, что их постоянная времени лежит в пределах нескольких минут, можно считать, что за два цикла измерения $\tau_m = const$ и $\tau_n = const$. Также принимаем, что в пределах двух циклов измерения скорость звука в жидкости не изменилась.

Следовательно, используя уравнения (16)–(19) и вычисленное значение скорости звука в жидкости по уравнению:

$$c = \frac{c_1 + c_2}{2}, \quad (20)$$

где c_1 , c_2 – скорость звука, вычисленная по формуле (15) для первого и второго циклов соответственно. Определяем величины V_1 и V_2 в пределах двух циклов измерения. Средняя величина скорости течения в этих пределах определяется, как:

$$\bar{V} = \frac{V_1 + V_2}{2}, \quad (21)$$

Заключение. Предложено усовершенствование дифференциально-временного метода, состоящее в том что: во-первых, нет необходимости устанавливать дополнительный канал для измерения скорости звука в жидкости, так как она вычисляется по измеренным временным сигналам (формула (15)). Во-вторых, применяя предложенную методику измерения для дифференциально-временного метода, мы полностью исключаем задержки, что повышает точность измерения. Расчетная точность созданного измерителя скорости течения ИСТ-1 [4] при учете скорости распространения звука и аппаратных задержек может быть улучшена на порядок. К сожалению, в Украине нет аттестованных образцовых средств измерения течения, где можно было бы экспериментально подтвердить полученные результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кремлевский П.П.* Расходомеры и счетчики количества веществ: Кн.1 / Под общ. ред. и при участии Е.А. Шорникова. – 5-е изд., перераб. и доп. – Спб.: Политехника, 2002. – 409 с.
2. *Мясников В.И.* Ультразвуковые методы измерения расхода жидкости // Мир измерений. – 2004. – № 1. – С. 9 – 12.
3. *Ильинский В.М.* Бесконтактное измерение расходов. – М.: Энергия, 1970. – 111 с.
4. *Греков Н.А. Греков А.Н.* Измерители скорости течений для морских и речных условий ИСТ-1 и ИСТ-1М // Морской гидрофизический журнал. – 2010. – № 2. – С. 77 – 84.