

ГИДРОЛОГИЯ*С.Д. Винников***РАЗРАБОТКА ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ПО ГЛУБИНЕ РЕЧНОГО ПОТОКА ПРИ ЕГО НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ ДВИЖЕНИИ***S.D. Vinnikov***FORMULA DEVELOPMENT FOR COMPUTING OF DISTRIBUTION OF FLOW VELOCITY ACCORDING TO DEPTH OF RIVER FLOW BY ITS UNSTEADY MOVEMENT**

Осуществлена попытка выразить распределение скорости по глубине потока воды при его неустановившемся движении в реке.

Ключевые слова: неустановившееся движение потока воды, распределение скорости по глубине.

The attempt was to express distribution of velocity according to depth of water flow by its unsteady movement in a river with a mathematical formula.

Key words: unsteady movement of water flow, distribution of velocity by depth.

К настоящему времени разработано достаточно большое число математических формул, позволяющих описать профиль скоростей в естественном открытом потоке: параболические, эллиптические, логарифмические и др. Описание их можно найти, например, в работе Г.В. Железнякова [4]. Но все они предназначены для расчета распределения скорости течения по глубине только равномерного потока. Однако гидравлики в своей работе часто встречаются с гидрометрическими задачами, описывающими неустановившееся движение потока: при рассмотрении движения волны паводка или волны при сбросе воды из водохранилища и др. При решении таких задач, за неимением соответствующих формул, пользуются выше названными, что приводит к приближенному решению этих задач.

На основе теоретических разработок и анализа большого экспериментального материала, полученного Государственным гидрологическим институтом во время попусков из Новотверецкого водохранилища на р. Тверце [5] нами ранее была найдена зависимость для расчета средней скорости течения при неустановившемся движении потока [1–3]:

$$v_{cp} = v_{p_{cp}} + \Delta v_{cp}, \quad (1)$$

где v_{cp} и $v_{p,cp}$ – средние скорости соответственно при неустановившемся и равномерном движениях потока; Δv_{cp} – приращение скорости, обусловленное разностью уклонов водной поверхности потоков при неустановившемся (I) и равномерном (i_p) движениях при одинаковой глубине потока H .

Слагаемые в (1) рекомендуется определять по формуле Шези

$$v_{p,cp} = C\sqrt{Hi_p}, \quad (2)$$

где C – коэффициент Шези, и по формуле

$$\Delta v_{cp} = \alpha_{1_{н,с}} i_p \Delta I, \quad (3)$$

где коэффициенты $\alpha_{1_{н}} = 1,3 \cdot 10^7$ м/с и $\alpha_{1_{с}} = 2,3 \cdot 10^7$ м/с отвечают соответственно периодам подъема и спада уровня воды при неустановившемся движении потока; $\Delta I = I - i_p$.

Теперь воспользуемся упомянутыми выше материалами [5] для вывода формулы, позволяющей описать распределение скорости по глубине потока при его неустановившемся движении.

Учитывая структуру формулы (1), можно предположить, что разрабатываемая формула должна иметь вид

$$v = v_p + \Delta v, \quad (4)$$

где v и v_p – скорости потока в точке при неустановившемся и равномерном движениях; приращение скорости $\Delta v = v - v_p = f(\Delta I)$, где $f(\Delta I)$ – функция распределения уклонов ($\Delta I = I_k - i_p$) по глубине потока; I_k – уклон k -й линии тока потока.

Нам известно, что в фазе подъема уровня воды при паводке линии тока потока сходятся. Поэтому уклоны I_k , соответствующие этим линиям, будут убывать от наибольшего на поверхности ($I_{пов}$) до наименьшего у дна ($I_{д}$), т. е. до $I_{д} = i_p$. При этом разность уклонов ΔI будет иметь положительный знак не в фазе подъема уровня воды, а в фазе спада уровня, в связи с тем, что линии тока расходятся и соответственно $I_k < i_p$ – отрицательный.

Анализ гидродинамического уравнения системы Сен-Венана показал [1], что разность уклонов ΔI не зависит от физических свойств воды, поэтому изменение этой разности по глубине потока от ΔI_{max} на его поверхности до $\Delta I = 0$ на дне принято по прямой. Учитывая это, запишем как и в (1), что $\Delta v = f(\Delta I)$, т.е. приращение скорости за счет неустановившегося движения также изменяется с глубиной по прямой. А с учетом этого положения можем записать:

$$\Delta v = 2\eta \Delta v_{cp}, \quad (5)$$

где Δv_{cp} определяется по формуле (3); η – относительная глубина потока.

С целью определения в (4) скорости v_p воспользуемся, например, параболической формулой вида:

$$v_p = v_{p_{max}} \eta^{1/m}, \quad (6)$$

где v_p и $v_{p_{max}}$ – соответственно скорости в точке и на поверхности равномерного потока в гидростворе при отметке водной поверхности z , соответствующей отметке при его неустановившемся движении; m – показатель степени; по данным Г.В. Железнякова [3] его можно принять при развитом турбулентном движении потока равным 6. Тогда формула (4) с учетом (5) и (6) примет следующий вид:

$$v = v_{p_{max}} \eta^{1/m} + 2\eta \Delta v_{cp}. \quad (7)$$

Апробация формулы (7) осуществлена на материалах, опубликованных в [5]. Сопоставлялись средние и максимальные скорости, наблюдавшиеся в р. Тверце в гидростворе № 2. Рассчитанные средние скорости получены завышенными до $\pm 15\%$, а максимальные – до $\pm 25\%$. Полученные результаты обнадеживают, если учесть что: 1) сравнение выполнялось с осредненными значениями скорости по сечению реки; 2) в расчетах использовались данные об уклоне водной поверхности, который, как известно, измеряется до сих пор с невысокой точностью; 3) в формуле используется коэффициент α , требующий уточнения из-за своей физической неопределенности и недостаточного материала, положенного в его определение.

В заключение поясним, как задать в (7) скорость при равномерном движении потока $v_{p_{max}}$. Мы видим два варианта. Во-первых, можно приравнять формулы (2) и (6) с учетом того, что средние значения скорости по ним определяются на глубине $\eta = 0,4$, отсчитывая от дна. Во-вторых, если известна однозначная кривая скоростей (расходов воды), то по заданной отметке z находим значение v_p , а затем по формуле (6) и $v_{p_{max}}$. Второй вариант и был нами применен в расчетах.

Литература

1. Винников С.Д. Исследование гидравлических характеристик речного потока на примере р. Тверцы // Доклады VI Всероссийского гидрологического съезда. Секция 6 – Проблемы русловых процессов, эрозии и наносов. – М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006, с. 110–114.
2. Винников С.Д. Некоторые аспекты речной гидравлики // Уч. зап. РГГМУ, 2007, № 4, с. 67–76.
3. Винников С.Д. Расчет уровней при неустановившемся движении воды в канале // Уч. зап. РГГМУ, 2008, № 7, с. 36–41.
4. Железняков Г.В. Теория гидрометрии. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 343 с.
5. Исследования неустановившегося движения воды на реках Тверце и Ордеж. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 288 с.