

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ СКОРОСТИ ВОДЫ

Пресняков Константин Александрович, д.т.н., с.н.с., Институт автоматики и информационных технологий НАН КР, 720071, г. Бишкек, пр. Чуй 265

Керимкулова Гүлсаат Кубатбековна, к.ф.-м.н., Институт автоматики и информационных технологий НАН КР, 720071, г. Бишкек, пр. Чуй 265, e-mail: gulsaat@mail.ru

Аннотация. Предложено устройства для измерения поверхностной скорости воды, основанное на измерениях угла отклонения направляющей кулисы с поплавковым датчиком от вертикали в направлении динамической оси потока воды. Рассмотрена физическая схема сил, действующих на поплавковый датчик с направляющей кулисой в приповерхностном слое потока воды. Учтено, что подвижный поплавковый датчик участвует в сложном движении, состоящем из: 1 – отклонений поплавкового датчика вместе с направляющей кулисой от вертикали в направлении динамической оси потока, 2 – в перемещениях подвижного поплавкового датчика вдоль направляющей кулисы согласно изменениям наполнения водотока водой. С учетом указанных обстоятельств выведена формула для вычисления поверхностной скорости воды на основе результатов измерений угла отклонения поплавкового датчика с направляющей кулисой от вертикали в направлении динамической оси потока. Формула физически обоснована. Устройство для измерения поверхностной скорости воды достаточно просто в конструктивном исполнении и надежно.

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

DEVICE FOR MEASURING SURFACE WATER SPEED

Presnyakov Konstantin Aleksandrovich, Doctor of Engineering Science, Senior Research Scientist, Institute of Automation and Information Technologies of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, 720071, Bishkek, Chui Avenue 265

Kerimkulova Gulsaat Kubatbekovna, Ph.D., Institute of Automation and Information Technologies of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, 720071, Bishkek, Chui Ave. 265, e-mail: gulsaat@mail.ru

Abstract. A device for measuring the surface water velocity is proposed, based on measurements of the angle of deflection of the guide channel with the float sensor from the vertical in the direction of the dynamic axis of the water flow. The physical scheme of the forces acting on the float sensor with the guide channel in the near-surface layer of the water flow is considered. It is considered that the mobile float sensor participates in a complex movement consisting of: 1 - the deviations of the float sensor along with the guide link from the vertical in the direction of the dynamic axis of the flow, 2 - in the movements of the mobile float sensor along the guide linkage according to the changes in the filling of the watercourse with water. Taking into account the above circumstances, a formula is derived for calculating the surface water velocity on the basis of the results of measuring the deflection angle of the float sensor with the guide channel from the vertical in the direction of the dynamic axis of the flow. The formula is physically justified. The device for measuring the surface water velocity is simple enough in the design and reliable.

Keywords: deflection angle, float sensor, surface water velocity.

Постановка задачи исследований. Существуют немало известных устройств для измерения уровня, расхода и скорости потока жидкости [1,3,5].

Известен водомерный пост [1], включающий подводный канал с вертикальной стенкой, соединенный с входом колодца с боковой стенкой, первый выход которого сообщен с отводным каналом, регулятор потока и измерительное устройство, – в котором введены конусное днище с отверстием и кольцевой лоток с входом и выходом, измерительное устройство выполнено в виде шарового поплавка, установленного с возможностью перемещения по тросу и снабженного указателем, сопряженным с системой индикации в виде шкалы, состоящей из разноцветных светящихся отсчетных и разделительной полос, регулятор выполнен автоматическим, а боковые стенки колодца выполнены в плане по форме спирали, при этом регулятор, измерительное устройство и колодец установлены последовательно, конусное днище с отверстием прикреплено снизу к боковым стенкам колодца, вход кольцевого лотка сопряжен с верхней частью боковых стенок колодца, а выход – с вторым входом отводного канала, первый конец троса прикреплен к днищу подводного канала, а второй конец – к вертикальной стенке, на которой нанесена шкала, причем отверстие в конусном днище является первым входом отводного канала.

Недостатки известного устройства заключаются в визуальном способе наблюдения за местоположением поплавка на тросе и установления факта совпадения указанного местоположения с соответствующими отметками изменения расхода (скорости) воды, что носит субъективный характер и завышает погрешности измерений.

Наиболее близким к предлагаемому является расходомер жидких сред в открытых водоемах [5], содержащий блок измерения уровня жидкости и блок измерения средней скорости потока жидкости, а также электронный блок приема и обработки сигналов, – в котором блок измерения уровня жидкости выполнен в виде поворотного рычага с поплавком сферической формы, погруженной в жидкость на глубину меньше величины радиуса сферы, причем чувствительный элемент измерения угла вертикального перемещения поплавка изготовлен на основе микросхемы типа серии ADXL и закреплен на рычаге, при этом блок

измерения скорости потока жидкости выполнен в форме поворотной лопасти, конец которой сопряжен с осью вертикального поворота, а другой конец свободно погружен в жидкость, в свою очередь, чувствительный элемент измерения угла поворота лопасти выполнен на основе второй аналогичной микросхемы типа серии ADXL и закреплен на лопасти.

Недостатки известного устройства заключаются в технически и технологически усложненным конструктивным исполнением его: устройство предполагает использование блока измерения уровня жидкости и блока измерения скорости ее, причем в первом из них предложено применение поворотного рычага с закрепленным на нем поплавком, во втором – поворотной лопасти, но при этом и в том и в другом случаях речь фактически идет об измерениях угла отклонения поворотного рычага с закрепленным на нем поплавком и угла отклонения поворотной лопасти. Кроме того, термин «вертикальное перемещение поплавка» считаем неудачным, так как во первых, автономного вертикального перемещения поплавок не существует, так как поплавок закреплен на поворотном рычаге, во вторых речь должна идти не о вертикальном перемещении, а об угле отклонения поворотного рычага с закрепленным на нем поплавком. Все перечисленное свидетельствует о необходимости усовершенствования известного устройства.

Задача исследования – усовершенствовать устройство для измерения поверхностной скорости воды.

Поставленная задача решается таким образом, что в устройстве для измерения поверхностной скорости воды содержащем в частности блок измерения скорости воды и блок приема и обработки сигналов, – в котором блок измерения скорости воды выполнен в виде поворотного рычага с подвижным, согласно изменениям наполнения водотока водой, вдоль поворотного рычага поплавкового датчика, а поверхностную скорость воды вычисляют по формуле:

$$u_m = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot u_* \cdot \frac{H}{R_{\Pi}} \cdot \sqrt{tg\alpha},$$

где u_m – поверхностная скорость воды, м/с; u_* – динамическая скорость потока воды, м/с; $\frac{H}{R_{\Pi}}$ – отношение глубины наполнения водотока к радиусу поплавкового датчика; $tg\alpha$ – тангенс угла отклонения поворотного рычага с поплавком от вертикали в направлении динамической оси потока.

Подобное исполнение устройства позволяет, по сравнению с прототипом, усовершенствовать устройство для измерения поверхностной скорости воды путем изъятия из него лишних блоков измерения, установлением одного измерительного параметра и с учетом использования свойства подвижности поплавка вдоль поворотного рычага согласно изменениям наполнения водотока водой.

Сравнительный анализ прототипа и предлагаемого устройства позволяет, по нашему мнению, установить соответствие предлагаемого устройства критериям «техническая новизна» и «существенные отличия».

Обоснование работоспособности устройства производят следующим образом.

Рассмотрим схему сил, воздействующих на поплавковый датчик с рычагом при условии обеспечения полупогруженного в приповерхностный слой потока воды датчика. В вертикальном направлении на него действуют две силы: сила тяжести, направленная вертикально вниз, и подъемная (Архимедова) сила, ориентированная вертикально вверх. Условие полупогруженного состояния поплавкового датчика с рычагом выполняется при равенстве двух указанных сил, т.е. они компенсируют друг друга.

В продольном направлении на поплавковый датчик с рычагом действует динамический напор набегающего потока воды.

Из гидродинамики [2] известно, что полный напор потока воды складывается из статического напора (собственно давление p в покоящейся жидкости) и динамического напора $\rho \cdot U$, где ρ – плотность воды кг/м³; U – удвоенная удельная кинетическая энергия

$(U=u^2)$, $\text{м}^2/\text{с}^2$; p – статическое давление воды (давление в покоящейся жидкости), Па.

Следовательно, на поплавковый датчик с рычагом в приповерхностном слое воды действует сила давления, обусловленная динамическим напором набегающей воды, т.е. $\rho \cdot U \cdot \Delta S$, где ΔS – площадь боковой поверхности поплавкового датчика, находящейся в непосредственном контакте с набегающим потоком воды, м^2 .

Под действием набегающего потока воды поплавковый датчик с рычагом отклонится от вертикали в направлении потока воды на некоторый угол α , рад.

Можно заключить, что выражение для тангенса угла отклонения поплавка с рычагом от вертикали в направлении динамической оси потока приближенно запишется в виде

$$\text{tg}\alpha \sim \rho \cdot u^2 \cdot \Delta S \quad (1)$$

Так как набегающий поток воды непосредственно воздействует на половину боковой поверхности (т.е. на часть боковой поверхности, направленную навстречу набегающему потоку воды) поплавкового датчика и с учетом полупогруженного состояния датчика указанную площадь контакта боковой поверхности установим, уменьшив исходную площадь в четыре раза.

Поэтому, в случае шарового поплавкового датчика

$$\Delta S = \frac{4\pi R_{\text{п}}^2}{4} = \pi R_{\text{п}}^2, \quad (2)$$

где $R_{\text{п}}$ – радиус шарового поплавкового датчика, м.

Тогда сила давления, обусловленная динамическим напором набегающего потока воды, будет равна

$$F(P_{\text{д}}) = \rho \cdot u^2 \cdot \pi R_{\text{п}}^2, \quad (3)$$

где $P_{\text{д}}$ – динамический напор набегающего потока воды (динамическое давление).

Теперь с учетом приведенных обстоятельств приближенное равенство (1) примет вид

$$\text{tg}\alpha \sim \rho \cdot u^2 \cdot \pi R_{\text{п}}^2. \quad (4)$$

Проверим размерности величин, входящих в выражение полного напора жидкости:

$$\begin{aligned} [p] &= [\text{Па}] = \left[\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right] = \text{М} \cdot \text{Л} \cdot \text{Т}^{-2} \cdot \text{Л}^{-2} = \text{М} \cdot \text{Л}^{-1} \cdot \text{Т}^{-2}; \\ [\rho \cdot u^2] &= \text{М} \cdot \text{Л}^{-3} \cdot \text{Л}^2 \cdot \text{Т}^{-2} = \text{М} \cdot \text{Л}^{-1} \cdot \text{Т}^{-2}. \end{aligned}$$

Следовательно, размерности составляющих полного напора идентифицированы правильным образом.

Чтобы выражение (1) или (4) для $\text{tg}\alpha$ можно было записать в виде точного равенства, необходимо привести в соответствие размерности левой и правой частей этой формулы. Обезразмерить правую часть искомого равенства можно, если вместо абсолютных значений скорости воды, радиуса поплавка и плотности воды, мы введем отношения $\frac{u}{u_*}$, $\frac{R_{\text{п}}}{H}$ и ρ/ρ , где u_* – динамическая скорость потока воды, м/с; H – глубина наполнения водотока, м. Кроме того, в связи с тем, что поплавковый датчик с рычагом находится в приповерхностном слое потока воды, то скорость u естественно принять за поверхностную скорость воды $u_{\text{м}}$.

С учетом всех указанных выше обстоятельств получим:

$$\text{tg}\alpha = \pi \cdot \left(\frac{u_{\text{м}}}{u_*} \right)^2 \cdot \left(\frac{R_{\text{п}}}{H} \right)^2. \quad (5)$$

Отсюда

$$\left(\frac{u_{\text{м}}}{u_*} \right)^2 = \frac{\text{tg}\alpha}{\pi \cdot \left(\frac{R_{\text{п}}}{H} \right)^2}. \quad (6)$$

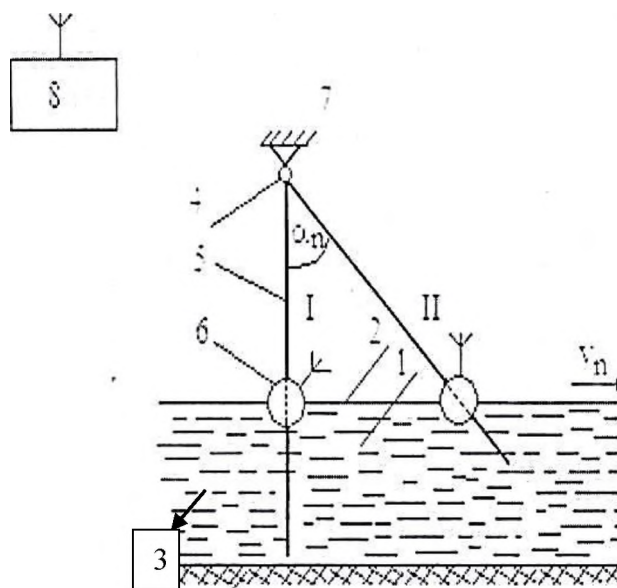
Извлечем из выражения (6) корень квадратный

$$\frac{u_m}{u_*} = \frac{\sqrt{\operatorname{tg}\alpha}}{\sqrt{\pi} \cdot \frac{R_n}{H}} \quad (7)$$

Следовательно, измеряя тангенс угла отклонения поплавкового датчика с рычагом от вертикали в направлении динамической оси потока, вычисляя u_* и определяя отношение $\frac{H}{R_n}$, можно определить по формуле поверхностную скорость воды

$$u_m = u_* \cdot \sqrt{\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\pi}} \cdot \frac{H}{R_n} \quad (8)$$

Техническую реализацию устройства для измерения поверхностной скорости воды иллюстрируют чертежом (см. рисунок). Устройство для измерения поверхностной скорости воды состоит из поворотного рычага, выполненного в виде направляющей кулисы 5 с размещенным на ней подвижным поплавковым датчиком, выполненным в виде подвижного вдоль направляющей кулисы 5 поплавкового инклинометра 6 со встроенным в него трансивером (не указан) для передачи измеренной подвижным поплавковым инклинометром 6 информации в информационно-вычислительную систему ИИС 8, размещенной на водомерном посту (не указан), а направляющая кулиса 5 шарнирно 4 сопряжена с неподвижной опорой 7, расположенной на берегу 3 водотока.



➤ Рисунок . Схема устройства для измерения поверхностной скорости воды:

- 1 - поток воды;
- 2 - поверхность потока воды;
- 3 ~ дно водотока;
- 4 - подвижный шарнир;
- 5 - направляющая кулиса;
- 6 - поплавковый инклинометр со встроенным трансивером;
- 7 - неподвижная опора;
- 8 - информационно-вычислительная система (ИИС), расположенная на водомерных постах;
- I - исходное положение кулисы при $v=V_Q=0$
- II - рабочее положение кулисы при $v=v_n \neq 0$
- v_n , - текущее значение скорости водяного потока;
- α_n , - значение угла отклонения кулисы от исходного положения I при $v=v_n$;

Направляющую кулису 5 изготавливают из жесткого полимерного материала с плотностью, близкой к плотности воды. Материалы для изготовления поплавкового инклинометра 6 и встроенной в него микросхемы подбирают таким образом, чтобы средняя плотность поплавкового инклинометра 6 вместе с его электронной «начинкой» была близка к плотности воды.

Устройство для измерения поверхностной скорости воды работает следующим образом. Поток 1 воды направляют на направляющую кулису 5 с подвижным поплавковым инклинометром 6, расположенным в приповерхностном слое 2 потока 1 воды в полупогруженном состоянии, которая под воздействием динамического напора набегающего потока 1 воды отклоняется от вертикали в направлении динамической оси потока 1 воды, а отклонение направляющей кулисы 5 с подвижным инклинометром 6 происходит благодаря шарнирному 4 повесу ее к неподвижной опоре 7, расположенной на берегу 3 водотока.

Подвижный поплавковый инклинометр 6 участвует в сложном движении: 1 – в отклонении вместе с направляющей кулисой 5 от вертикали в направлении динамической оси потока 1 воды под воздействием его динамического напора, 2 – в перемещении поплавкового инклинометра 6 вдоль направляющей кулисы 5 согласно изменениям наполнения водотока водой, а именно: в поднятии поплавкового инклинометра 6 вместе с приповерхностным слоем 2 потока 1 воды при увеличении наполнения водотока водой, в опускании поплавкового инклинометра 6 вместе с приповерхностным слоем 2 потока 1 воды при уменьшении наполнения водотока водой, – все это происходит при нахождении поплавкового инклинометра 6 в полупогруженном в приповерхностном слое 2 потока 1 воды состоянии.

Рассмотрение сил, действующих на подвижный поплавковый инклинометр 6 с направляющей кулисой 5 позволило установить (см. обоснование работоспособности устройства) связь тангенса угла отклонения поплавкового инклинометра 6 вместе с направляющей кулисой 5 от вертикали в направлении динамической оси потока 1 воды с поверхностной (максимальной) скоростью воды.

Измеряют поплавковым инклинометром 6 тангенс угла отклонения направляющей кулисы 5 с поплавковым инклинометром 6 от вертикали в направлении динамической оси потока, передают с помощью трансивера поплавкового инклинометра 6 измеренную информацию в ИИС 8, где вычисляют динамическую скорость потока воды, определяют отношение глубины наполнения водотока водой к радиусу поплавкового инклинометра 6, а поверхностную скорость воды рассчитывают по формуле:

$$u_m = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot u_* \cdot \frac{H}{R_{\Pi}} \cdot \sqrt{\operatorname{tg} \alpha},$$

где u_m – поверхностная скорость воды, м/с; u_* – динамическая скорость потока воды, м/с; $\frac{H}{R_{\Pi}}$ – отношение глубины наполнения водотока к радиусу поплавкового датчика; $\operatorname{tg} \alpha$ – тангенс угла отклонения поворотного рычага с поплавком от вертикали в направлении динамической оси потока.

Оценим возможные значения угла отклонения поплавкового датчика – инклинометра для водотока с единичными гидравлическими условиями, в предположении, что $\frac{R_{\Pi}}{H} = 0,05$, -

$Q = 1 \text{ м}^3/\text{с}$, $\bar{u} = 1 \text{ м/с}$, $H = 1 \text{ м}$, $V = 1 \text{ м}$, $i = 0,01$, а также [4] $u_* = 0,31 \text{ м/с}$, $u_m = 1,59 \text{ м/с}$.

Тогда угол отклонения поплавкового датчика – инклинометра будет:

$$\operatorname{tg} \alpha = 3,14 \cdot \left(\frac{1,59}{0,31} \right)^2 \cdot (0,05)^2 = 0,207,$$

$$\alpha = 0,204 \text{ рад} = 11,69^\circ.$$

Подобное значение угла отклонения поплавкового датчика – инклинометра вполне реально и измеримо.

Конкретные значения угла отклонения поплавкового датчика – инклинометра, по-видимому, будут различны для различных объектов.

Эффективность предлагаемого устройства заключается в усовершенствовании устройства для измерения поверхностной скорости воды.

Литература

1. Водомерный пост / К.А. Пресняков и др. / Патент РФ № 2010177 // Бюллетень патентов и товарных знаков РФ. – М.: НПО «Поиск» Роспатента. – № 6. – 30.03.94. – 10 с.
2. Великанов М.А. Динамика русловых потоков, Т.1 Структура потока. М.: Госиздат техн.-теор. лит., 1954, 323 с.
3. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ / Кремлевский П.П. // Кн.2. – СПб.: Политехника, 2004. – 412 с.
4. Пресняков К.А., Аскалиева Г.О. О методе определения характерного кинематического параметра на основе новой информативной характеристики// Проблемы автоматики и управления – 2017.– №2(33) –С. 20-26.
5. Расходомер жидких сред в открытых водоемах /С.Н. Зимин и др./Патент RU № 2251080 // Бюллетень патентов и товарных знаков РФ. – М.: НПО «Поиск» Роспатента. – № 12. – 27.04.2005. – 6 с.