



(19) **KG** (11) **1964** (13) **C1**  
(51) **G01P 3/40** (2017.01)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ И  
ИНОВАЦИЙ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ** к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя (владельца)

(21) 20160025.1

(22) 06.04.2016

(46) 30.06.2017, Бюл. № 6

(76) Брякин И. В. (KG); Пресняков К. А. (KZ); Керимкулова Г. К. (KG)

(54) **Корреляционный способ измерения поверхностной скорости воды в открытом водотоке**

(56) Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник // Кн. 2. - СПб.: Политехника, 2004. - С. 175-176

(57) Изобретение относится к гидрометрии и может быть использовано при гидрологических наблюдениях, в частности, при подсчете расходов воды реки или в водоканалах, например, на водомерных постах.

Технической задачей изобретения является расширение области применения и диапазона измеряемых скоростей, повышение точности измерений, упрощение технической реализации.

Поставленная техническая задача решается благодаря тому, что в корреляционном способе измерения поверхностной скорости воды в открытом водотоке, включающем выделение на поверхности воды двух контрольных участков I и II, отстоящих друг от друга по направлению движения потока воды на фиксированном расстоянии; измерение флюктуации случайно изменяющихся параметров потока одного и того же рода на каждом из контрольных участков I и II посредством соответствующих измерительных преобразователей  $D_I$  и  $D_{II}$ ; определение абсциссы максимальной ординаты взаимной корреляционной функции двух электрических сигналов от соответствующих измерительных преобразователей  $D_I$  и  $D_{II}$ :

$$R_{U_I U_{II}}(\tau) = \text{extr} \lim_{\tau} \frac{1}{T} \int_0^T U_I(t - \tau) U_{II}(t) dt$$

где:  $R_{U_I U_{II}}(\tau)$  - взаимная корреляционная функция,

$U_I(t - \tau)$  - информационный электрический сигнал с измерительного преобразователя  $D_I$ ,

$U_{II}(t)$  - информационный электрический сигнал с измерительного преобразователя  $D_{II}$ ,

$\tau$  - время транспортировки среды (абсцисса максимальной ординаты взаимной корреляционной функции),

$T$  - время усреднения;

определение поверхностной скорости воды по формуле:

$$V = L/\tau,$$

где:  $V$  - скорость воды в открытом водотоке;

$L$  - фиксированное расстояние между двумя выделенными контрольными участками I и II; в качестве информативных параметров движения потока воды используют пульсации скорости на фиксированных контрольных участках I и II поверхности потока воды; измерение флюктуации скорости на фиксированных контрольных участках I и II осуществляют поплавковыми акселерометрами соответственно  $D_I$  и  $D_{II}$ , которые на каждом из фиксированных контрольных участков I

и II одновременно регистрируют соответствующие флуктуации трёх компонент скорости по трём координатным направлениям; определяют дифференциальные тензоры скоростей для каждого контрольного участка I и II, компонентами которых служат соответствующие девять скалярных производных от трёх компонент скоростей  $v_i'$  и  $v_i''$  ( $i = 1, 2, 3$ ) по трём координатным направлениям  $x_1, x_2, x_3$ :

$$\left\| \frac{\partial v_i'}{\partial x_j} \right\| = \begin{vmatrix} \frac{\partial v_1'}{\partial x_1} & \frac{\partial v_1'}{\partial x_2} & \frac{\partial v_1'}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_2'}{\partial x_1} & \frac{\partial v_2'}{\partial x_2} & \frac{\partial v_2'}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_3'}{\partial x_1} & \frac{\partial v_3'}{\partial x_2} & \frac{\partial v_3'}{\partial x_3} \end{vmatrix} \quad \text{и} \\ \left\| \frac{\partial v_i''}{\partial x_j} \right\| = \begin{vmatrix} \frac{\partial v_1''}{\partial x_1} & \frac{\partial v_1''}{\partial x_2} & \frac{\partial v_1''}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_2''}{\partial x_1} & \frac{\partial v_2''}{\partial x_2} & \frac{\partial v_2''}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_3''}{\partial x_1} & \frac{\partial v_3''}{\partial x_2} & \frac{\partial v_3''}{\partial x_3} \end{vmatrix}$$

где:  $\frac{\partial v_i'}{\partial x_j}$  и  $\frac{\partial v_i''}{\partial x_j}$ , ( $i, j = 1, 2, 3$ ) - частные производные, выражающие проекции конвективных ускорений жидких частиц на координатные направления  $x_j$  соответственно на фиксированных контрольных участках I и II; информацию в виде электрических сигналов

$$U_I = F_I \left( \frac{\partial v'}{\partial x} \right) \text{ и } U_{II} = F_{II} \left( \frac{\partial v''}{\partial x} \right)$$

где:  $F_I \left( \frac{\partial v'}{\partial x} \right)$  и  $F_{II} \left( \frac{\partial v''}{\partial x} \right)$  - функции преобразования соответственно поплавковых акселерометров  $D_I$  и  $D_{II}$ ; преобразуют в цифровой телеметрический радиосигнал в соответствии с протоколом технологии беспроводных сенсорных сетей ZigBee и посредством трансиверов поплавковых акселерометров  $D_I$  и  $D_{II}$  передают по соответствующим радиоканалам в информационно-вычислительную систему для последующей дистанционной обработки.

1 н. п. ф., 4 з. п. ф., 1 фиг.

Изобретение относится к гидрометрии и может быть использовано при гидрологических наблюдениях, в частности, при подсчёте расходов воды реки или в водоканалах, например, на водомерных постах.

Известен «меточный» способ определения скорости потока воды водотока, состоящий в измерении времени перемещения какой-либо характерной части потока (метки) на контрольном участке пути (Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник // Кн. 2. - СПб.: Политехника, 2004. - С. 152-153).

Метку в потоке воды создают, как правило, искусственным путем. Применяют метки различной физической природы: ионизационные, радиоактивные, физико-химические, тепловые, оптические, ядерно-магнитные и др. Радиоактивные, физико-химические и некоторые оптические метки создают путем ввода в поток постороннего вещества-индикатора. В большинстве остальных случаев метка образуется в самом потоке без ввода постороннего вещества. «Меточный» способ определения скорости воды может осуществляться посредством одного или двух детекторов метки. В первом случае контрольное расстояние  $L$  считается от места ввода I метки до места регистрации II данной метки детектором  $D_{II}$ , во втором - между двумя детекторами  $D_I$  и  $D_{II}$ , расположенными соответственно на контрольных позициях регистрации I и II. Скорость метки  $V$  определяют из выражения

$$V = L/\Delta\tau,$$

где  $\Delta\tau$  - измеряемое время перемещения метки на контрольном расстоянии  $L$ .

К недостатку этого известного способа следует отнести необходимость применения дополнительных специальных технических устройств формирования метки, что существенно усложня-

ет реализацию самого способа, а явления турбулентной диффузии и размывания метки заметно затрудняют реализацию процесса точного измерения  $\Delta t$ . Кроме того, точность измерения  $\Delta t$  напрямую зависит от вида метки и её начальной формы, скорости перемещения и её физических свойств. Наличие такого множества влияющих факторов существенно ограничивает точность измерительного процесса и диапазон измеряемых скоростей.

В качестве прототипа выбран «корреляционный» способ определения скорости потока воды водотока, основанный на измерении временных интервалов (относительного временного сдвига) между двумя шумовыми или шумоподобными сигналами  $U_I$  и  $U_{II}$ , снимаемыми с двух точек I и II движущейся поверхности, расположенных на базовом расстоянии  $L$  друг от друга по направлению движения (Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник // Кн. 2. - СПб.: Политехника, 2004. - С. 175-176).

Регистрацию данных сигналов осуществляют соответствующими измерительными преобразователями  $D_I$  и  $D_{II}$ . Для реализации рассматриваемого способа измерения скорости потока воды вычисляют взаимную корреляционную функцию указанных сигналов  $U_I$  и  $U_{II}$  и отслеживают перемещение ее экстремума вдоль оси абсцисс:

$$R_{U_I U_{II}}(\tau) = \text{extr} \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T U_I(t - \tau) U_{II}(t) dt$$

Поверхностную скорость потока воды водотока определяют по формуле:

$$V = L/\tau,$$

где:  $V$  - скорость воды в открытом водотоке;

$L$  - фиксированное расстояние между двумя выделенными контрольными участками I и II;

$\tau$  - время транспортировки среды.

К недостаткам прототипа следует отнести то, что он предназначен, в основном, для измерения многофазных веществ и различных потоков, имеющих какие-либо ярко выраженные неоднородности, например, существенно загрязненная среда, что заметно ограничивает область применения данного способа. Кроме того, реализация данного способа ориентирована, в основном, на наличие сигнала, излучаемого движущимся носителем информации, или случайного сигнала, излученного удаленным источником и отраженного движущимся объектом, что усложняет его техническую реализацию и ограничивает диапазон измеряемых скоростей. Изменения традиционно используемых параметров потока (геометрические, оптические, электрические и магнитные) в силу указанных выше причин чаще всего представляют собой случайные процессы с законом распределения, отличным от нормального, что в свою очередь снижает точность измерения данного способа.

Технической задачей изобретения является расширение области применения и диапазона измеряемых скоростей, повышении точности измерений, упрощение технической реализации.

Поставленная техническая задача решается благодаря тому, что в корреляционном способе измерения поверхностной скорости воды в открытом водотоке, включающем выделение на поверхности водотока двух контрольных участков I и II, 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 I и II посредством соответствующих измерительных преобразователей  $D_I$  и  $D_{II}$ ; определение абсциссы максимальной ординаты взаимной корреляционной функции двух электрических сигналов с соответствующими измерительными преобразователями  $D_I$  и  $D_{II}$ :

$$R_{U_I U_{II}}(\tau) = \text{extr} \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T U_I(t - \tau) U_{II}(t) dt$$

где:  $R_{U_I U_{II}}(\tau)$  - взаимная корреляционная функция,

$U_I(t - \tau)$  - информационный электрический сигнал с измерительного преобразователя  $D_I$ ,

$U_{II}(t)$  - информационный электрический сигнал с измерительного преобразователя  $D_{II}$ ,

$\tau$  - время транспортировки среды (абсцисса максимальной ординаты взаимной корреляционной функции),

$T$  - время усреднения;

определение поверхностной скорости воды по формуле:

$$V = L/\tau,$$

где:  $V$  - скорость воды в открытом водотоке;

$L$  - фиксированное расстояние между двумя выделенными контрольными участками I и II; в качестве информативных параметров движения потока воды используют пульсации скорости на фиксированных контрольных участках I и II поверхности данного водотока; измерение флуктуации скорости на фиксированных контрольных участках I и II осуществляют поплавковыми акселерометрами соответственно  $D_I$  и  $D_{II}$ , которые на каждом из фиксированных контрольных участков I и II одновременно регистрируют соответствующие флуктуации трех компонент скорости по трем координатным направлениям; определяют дифференциальные тензоры скоростей для каждого контрольного участка I и II, компонентами которых служат соответствующие девять скалярных производных от трех компонент скоростей  $v_i^I$  и  $v_i^{II}$  ( $i = 1, 2, 3$ ) по трем координатным направлениям  $x_1, x_2, x_3$ :

$$\left\| \frac{\partial v_i^I}{\partial x_j} \right\| = \begin{vmatrix} \frac{\partial v_i^I}{\partial x_1} & \frac{\partial v_i^I}{\partial x_2} & \frac{\partial v_i^I}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_i^I}{\partial x_2} & \frac{\partial v_i^I}{\partial x_1} & \frac{\partial v_i^I}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_i^I}{\partial x_3} & \frac{\partial v_i^I}{\partial x_2} & \frac{\partial v_i^I}{\partial x_1} \end{vmatrix} \quad \text{и} \\ \left\| \frac{\partial v_i^{II}}{\partial x_j} \right\| = \begin{vmatrix} \frac{\partial v_i^{II}}{\partial x_1} & \frac{\partial v_i^{II}}{\partial x_2} & \frac{\partial v_i^{II}}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_i^{II}}{\partial x_2} & \frac{\partial v_i^{II}}{\partial x_1} & \frac{\partial v_i^{II}}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_i^{II}}{\partial x_3} & \frac{\partial v_i^{II}}{\partial x_2} & \frac{\partial v_i^{II}}{\partial x_1} \end{vmatrix},$$

где:  $\frac{\partial v_i^I}{\partial x_j}$  и  $\frac{\partial v_i^{II}}{\partial x_j}$ , ( $i, j = 1, 2, 3$ ) - частные производные, выражающие проекции конвективных ускорений жидких частиц на координатные направления  $x_j$  соответственно на фиксированных контрольных участках I и II; информацию в виде электрических сигналов

$$U_I = F_I \left( \frac{\partial v^I}{\partial x} \right) \text{ и } U_{II} = F_{II} \left( \frac{\partial v^{II}}{\partial x} \right),$$

где:  $F_I \left( \frac{\partial v^I}{\partial x} \right)$  и  $F_{II} \left( \frac{\partial v^{II}}{\partial x} \right)$  - функции преобразования соответственно поплавковых акселерометров  $D_I$  и  $D_{II}$ ; преобразуют в цифровой телеметрический радиосигнал в соответствии с протоколом технологии беспроводных сенсорных сетей ZigBee и передают поплавковыми акселерометрами  $D_I$  и  $D_{II}$  по соответствующим радиоканалам в информационно-вычислительную систему для последующей дистанционной обработки.

Сущность предложенного способа заключается в том, что между совокупностью существенных признаков заявляемого способа измерения скорости потока воды и достигаемым техническим результатом существует причинно-следственная связь, а именно: использование в качестве информативных параметров пульсации скорости на фиксированных контрольных участках I и II поверхности данного водотока, имеющих нормальный закон распределения, повышает точность измерения; измерение флуктуаций скорости на фиксированных контрольных участках I и II посредством поплавковых акселерометров, регистрирующих соответствующие флуктуации трех компонент скорости по трем координатным направлениям, обеспечивают информационную и структурную избыточность измерений, а значит и повышение точности; определение дифференциальных тензоров скоростей для каждого контрольного участка I и II, компонентами которых служат соответствующие девять скалярных производных от трех компонент скоростей  $v_i^I$  и  $v_i^{II}$  ( $i = 1, 2, 3$ ) по трем координатным направлениям  $x_1, x_2$  и  $x_3$ , обеспечивает высокую точность опре-

деления осредненного параметра; преобразование информации в цифровой телеметрический радиосигнал в соответствии с протоколом технологии беспроводных сенсорных сетей ZigBee и передача ее поплавковыми акселерометрами  $D_I$  и  $D_{II}$  по соответствующим радиоканалам в информационно-вычислительную систему для последующей дистанционной обработки; расширяет область применения и функциональные возможности способа, а также упрощает его техническую реализацию.

Указанные отличия в своей совокупности обеспечивают расширение области применения и диапазона измеряемых скоростей, повышение точности измерений, упрощение технической реализации.

Сравнение заявляемого технического решения с прототипом позволило установить соответствие предлагаемого изобретения критерию «новизна». При изучении других известных технических решений в данной области техники признаки, отличающие заявляемое изобретение от прототипа, не были выявлены и поэтому они обеспечивают заявлению техническому решению соответствие критерию «существенные отличия».

Структурная блок-схема технической реализации корреляционного способа измерения поверхности скорости воды в открытом водотоке представлена на чертеже на фиг. 1, где 1 - поток воды в открытом водотоке; 2 - поверхностный слой потока воды; 3 ( $D_I$ ) и 4 ( $D_{II}$ ) - поплавковые акселерометры соответственно фиксированных контрольных участков I и II; 5 - опорная гибкая тяга; 6 - базовая гибкая тяга длиной  $L$ ; 7 - неподвижная опора; 8 - информационно-вычислительная система, расположенная на водомерных постах.

Предлагаемый корреляционный способ измерения поверхности скорости воды в открытом водотоке обосновывается следующим образом.

Корреляционные методы применимы для измерения параметров движения любых поверхностей и сред, являющихся носителями информации, т. е. таких поверхностей и сред, различные участки которых характеризуются какими-либо показателями, изменяющимися в направлении движения. Физический характер носителя информации не имеет особого значения, важно лишь, чтобы информация могла быть воспринята каким-либо датчиком. Принципиально важным в этом случае является выбор такого информативного параметра, изменения которого представляли бы собой случайный процесс с нормальным законом распределения.

Рассмотрим отдельные физические свойства движущейся воды в открытых водотоках, в которых волновые явления на свободной поверхности потока воды играют существенную роль.

Общеизвестно, что вязкая жидкость приводится в движение внешними силами или движением границы соответствующего замкнутого объёма самой жидкости. Поэтому ламинарно-турбулентный переход течения жидкости наступает вследствие именно не устойчивости течения жидкости к подобным возмущениям.

Известно, что турбулентный режим движения воды оказывает решающее влияние на рассеяние энергии и транспорт наносов в реках и каналах (Великанов М. А. Динамика русловых потоков // Т. 2. Наносы и русло. - М.: Госиздат техн.-теор.лит., 1955. - С. 323). Поэтому теория турбулентности представляет собой основу динамики русловых потоков. Развитое турбулентное движение, наблюдаемое в реках и каналах, является фактически движением вязкой жидкости со следующими свойствами: 1 - скорости всех жидких частиц имеют трехмерную случайную составляющую; 2 - если граничные условия движения не изменяются, все статистические характеристики его стационарны; 3 - каждая жидккая частица одновременно участвует в движениях разных масштабов; 4 - масштабы движений (линейные, временные и т. д.) образуют плотные последовательности.

Кроме того, следует отметить, что изменение скорости перемещающейся частицы жидкости по ходу движения предопределено, прежде всего, двумя следующими обстоятельствами: 1 - состояние движения изменяется со временем во всех тех точках пространства, через которые проходит путь данной частицы; 2 - в любой фиксированный момент времени состояние движения переменно вдоль этого пути. Так, например, частица воды, движущаяся в реке во время паводка, изменяет свою скорость по причине роста или уменьшения расхода реки, а также по причине того, что на своем пути она проходит через участки, различно ориентированные на земной поверхности и имеющие разные площади живых сечений.

В целом, случайный характер турбулентных пульсаций предопределяет возможность применения статистического подхода к их изучению. Поэтому в механике турбулентных потоков методы динамики вязкой жидкости естественным образом сочетаются с методами теории случайных функций, согласно которым непрерывно идущая смена мгновенных полей скорости и давления

турбулентно движущейся жидкости есть случайный процесс (Великанов М. А. Динамика русло-вых потоков // Т. 1. Структура потока. - М.: Госиздат техн.-теор.лит., 1954. - С. 323).

Исходя из указанных выше свойств, можно констатировать, что хаотический характер перемещения жидких частиц представляет собой наиболее легко обнаруживаемую особенность турбулентных течений, а само беспорядочное движение частиц приводит к перемешиванию жидкости и создает тем самым явление пульсаций скорости и давления в фиксированных точках пространства рассматриваемой среды. Если граничные условия течения (например, расход воды во входном сечении открытого водотока или состояние поверхности его дна) не меняются со временем, то колебания скорости и давления в каждой такой точке совершаются около устойчивых средних значений. Столь же устойчивы и остальные статистические характеристики колебаний, такие, например, как моменты корреляции между пульсациями в двух фиксированных точках пространства или в данной точке через фиксированный интервал времени.

Проведённые экспериментальные исследования свойств вероятностных характеристик турбулентного движения, наблюдаемого в реках и каналах, подтверждают общепринятую гипотезу о существовании эргодического свойства у турбулентных течений, что, в свою очередь, позволяет использовать для исследования турбулентных течений временное, пространственное и смешанное (пространственно-временное) осреднения.

Известно, что движение частиц жидкости описывается уравнениями гидродинамики. В этом случае частицу жидкости представляют в виде материальной точки сплошной среды, обладающей конечной массой, но не имеющей пространственной протяженности. Возможны два способа описания движения подобных жидких частиц. По первому из них (Эйлера) регистрируют скорости и ускорения частиц, которые проходят через интересующие нас фиксированные точки пространства, а по второму (Лагранжа) - следят за скоростями и ускорениями, а, следовательно, и за положением в пространстве фиксированных частиц (Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука, 1973). Как показывает практика, более удобен первый способ, который преимущественно и применяется в гидродинамике.

Чтобы выразить это в аналитической форме, достаточно учесть, что вектор скорости  $\mathbf{v}$  движущейся жидкой частицы есть сложная функция времени  $t$ , зависящая от  $t$  не только явно, но и через координаты  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$ . Полное ускорение частицы выразится при этом следующим образом:

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial x_1} \times \frac{dx_1}{dt} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial x_2} \times \frac{dx_2}{dt} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial x_3} \times \frac{dx_3}{dt} \quad (1)$$

Так как  $dx_i / dt = v_i$ , то равенство (1) можно представить в виде:

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + v_1 \times \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial x_1} + v_2 \times \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial x_2} + v_3 \times \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial x_3}. \quad (2)$$

Проектируя его на оси координат, получаем

$$\frac{dv_i}{dt} = \frac{\partial v_i}{\partial t} + \sum_j \left( v_j \times \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \right), \quad i, j = 1, 2, 3. \quad (3)$$

Величина, стоящая в левой части (2), является субстанциональным или индивидуальным ускорением. Производная  $\partial v / \partial t$  выражает локальное ускорение, а сумма трех последних членов правой части (2) - представляет собой конвективное ускорение жидкой частицы. В идеальном случае при установившемся движении локальное ускорение равно нулю и частица может испытывать ускорение лишь вследствие пространственной неоднородности поля скоростей.

Таким образом, исходя из приведённых выше рассуждений, в качестве информативных параметров движения воды в открытом водотоке, предлагается использовать естественные пульсации скорости на фиксированных контрольных участках I и II водной поверхности рассматриваемого водотока, которые подчиняются нормальному закону распределения.

Один из наиболее простых и широко распространенных способов изучения кинематики речных потоков реализуется посредством поверхностных поплавков, за движением которых осуществляется соответствующее наблюдение. Поэтому для измерения флюктуаций скорости на каждом из фиксированных контрольных участков I и II предлагается применить соответственно поплавковые акселерометры 3 (D<sub>I</sub>) и 4 (D<sub>II</sub>), расположенные в поверхностном слое 2 потока воды 1 открытого водотока и ориентированные на регистрацию соответствующих флюктуаций трёх компонент поверхностной скорости потока воды по трём координатным направлениям.

Поплавковые акселерометры 3 и 4 механически связаны между собой базовой гибкой тягой 6 длиной L, которая обеспечивает необходимое пространственное размещение акселерометров относительно друг от друга по направлению движения потока воды на фиксированном расстоянии L. Образованная таким образом механическая система посредством опорной гибкой тяги 5 прикрепляется к неподвижной опоре 7.

Каждый поплавковый акселерометр 3 и 4 представляют собой беспроводные узлы БУ<sub>I</sub> и БУ<sub>II</sub>, состоящие соответственно из высокочувствительных интегральных сейсмовибрационных датчиков соответственно ИСВД<sub>I</sub> и ИСВД<sub>II</sub>, управляющих микропроцессорных блоков УМПБ<sub>I</sub> и УМПБ<sub>II</sub>, радиоприёмопередатчиков РПП<sub>I</sub> и РПП<sub>II</sub>, автономных источников питания ИП<sub>I</sub> и ИП<sub>II</sub> (миниатюрные батареи).

Корреляционный способ измерения поверхностной скорости воды в открытом водотоке осуществляется следующим образом.

Посредством высокочувствительных интегральных сейсмовибрационных датчиков ИСВД<sub>I</sub> и ИСВД<sub>II</sub> (в составе поплавковых акселерометров D<sub>I</sub> и D<sub>II</sub> соответственно) измеряют флюктуации назначенных параметров; полученную информацию в виде электрических сигналов передают на управляющие микропроцессорные блоки УМПБ<sub>I</sub> и УМПБ<sub>II</sub> (в составе поплавковых акселерометров D<sub>I</sub> и D<sub>II</sub> соответственно), где из анализа указанной информации определяют дифференциальные тензоры скоростей для каждого фиксированного контрольного участка (I и II), компонентами которых служат соответствующие девять скалярных производных от трех компонент скоростей  $v_i^I$  и  $v_i^{II}$  ( $i = 1, 2, 3$ ) по трем координатным направлениям  $x_1, x_2, x_3$ :

$$\left\| \frac{\partial v_i^I}{\partial x_j} \right\| = \begin{vmatrix} \frac{\partial v_1^I}{\partial x_1} & \frac{\partial v_1^I}{\partial x_2} & \frac{\partial v_1^I}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_2^I}{\partial x_1} & \frac{\partial v_2^I}{\partial x_2} & \frac{\partial v_2^I}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_3^I}{\partial x_1} & \frac{\partial v_3^I}{\partial x_2} & \frac{\partial v_3^I}{\partial x_3} \end{vmatrix} \quad \text{и} \\ \left\| \frac{\partial v_i^{II}}{\partial x_j} \right\| = \begin{vmatrix} \frac{\partial v_1^{II}}{\partial x_1} & \frac{\partial v_1^{II}}{\partial x_2} & \frac{\partial v_1^{II}}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_2^{II}}{\partial x_1} & \frac{\partial v_2^{II}}{\partial x_2} & \frac{\partial v_2^{II}}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_3^{II}}{\partial x_1} & \frac{\partial v_3^{II}}{\partial x_2} & \frac{\partial v_3^{II}}{\partial x_3} \end{vmatrix} \quad (4)$$

где:  $\frac{\partial v_i^I}{\partial x_j}$  и  $\frac{\partial v_i^{II}}{\partial x_j}$ , ( $i, j = 1, 2, 3$ ) - частные производные, выражающие проекции конвективных ускорений жидких частиц на координатные направления  $x_j$  соответственно на фиксированных контрольных участках I и II.

Исходя из полученных результатов (4), посредством управляющих микропроцессорных блоков УМПБ<sub>I</sub> и УМПБ<sub>II</sub> (в составе поплавковых акселерометров D<sub>I</sub> и D<sub>II</sub> соответственно) формируют соответствующие электрические сигналы

$$U_I = F_I \left( \frac{\partial v^I}{\partial x} \right) \text{ и } U_{II} = F_{II} \left( \frac{\partial v^{II}}{\partial x} \right),$$

где:  $F_I \left( \frac{\partial v^I}{\partial x} \right)$  и  $F_{II} \left( \frac{\partial v^{II}}{\partial x} \right)$  - функции преобразования соответственно поплавковых акселерометров D<sub>I</sub> и D<sub>II</sub>;

затем преобразуют их в цифровой телеметрический радиосигнал в соответствии с протоколом технологии беспроводных сенсорных сетей ZigBee и передают посредством радиоприемопередатчиков РПП<sub>I</sub> и РПП<sub>II</sub> (в составе поплавковых акселерометров D<sub>I</sub> и D<sub>II</sub> соответственно) по радиоканалам в информационно-вычислительную систему 8 для последующей дистанционной обра-

ботки.

Экспериментальные исследования заявляемого корреляционного способа измерения поверхностной скорости воды в открытом водотоке в реальных условиях подтвердили эффективность предлагаемого способа измерения.

На основе заявляемого корреляционного способа измерения поверхностной скорости воды в открытом водотоке возможно создание недорогостоящих, надежных и высокоточных систем стационарного мониторинга состояния водной среды, ориентированных на эффективное использование на водомерных постах.

### Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

1. Корреляционный способ измерения поверхностной скорости воды в открытом водотоке, включающий выделение на поверхности воды двух контрольных участков I и II, 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 I и II посредством соответствующих измерительных преобразователей  $D_I$  и  $D_{II}$ ; определение абсциссы максимальной ординаты взаимной корреляционной функции двух электрических сигналов от соответствующих измерительных преобразователей  $D_I$  и  $D_{II}$ :

$$R_{U_I U_{II}}(\tau) = \text{extr} \lim_{\tau \rightarrow T} \frac{1}{T} \int_0^T U_I(t - \tau) U_{II}(t) dt$$

где:  $R_{U_I U_{II}}(\tau)$  - взаимная корреляционная функция,

$U_I(t - \tau)$  - информационный электрический сигнал с измерительного преобразователя  $D_I$ ,

$U_{II}(t)$  - информационный электрический сигнал с измерительного преобразователя  $D_{II}$ ,

$\tau$  - время транспортировки среды (абсцисса максимальной ординаты взаимной корреляционной функции),

$T$  - время усреднения;

определение поверхностной скорости воды по формуле:

$$V = L/\tau,$$

где:  $V$  - скорость воды в открытом водотоке;

$L$  - фиксированное расстояние между двумя выделенными контрольными участками I и II; отличаясь тем, что в качестве информативных параметров движения воды используют пульсации скорости на фиксированных контрольных участках I и II поверхности потока воды.

2. Корреляционный способ измерения поверхностной скорости воды в открытом водотоке по п. 1, отличающийся тем, что измерение флуктуации скорости на фиксированных контрольных участках I и II осуществляют поплавковыми акселерометрами, соответственно  $D_I$  и  $D_{II}$ .

3. Корреляционный способ измерения поверхностной скорости воды в открытом водотоке по п. 1, отличающийся тем, что поплавковыми акселерометрами  $D_I$  и  $D_{II}$  на каждом из фиксированных контрольных участков I и II одновременно регистрируют соответствующие флуктуации трёх компонент скорости по трём координатным направлениям.

4. Корреляционный способ измерения поверхностной скорости воды в открытом водотоке по п. 1, отличающийся тем, что определяют дифференциальные тензоры скоростей для каждого контрольного участка I и II, компонентами которых служат соответствующие девять скалярных производных от трёх компонент скоростей  $v_i'$  и  $v_i''$  ( $i = 1, 2, 3$ ) по трём координатным направлениям  $x_1, x_2, x_3$ :

$$\left\| \frac{\partial v_i'}{\partial x_i} \right\| = \left\| \begin{array}{ccc} \frac{\partial v_i'}{\partial x_1} & \frac{\partial v_i'}{\partial x_2} & \frac{\partial v_i'}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_i'}{\partial x_1} & \frac{\partial v_i'}{\partial x_2} & \frac{\partial v_i'}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_i'}{\partial x_1} & \frac{\partial v_i'}{\partial x_2} & \frac{\partial v_i'}{\partial x_3} \end{array} \right\| \quad \text{и}$$

$$\left\| \frac{\partial v_i''}{\partial x_i} \right\| = \left\| \begin{array}{ccc} \frac{\partial v_i''}{\partial x_1} & \frac{\partial v_i''}{\partial x_2} & \frac{\partial v_i''}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_i''}{\partial x_1} & \frac{\partial v_i''}{\partial x_2} & \frac{\partial v_i''}{\partial x_3} \\ \frac{\partial v_i''}{\partial x_1} & \frac{\partial v_i''}{\partial x_2} & \frac{\partial v_i''}{\partial x_3} \end{array} \right\|$$

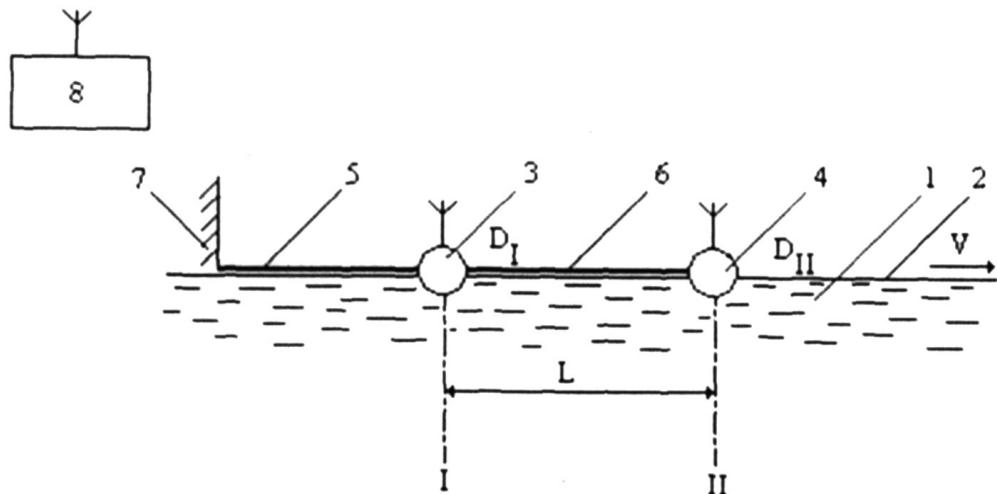
где:  $\frac{\partial v_i^I}{\partial x_j}$  и  $\frac{\partial v_i^{II}}{\partial x_j}$ , ( $i, j = 1, 2, 3$ ) - частные производные, выражающие проекции конвективных ускорений жидких частиц на координатные направления  $x_j$ , соответственно на фиксированных контрольных участках I и II.

5. Корреляционный способ измерения поверхностной скорости воды в открытом водотоке, по п. 1, отличается тем, что информационные электрические сигналы

$$U_I = F_I \left( \frac{\partial v^I}{\partial x} \right) \text{ и } U_{II} = F_{II} \left( \frac{\partial v^{II}}{\partial x} \right);$$

где:  $F_I \left( \frac{\partial v^I}{\partial x} \right)$  и  $F_{II} \left( \frac{\partial v^{II}}{\partial x} \right)$  - функции преобразования соответственно поплавковых акселерометров  $D_I$  и  $D_{II}$ ; преобразуют в цифровой телеметрический радиосигнал в соответствии с протоколом технологии беспроводных сенсорных сетей ZigBee и посредством трансиверов поплавковых акселерометров  $D_I$  и  $D_{II}$  передают по соответствующим радиоканалам в информационно-вычислительную систему для последующей дистанционной обработки.

Способ получения фруктозного сиропа непосредственно из корней растительного сырья, отличается тем, что корни растений измельчают, гидролизуют 0,5 % соляной кислотой в соотношении 1:8 при температуре 75-80 °C, гидролизат осветляют активированным углем, нейтрализуют мелом до pH 6,5-7,0, фильтруют, концентрируют под вакуумом.



Фиг. 1

Выпущено отделом подготовки материалов

Государственная служба интеллектуальной собственности и инноваций при Правительстве Кыргызской Республики, 720021, г. Бишкек, ул. Московская, 62, тел.: (312) 68 08 19, 68 16 41; факс: (312) 68 17 03