

К.А. Пресняков, Г.О. Аскалиева
Институт автоматизации и информационных технологий
Национальной академии наук Кыргызской Республики, г.Бишкек.
87guzya@mail.ru

О МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРНОГО КИНЕМАТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА НА ОСНОВЕ НОВОЙ ИНФОРМАТИВНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Разработан метод определения поверхностной скорости воды на основе нового информативного параметра, учитывающего влияние пульсации скорости (или уровня) воды на колебания поплавкового датчика, позволяющий упростить измерения и повысить их надежность.

Ключевые слова: поплавковый датчик – инклинометр, угол отклонения, поверхностная скорость воды.

Постановка задачи исследований. В литературе существует большое количество разнообразных методов измерения кинематических характеристик потоков воды (см., например [1, 2]). Среди них можно, в частности, выделить контактные и бесконтактные методы измерений. Бесконтактные методы характерны тем, что на поток воды воздействуют какими-либо видами физических излучений (лазерное, радиоактивное), или химического, механического вторжения в поток воды и т.д. При этом целостность потока не нарушается или если нарушается, то незначительным образом (радиоактивные метки, химические реагенты или механические включения), когда содержание подобных индикаторов в потоке воды достаточно мало. Контактные методы основаны на непосредственном контакте измерительных датчиков с потоком воды.

Известен метод определения средней (по сечению потока) скорости воды [3], заключающийся в том, что измерительный датчик размещают в точке потока воды с относительной вертикальной координатой 0,4 от дна водотока, измеряют упомянутым датчиком скорость воды, которую отождествляют со средней (по сечению потока) скоростью воды.

Недостаток известного метода – в зависимости координаты точки наблюдения средней (по сечению потока) скорости воды от коэффициента Шези [4].

Наиболее близким к предлагаемому является корреляционный способ измерения поверхностной скорости воды в открытом водотоке [2], включающий выделение на поверхности воды двух контрольных участков, отстоящих друг от друга по направлению движения потока воды на фиксированном расстоянии; измерение флуктуации случайно изменяющихся параметров потока одного и того же рода на каждом из контрольных участков посредством соответствующих измерительных преобразователей; определение абсциссы максимальной ординаты взаимной корреляционной функции двух электрических сигналов от соответствующих

измерительных преобразователей, – в котором в качестве информативных параметров движения воды используют пульсации скорости на фиксированных контрольных участках поверхности потока воды; измерение флуктуации скорости на фиксированных контрольных участках осуществляют поплавковыми акселерометрами; поплавковыми акселерометрами на каждом из фиксированных контрольных участков одновременно регистрируют соответствующие флуктуации трех компонент скорости по трем координатным направлениям; определяют дифференциальные тензоры скоростей для каждого контрольного участка, компонентами которых служат соответствующие девять скалярных производных от трех компонент скоростей по трем координатным направлениям; информационные электрические сигналы преобразуют в цифровой телеметрический радиосигнал в соответствии с протоколом технологии беспроводных сенсорных сетей ZigBee и посредством трансиверов поплавковых акселерометров передают по соответствующим радиоканалам в информационно-вычислительную систему для последующей дистанционной обработки.

Недостаток известного метода – излишне большой объем измеряемой и обрабатываемой информации, что затрудняет применение указанного метода.

При разработке упомянутых методов измерений формируют определенное число информативных параметров, отображающих взаимодействие измерительных датчиков с потоком воды, в результате которого получают искомую кинематическую характеристику.

При этом необходимо выделение ведущего информативного параметра, отображающего результат указанного взаимодействия.

В описанных выше примерах наблюдаем совокупность двух параметров (координата наблюдения средней скорости воды; коэффициент Шези) или девяти скалярных составляющих тензора турбулентности (без ярко выраженного ведущего информативного параметра).

При необходимости упрощения упомянутых методов явно напрашивается стремление или к сокращению упомянутой совокупности, или к выделению ведущего информативного параметра.

Задача исследования: разработать метод определения характерного кинематического параметра на основе новой информативной характеристики с целью упрощения и повышения надежности указанного метода.

Решение поставленной задачи. Под характерным кинематическим параметром потока воды будем подразумевать поверхностную скорость воды.

В качестве нового информативного параметра, как будет указано ниже, назначим угол отклонения поплавкового датчика от вертикали в вертикальной плоскости динамической оси потока.

В гидравлике [5] известна формула расхода воды

$$Q = u \cdot H \cdot B, \quad (1)$$

где Q ($\text{м}^3/\text{с}$), u ($\text{м}/\text{с}$), H (м) – средние значения расхода и скорости воды, глубины наполнения водотока соответственно; B (м) – ширина водотока.

Очевидно, что

$$Q = Q_i - Q'$$

$$\begin{aligned} u &= u_i - u' \\ H &= H_i - H', \end{aligned} \quad (2)$$

где Q_i , u_i , H_i – текущие значения указанных величин; Q' , u' , H' – пульсации этих величин.

Подставим выражения (2) в формулу (1)

$$Q_i - Q' = (u_i - u') \cdot (H_i - H') \cdot B. \quad (3)$$

Вынесем из круглых скобок Q_i , u_i , H_i , получим

$$Q_i \left(1 - \frac{Q'}{Q_i} \right) = u_i \left\{ 1 - \frac{u'}{u_i} \right\} \cdot H_i \left\{ 1 - \frac{H'}{H_i} \right\} \cdot B. \quad (4)$$

Очевидно, что

$$Q_i = u_i \cdot H_i \cdot B. \quad (5)$$

С учетом формулы (5) выражение (4) примет вид

$$1 - \frac{Q'}{Q_i} = \left\{ 1 - \frac{u'}{u_i} \right\} \cdot \left\{ 1 - \frac{H'}{H_i} \right\}. \quad (6)$$

Из формулы (6) выразим $\frac{H'}{H_i}$:

$$\begin{aligned} \frac{H'}{H_i} &= 1 - \frac{1 - \frac{Q'}{Q_i}}{1 - \frac{u'}{u_i}}, \\ \frac{H'}{H_i} &= \frac{1 - \frac{u'}{u_i} - \left(1 - \frac{Q'}{Q_i} \right)}{1 - \frac{u'}{u_i}}, \\ \frac{H'}{H_i} &= \frac{\frac{Q'}{Q_i} - \frac{u'}{u_i}}{1 - \frac{u'}{u_i}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Разложим выражение $\frac{1}{1 - \frac{u'}{u_i}}$ с точностью до моментов второго порядка

$$\frac{1}{1 - \frac{u'}{u_i}} \approx 1 + \frac{u'}{u_i} + \left(\frac{u'}{u_i} \right)^2. \quad (8)$$

Подставим (8) в (7)

$$\begin{aligned} \frac{H'}{H_i} &= \left(\frac{Q'}{Q_i} - \frac{u'}{u_i} \right) \cdot \left(1 + \frac{u'}{u_i} + \left(\frac{u'}{u_i} \right)^2 \right), \\ \frac{H'}{H_i} &= \frac{Q'}{Q_i} + \frac{Q'}{Q_i} \cdot \frac{u'}{u_i} + \frac{Q'}{Q_i} \cdot \left(\frac{u'}{u_i} \right)^2 - \frac{u'}{u_i} - \left(\frac{u'}{u_i} \right)^2 - \left(\frac{u'}{u_i} \right)^3. \end{aligned}$$

Ограничимся членами порядка второго момента

$$\frac{H'}{H_i} = \frac{Q'}{Q_i} + \frac{Q'}{Q_i} \cdot \frac{u'}{u_i} - \frac{u'}{u_i} - \left(\frac{u'}{u_i} \right)^2.$$

Окончательно искомое выражение запишется в виде

$$\frac{H'}{H_i} = \frac{Q'}{Q_i} + \frac{u'}{u_i} \cdot \left(\frac{Q'}{Q_i} - 1 - \frac{u'}{u_i} \right). \quad (9)$$

Так как глубина наполнения водотока и средняя скорость воды входят в формулу (1) равноправным образом, то выражение для относительных пульсаций скорости воды запишется в виде, аналогичном формуле (9)

$$\frac{u'}{u_i} = \frac{Q'}{Q_i} + \frac{H'}{H_i} \cdot \left(\frac{Q'}{Q_i} - 1 - \frac{H'}{H_i} \right). \quad (10)$$

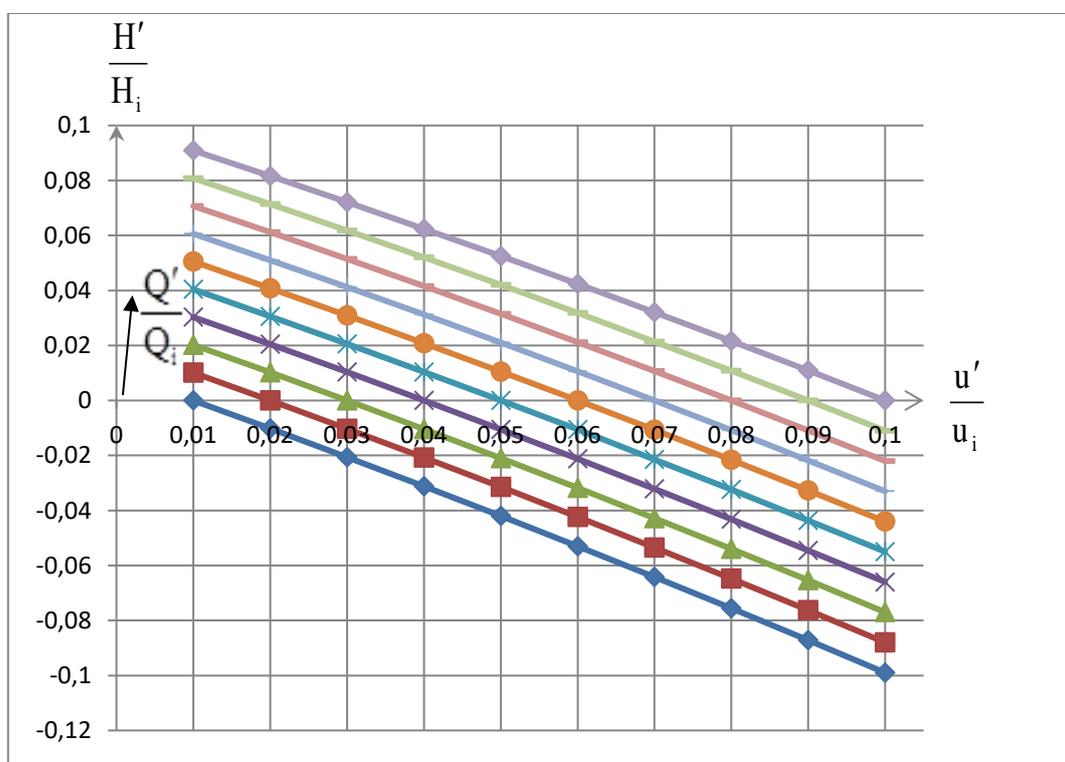


Рисунок 1. Связь между $\frac{H'}{H_i}$ и $\frac{u'}{u_i}$, $\frac{Q'}{Q_i}$

Следовательно, в качестве нового информативного параметра в упомянутом методе можно назначить угол отклонения α (поплавкового датчика) от вертикали в вертикальной плоскости динамической оси потока, причем

$$\frac{\alpha'}{\alpha_i} \sim \frac{u'}{u_i} \left(\text{или } \frac{\alpha'}{\alpha_i} \sim \frac{H'}{H_i} \right).$$

Техническая реализация метода. Техническую реализацию метода определения поверхностной скорости воды иллюстрируют чертежом (см. рисунок 2).

На берегу 3 водотока установлена неподвижная опора 7, к которой упруго 4 подвешен базирующий стержень 5, на свободном конце которого размещен в

приповерхностном слое 2 потока 1 воды поплавковый датчик – инклинометр 6, в который встроен трансивер (не указан) для передачи измеряемой информации в информационно-вычислительную систему ИИС8, расположенную на водомерном посту (не указан).

Метод определения поверхностной скорости воды осуществляют следующим образом.

Поток 1 воды вместе с его приповерхностным слоем 2 направляют на поплавковый датчик – инклинометр 6, который благодаря упругому подвесу 4 (к неподвижной опоре 7 на берегу 3 водотока) базирующего стержня 5 находится в полупогруженном состоянии (в приповерхностном слое 2 потока 1 воды) и благодаря воздействию на поплавковый датчик – инклинометр 6 пульсаций скорости (или уровня) воды в приповерхностном слое 2 потока 1 воды – поплавковый датчик – инклинометр 6 совершает колебания около своей горизонтальной оси в вертикальной плоскости динамической оси потока 1.

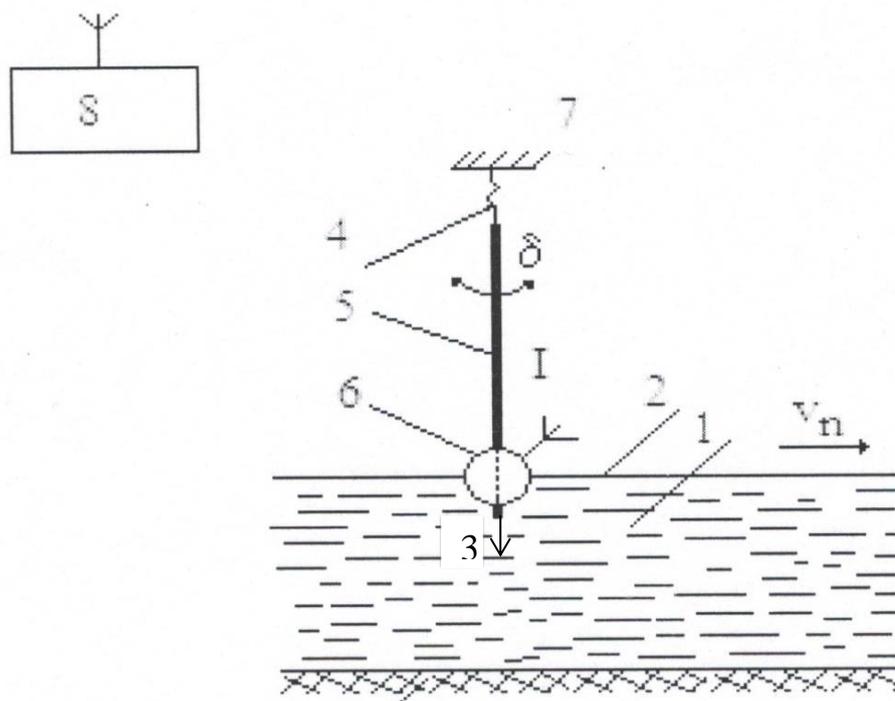


Рисунок 2. Схема технической реализации метода определения поверхностной скорости воды: 1 – поток воды; 2 – поверхность потока воды; 3 – берег водотока; 4 – упругий подвес; 5 – базирующий стержень; 6 – поплавковый инклинометр со встроенным трансивером; 7 – неподвижная опора; 8 – информационно-вычислительная система (ИИС), расположенная на водомерных постах; δ – угловые колебания поплавкового инклинометра в вертикальной плоскости по направлению потока воды

Обработка результатов измерений. На изученном открытом водотоке проводят в пределах промежутка времени Δt измерения поплавковым датчиком – инклинометром 6:

➤ пульсаций угла отклонения поплавкового датчика – инклинометра 6 от вертикали в вертикальной плоскости динамической оси потока 1 и получают следующий ряд их значений

$$\alpha'_1, \dots, \alpha'_i, \dots, \alpha'_n, \text{ где } n - \text{ число измерений;} \quad (11)$$

➤ пульсаций скорости воды в течение того же промежутка времени и получают следующий ряд их значений

$$u'_1, \dots, u'_i, \dots, u'_n. \quad (12)$$

Результаты измерений (11), (12) посредством трансивера поплавкового датчика – инклинометра 6 передают в ИИС 8, где их обрабатывают и определяют среднеквадратичные значения пульсаций угла отклонения $\sqrt{\alpha'_{\text{ИВ}}'^2}$ и скорости воды $\sqrt{u'_{\text{ИВ}}'^2}$, а также тарировочный коэффициент по формуле

$$k_T = \left\{ \frac{\sqrt{\alpha'_{\text{ИВ}}'^2 / \alpha_M}}{\sqrt{u'_{\text{ИВ}}'^2 / u_M}} \right\}_{\text{ИВ}}, \quad (13)$$

где индекс «ИВ» означает принадлежность результатов измерений к изученному открытому водотоку.

Затем на исследуемом объекте в гидравлических условиях, подобных гидравлическим условиям изученного открытого водотока, проводят поплавковым датчиком – инклинометром 6 измерения типа (11), (12) и используя значения тарировочного коэффициента k_T (13), поверхностную скорость воды вычисляют по формуле

$$u_M = k_T \cdot \frac{\sqrt{u'_{\text{ИВ}}'^2}}{\sqrt{\alpha'_{\text{ИВ}}'^2 / \alpha_M}}, \quad (14)$$

где u_M – поверхностная скорость воды, м/с; $\sqrt{u'_{\text{ИВ}}'^2}$ – среднеквадратичная пульсация скорости воды, м/с; $\sqrt{\alpha'_{\text{ИВ}}'^2 / \alpha_M}$ – относительное среднеквадратичное значение пульсации угла отклонения; k_T – тарировочный коэффициент определяют на основе гидрометрических измерений в изученном открытом водотоке при подобных (предлагаемым) гидравлических условиях, определяют в ИИС 8 поверхностную скорость воды.

Оценим значение тарировочного коэффициента k_T для водотока с единичными гидравлическими условиями: $Q = 1 \text{ м}^3/\text{с}$, $\bar{u} = 1 \text{ м/с}$, $H = 1 \text{ м}$, $V = 1 \text{ м}$, $i = 0,01$ (граничное значение уклона дна водотоков между реками равнинной и горно-предгорной зон). Для этого проведем следующие вычисления:

➤ коэффициента Шези

$$C = \frac{\bar{u}}{\sqrt{H \cdot i}} = \frac{1}{\sqrt{1 \cdot 0,01}} = 10 \text{ м}^{1/2}/\text{с}; \quad (15)$$

➤ параметра показательного профиля скорости воды

$$m = 1,5 + \frac{0,314 \cdot C}{\sqrt{g}} = 1,5 + \frac{0,314 \cdot 10}{\sqrt{9,81}} = 2; \quad (16)$$

- значения максимальной скорости воды

$$u_m = \frac{\bar{u}}{\tilde{y}^{1/m}} = \frac{1}{0,4^{0,5}} = 1,59 \text{ м/с}; \quad (17)$$

- значения динамической скорости воды

$$u_* = \sqrt{g \cdot H \cdot i} = \sqrt{9,81 \cdot 1 \cdot 0,01} = 0,31 \text{ м/с}; \quad (18)$$

- среднего (по сечению потока) значения среднеквадратичной пульсации продольной скорости воды [6, с. 91, т.2]

$$\sqrt{u'^2} = 1,20 \cdot u_* = 1,20 \cdot 0,31 = 0,37 \text{ м/с}. \quad (19)$$

Оценим относительное среднеквадратичное значение пульсаций угла отклонения поплавкового датчика – инклинометра б, полагая, что максимальной угол отклонения α_m составляет $\pi/2$ рад, а среднее значение его пульсаций – $\pi/4$ рад.

Тогда тарировочный коэффициент будет равен

$$k_T = \left\{ \frac{0,5}{0,37/1,59} \right\} = \frac{0,50}{0,23} = 2,17. \quad (20)$$

Для условий других изученных открытых водотоков значения коэффициента k_T могут отличаться от (20).

Указанное выше исполнение метода определения поверхностной скорости воды позволяет по сравнению с прототипом: во-первых, использовать новый информативный параметр – угол отклонения поплавкового датчика (от вертикали) в вертикальной плоскости динамической оси потока; во-вторых, уменьшить количество измерительных точек с двух до одной; в-третьих, существенно сократить объем измеряемой и обрабатываемой информации, что позволяет повысить надежность предлагаемого метода.

Эффективность метода определения поверхностной скорости воды заключается в существенном упрощении и повышении его надежности.

Литература

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ / Кремлевский П.П. // Кн.2. – СПб.: Политехника, 2004. – 412 с.
2. Брякин И.В., Пресняков К.А., Керимкулова Г.К. Корреляционный способ измерения поверхностной скорости воды в открытом водотоке / Патент КР №1964. – Бишкек: Кыргызпатент.– Бюллетень патентов и товарных знаков КР.–№ 6.– 30.06.2017. – 20 с.
3. Пресняков К.А. О координатах характерных точек во взвешенном потоке воды // Проблемы автоматизации и управления.– 2003. –№1.– С. 92–97.
4. Железняков Г.В. Теория гидрометрии. Л.:Гидрометеиздат, 1976., 2-е изд., 334 с.
5. Чугаев Р.Р. Гидравлика. –Л.: Энергия (Лен.отделение), 1976.
6. Пресняков К.А. Ведущее условие применимости модели двухфазного дисперсоида к взвешенному потоку воды // Проблемы автоматизации и управления. – 2002. – № 1 – С. 84–89.