

УДК 631.6. (575.2)

К.А. Пресняков, д.т.н., с.н.с.,
Г.К. Керимкулова, к.ф.-м.н., gulsaat@mail.ru
Г.О. Аскалиева, к.т.н., 87guzya@mail.ru
Институт машиноведения и автоматизации НАН КР

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЛОКАЛЬНО ИЗОТРОПНОГО ТЕЧЕНИЯ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОТОКЕ ВОДЫ

Установлено, что реальный турбулентный поток воды является совокупностью обычной турбулентности и виртуальной локальной изотропии течения воды.

Ключевые слова: относительные пульсационные структурные функции, локально изотропная турбулентность.

Цель – установить возможность вероятного проявления элементов локальной изотропии течения в открытом турбулентном потоке воды.

Основания методики:

- рассматриваемый объект – прямолинейный открытый турбулентный поток воды (предполагается отсутствие в нем поперечных циркуляционных течений);
- выражения для пульсаций продольной и вертикальной компонент скорости воды:

$$u'_{\Delta y} = -\frac{1}{v} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t} \cdot u'_{\Delta t}, \quad (1)$$

$$v'_{\Delta y} = -\frac{1}{v} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t} \cdot v'_{\Delta t}, \quad (2)$$

где $u'_{\Delta y}$ – флуктуация (пульсация) продольной компоненты скорости по координате на его промежутке Δy , м/с; $v'_{\Delta y}$ – флуктуация (пульсация) вертикальной компоненты скорости по координате на его промежутке Δy , м/с; $u'_{\Delta t}$ – пульсация (флуктуация) продольной компоненты скорости по времени на его промежутке Δt , м/с; $v'_{\Delta t}$ – пульсация (флуктуация) вертикальной компоненты скорости по времени на его промежутке Δt , м/с; v – вертикальная компонента скорости воды, м/с.

Эти выражения получены с учетом следующих условий:

1. равенства нулю полных производных по условию изотропности течения;
 2. $u = \text{const}(x)$, $v = \text{const}(x)$ – условия изотропного течения;
 3. $w=0$ – условие отсутствия поперечных циркуляционных течений.
- Пульсационные структурные функции:

$$D_{u'u'} = \left| \frac{u'_{\Delta y}(y_1) - u'_{\Delta y}(y_2)}{\Delta y} \right|^2, \quad (3)$$

$$D_{v'v'} = \left| \frac{v'_{\Delta y}(y_1) - v'_{\Delta y}(y_2)}{\Delta y} \right|^2, \quad (4)$$

где размерность указанных функций составляет $L^2 \cdot T^{-2}$ (или же m^2/c^2);

- относительные пульсационные структурные функции [1]

$$\tilde{D}_{u'u'} = \left| \tilde{u}'(\tilde{y}_2) - \tilde{u}'(\tilde{y}_1) \right|^2, \quad (5)$$

$$\tilde{D}_{v'v'} = \left| \tilde{v}'(\tilde{y}_2) - \tilde{v}'(\tilde{y}_1) \right|^2, \quad (6)$$

где $\tilde{u}'(\tilde{y}_2), \tilde{u}'(\tilde{y}_1)$ – относительные значения пульсаций продольной компоненты скорости воды в промежутке времени Δt с вертикальными координатами \tilde{y}_2, \tilde{y}_1 соответственно; $\tilde{v}'(\tilde{y}_2), \tilde{v}'(\tilde{y}_1)$ – относительные значения пульсаций вертикальной компоненты скорости воды в промежутке времени Δt с вертикальными координатами \tilde{y}_2, \tilde{y}_1 соответственно; эти выражения получены методом обезразмеривания входящих в них характеристик;

- относительные пульсационные структурные функции с учетом распределений И.К. Никитина (относительные пульсации продольной и вертикальной компонент скорости воды) [2, с.108, ф.44 и ф.46];

$$\tilde{D}_{u'u'} = \left| \varphi(\tilde{y}_2) - \varphi(\tilde{y}_1) \right|^2; \quad (7)$$

$$\tilde{D}_{v'v'} = \left| \psi(\tilde{y}_2) - \psi(\tilde{y}_1) \right|^2; \quad (8)$$

$$\varphi(\tilde{y}) = 0,25 + \left(\frac{0,21}{0,28 + \tilde{y}} \right); \quad (9)$$

$$\psi(\tilde{y}) = \frac{0,677 \cdot \tilde{y}}{\tilde{y} + 0,036} \cdot (\tilde{y}^2 - 2 \cdot \tilde{y} + 2), \quad (10)$$

где $\varphi(\tilde{y}), \psi(\tilde{y})$ – координатные части распределений пульсаций продольной и вертикальной компонент скорости воды соответственно; \tilde{y} – относительная вертикальная координата;

- структурные функции для области турбулентного пограничного слоя при выполнении закона «2/3» Колмогорова – Обухова [3, стр. 265, ф. 113]

$$D_{ll} = \left| u_1(M_2) - u_1(M_1) \right|^2, \quad (11)$$

$$D_{nn} = \left| v_n(M_2) - v_n(M_1) \right|^2; \quad (12)$$

- отношение указанных структурных функций (поперечной к продольной)

$$\frac{D_{nn}}{D_{ll}} = 1,33 \text{ – как один из признаков локальной изотропии течения воды.}$$

Для конкретности расчетов выберем результаты реконструированных нами опытов В.Ф. Талмазы и Г.Н. Романенко [4].

Гипотеза. Отношение относительных пульсационных структурных функций (вертикальной к продольной), равное примерно 1,33, является одним из признаков проявления локальной изотропии турбулентного течения воды.

Так как при решении поставленной задачи мы используем пульсационные соотношения И.К. Никитина, то возникает необходимость установления сопоставимости упомянутых натуральных данных и результатов лабораторных исследований И.К. Никитина.

Проведем проверку выполнения условий плоского течения жидкости, показателем которого является, в частности, величина отношения H/V , где H – средняя глубина наполнения водотока, м; V – средняя ширина потока, м.

В результате анализа натуральных данных выявлено, что отношения H/V составляют следующий ряд: 0,24; 0,26; 0,17; 0,17; 0,17; 0,42; 0,16; 0,075; 0,063, причем наибольшее значение рассматриваемого отношения равно 0,42. Необходимо отметить, что полученные величины соответствуют порядку рассмотрения соответствующих натуральных объектов.

Проведя аналогичный анализ лабораторных данных И.К. Никитина, выявили, что для опытов V серии отношение Н/В составило 0,23 и 0,15, а для опытов VI серии – 0,46.

Таким образом, анализируемые натурные данные соответствуют условию плоского течения жидкости, которое в нашем случае выглядит следующим образом: $H / B \leq 0,46$.

Сама методика заключается в том, что ведется поиск координат точки (или точек), где отношение относительных пульсационных структурных функций (вертикальной к продольной) составляет величину порядка 1,33 (таблица 1).

Таблица 1– К поиску координат точки (или точек), где отношение относительных пульсационных структурных функций составляет величину порядка 1,33

\tilde{y}_2	\tilde{y}_1	$\phi(\tilde{y}_2)$	$\phi(\tilde{y}_1)$	$\psi(\tilde{y}_2)$	$\psi(\tilde{y}_1)$	$\tilde{D}_{v'v'}$	$\tilde{D}_{u'u'}$	$\frac{\tilde{y}_2 + \tilde{y}_1}{2}$	$\tilde{D}_{v'v'} / \tilde{D}_{u'u'}$
1	0,9	0,41	0,43	0,65	0,66	$2 \cdot 10^{-5}$	0,0002	0,95	0,08
0,819	0,818	0,44	0,44	0,67	0,67	$4 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-8}$	0,82	1,33
0,8	0,6	0,44	0,49	0,67	0,74	0,005	0,002	0,7	2,31
0,6	0,4	0,49	0,56	0,74	0,84	0,011	0,0049	0,5	2,19
0,4	0,45	0,56	0,54	0,84	0,82	$8 \cdot 10^{-4}$	0,0004	0,43	1,78
0,372	0,371	0,57	0,57	0,86	0,86	$3 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-7}$	0,37	1,33
0,2	0,06	0,69	0,87	0,94	0,80	0,021	0,0325	0,13	0,64
0,06	0,02	0,87	0,95	0,80	0,47	0,104	0,0068	0,04	15,4

Вначале производят общую оценку возможных результатов с целью выявления тех областей потока, где возможно проявление искомого нами отношения. Далее проводят более подробный анализ окрестностей точек возможного проявления указанного соотношения (методом минимизации расстояний между измерительными точками).

Искомое отношение относительных пульсационных структурных функций определяют на основе использования координатных частей распределений пульсаций продольной и вертикальной компонент скорости воды. Так как указанные координатные части упомянутых функций не зависят от конкретных условий проводимых натурных опытов, то результат подобного поиска будет практически одинаков. Это не должно вызывать определенных сомнений, так как наши результаты определяются пульсационными соотношениями И.К. Никитина. Надо понимать, что в случае использования других пульсационных соотношений результат может оказаться иным.

Анализ показал (таблица 1), что в реальном турбулентном потоке воды обнаруживаются две точки, в которых выполняется искомое отношение, а именно: $\tilde{y}_{cp} = 0,82$ и $\tilde{y}_{cp} = 0,37$, т.е. именно в этих точках проявляются элементы локальной изотропии турбулентного течения воды. Координата $\tilde{y}_{cp} = 0,37$ примечательна тем, что она практически соответствует координате точки измерения (0,4) средней по сечению потока скорости воды. Что же касается координаты $\tilde{y}_{cp} = 0,82$, то пока найти объяснение этому факту не удастся.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что в реальном турбулентном потоке воды имеют место быть две точки, в которых проявляются элементы локально изотропной турбулентности. Координата одной из этих точек практически совпадает с координатой точки измерения средней по сечению потока скорости воды.

Литература

1. Пресняков К.А., Керимкулова Г.К., Аскалиева Г.О. Сравнительный анализ пульсаций динамического давления и компонент скорости в открытом турбулентном потоке воды // Международный научный форум «Мировая наука и современные вызовы в эпоху глобализации и цифровой трансформации». – Бишкек, 2022г.
2. Никитин И.К. Турбулентный русловой поток и процессы в придонной области. – Киев: Изд-во АН УССР, 1963.–138с.
3. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. – Т.1 . Структура потока. – М.: Госиздат техн.-теор. лит., 1954. –323 с.
4. Пресняков К.А., Керимкулова Г.К. Установление среднеинтегрального профиля скорости воды частично изученного открытого водотока на основе реконструкции эмпирических данных // Проблемы автоматизации и управления.– 2012.– №2.– С. 47–56.