

УДК 551.482

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ПРИТОКА В ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Марс Т. Нарбаев

Предлагается формула для определения расхода притока в водохранилище.

Если поперечное сечение потока расположено перпендикулярно по направлению скорости, и совпадает с живым сечением потока, то расход притока в водохранилище определяется по формуле [2 – 5]:

$$Q = \int_0^w vdw, \tag{1}$$

где v – скорость потока в пределах элементарной площадки, dw – величина элементарной площадки.

Положив в основу методику определения расхода притока в водохранилище, необходимо специально устанавливать расположение живого сечения в потоке так, чтобы на всех элементарных площадках скоростной вектор был направлен по нормали, тогда уравнение (1) можно представить в следующем виде, учитывая, что $dw = dhdb$:

$$Q = \int_0^b \int_0^h vdhdb = \int_0^b qdb. \tag{2}$$

Далее, для непосредственного определения расхода притока в водохранилище необходимо измерять кинематические и геометрические элементы потока. Для этого, аппроксимируя интеграл (2), записываем уравнение в следующем виде:

$$Q = kq_1b_1 + \frac{q_1 + q_2}{2}b_2 + \dots + \frac{q_{n-1} + q_n}{2}b_n + kq_nb_{n+1}, \tag{3}$$

где q_1, q_2, \dots, q_n – расходы воды на вертикалях, м²/с; $b_1, b_2, \dots, b_n, b_{n+1}$ – расстояние между вертикалями, м; k – коэффициент для скоростей на прибрежных вертикалях, принимаемый 0,7 при пологом берегу с $h = 0$ на урезе, 0,8 – при обрывистом берегу реки или неровной стенке канала, 0,9 – при гладкой бетонной стенке канала.

Расходы на вертикалях вычисляют по следующей формуле:

$$q = V_{cp} \cdot h, \quad (4)$$

где V_{cp} – средняя скорость на вертикалях, м/с; h – глубина отдельных вертикалей, м.

Одной из наиболее ответственных и сложных задач при определении элементарных расходов воды (расходы воды на вертикалях) является средняя скорость на вертикалях. Распределение скоростей течения воды в открытых русловых потоках может быть весьма разнообразным. Это зависит от типа питания реки, морфологических особенностей, шероховатости русла и уклона водной поверхности. При всем разнообразии указанных выше факторов существуют некоторые общие закономерности в распределении скоростей по глубине и ширине русла реки и канала.

Для математического выражения распределения продольных скоростей на различных глубинах по вертикали, в разное время разными авторами, были предложены различные формулы и зависимости. Наибольшее распространение получило уравнение параболы и эллипса, на базе которых выведены эмпирические и теоретические формулы.

Поскольку скоростные точки располагаются по определенной системе, то определение площади эпюры скорости для определения средней скорости на вертикали, может быть сделано графоаналитическим способом, путем разбивки площади эпюры горизонтальными линиями на части, которые могут быть приближенно приняты за трапеции. Пусть имеются скорости, измеренные в пяти стандартных точках на вертикали открытого потока. В этом случае расход воды на вертикали можно представить как сумму площадей четырех трапеций [2 – 5]:

$$Q = 0,5(V_{нов} + V_{0,2h}) \cdot 0,2h + 0,5(V_{0,2h} + V_{0,6h}) \cdot 0,4h + 0,5(V_{0,6h} + V_{0,8h}) \cdot 0,2h + 0,5(V_{0,8h} + V_{дон}) \cdot 0,2h \quad (5)$$

После приведения подобных членов и деления на глубину h получается:

$$V_{cp} = 0,1(V_{нов} + 3V_{0,2h} + 3V_{0,6h} + 2V_{0,8h} + V_{дон}). \quad (6)$$

Скоростям на глубинах $0,2h$, $0,6h$ и $0,8h$ придаются веса (коэффициенты) больше единицы, формула (6) рекомендуется для открытого потока без развитой растительности.

Для тех же условий, лишь с различными весовыми коэффициентами предлагаются:

Формула Симпсона

$$V_{cp} = 0,05V_{нов} + 0,347(V_{0,2h} + V_{0,6h}) + 0,173V_{0,8h} + 0,083V_{дон}. \quad (7)$$

Формула Мелентьева

$$V_{cp} = 0,049V_{нов} + 0,344(V_{0,2h} + V_{0,6h}) + 0,171V_{0,8h} + 0,082V_{дон}. \quad (8)$$

Таким образом, приведенные формулы (6), (7) и (8) получены путем суммирования площадей четырех трапеций, лишь с различными весовыми коэффициентами, что показывает их невысокую точность.

Из изложенного выше следует, что распределение скоростей потока по вертикали (эпюра скорости) может быть получена по фактически измеренным данным. Часто возникает необходимость получить распределение скоростей в точках по глубине и среднюю скорость на вертикали при отсутствии данных измерений, основываясь на теоретических положениях. В этом случае исходными данными являются: поверхностная скорость, шероховатость русла и уклон реки. Применение таких зависимостей имеет большое практическое значение, так как методика определения коэффициента Шези разработана достаточно полно, а значение поверхностной скорости практически нетрудно определить, не производя детальных измерений по глубине, некоторые из этих формул приводятся в таблице.

Недостатками указанных в таблице формул является определение средней скорости на вертикали по одной измеренной скорости ($V_{нов}$) и невозможности точного определения других параметров русла реки.

В связи с этим возникла необходимость в разработке такого подхода, который обеспечивал бы достаточную точность при прочих равных условиях. Как было неоднократно отмечено выше, для математического выражения распределения продольных скоростей на различных глубинах чаще всего используют уравнения параболы разных степеней с горизонтальными и вертикальными осями.

Чтобы проверить указанное положение для предгорных и горных рек Южного Казахстана, необходимо:

1. Осуществить выбор уравнения профиля скоростей турбулентного потока.
2. Разработать предложение по определению средней скорости на скоростной вертикали.

Исследования по определению продольных скоростей течения воды в открытых русловых потоках на различных глубинах проводились на р. Талас и обводном канале ниже Таласской плотины на расстоянии 200 м на специально оборудованных гидрометрических мостиках.

Далее по общеизвестной методике устанавливались скорости течения воды в точках [2 – 5]. По данным измерений скоростей в точках на каждой скоростной вертикали строились эпюры скоростей, для чего точки измерения откладывались на определенных глубинах, а концы векторов обозначались звездочками и к ним подбиралась теоретическая кривая, соответствующая форме профиля скоростей (рисунок).

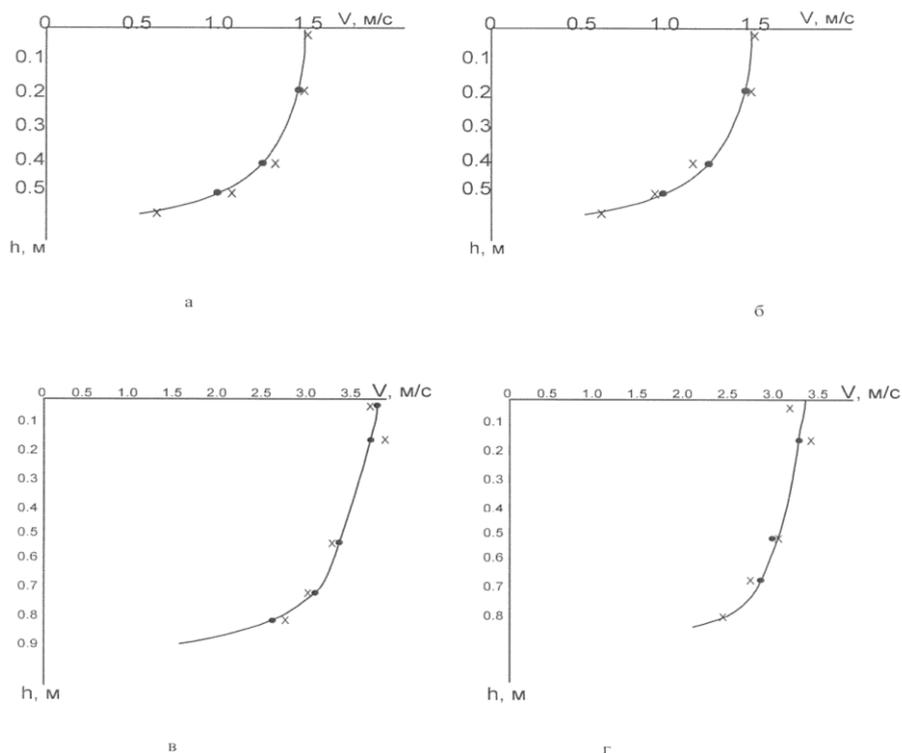


Рис. Характерные эпюры профилей скорости на р. Талас и обводном канале. а, б – на р. Талас; в, г – на обводном канале ниже Таласской плотины; x – натурные данные, • – теоретические данные.

Приведенные характерные эпюры получены по результатам многолетних натурных исследований на р. Талас и обводном канале (бетонный канал, $b = 10$ м). Таким образом установлено, что распределение продольных скоростей на различных по вертикали глубинах в открытых рус-

ловых потоках достаточно хорошо описывается уравнением параболы различной степени [3]:

$$V_i = V_{нов} \sqrt[n]{\left(1 - \frac{y}{h}\right)}, \quad (9)$$

где V_i – скорость течения воды в характерных точках, м/с; $V_{нов}$ – скорость на поверхности, м/с; y – расстояние от поверхности воды до точки со скоростью V_i , м; h – глубина вертикали, м; n – показатель степени.

Полученные эпюры в одном и том же створе, в различные годы на р. Талас соответствуют уравнению параболы 3...5 степени (рис. а, б), а на обводном канале соответствуют уравнению параболы 8...10 степени (рис. в, г). Особенностью эпюр в обводном канале является небольшая разница поверхностных и донных скоростей, связанная с донной шероховатостью искусственных сооружений. Следовательно, заранее определив форму кривой распределения скоростей, т.е. уравнение параболических трапеций, можно записать общую площадь криволинейной трапеции [1, 6]:

$$\int_a^b y dz = \frac{h}{3} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \dots + 2y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n). \quad (10)$$

Если указанное уравнение разбить на пять ординат (при $n = 2$; $h = \frac{b-a}{n}$) и разделить его на длину принятых равных частей, то можно получить приближенную формулу для определения средней линии криволинейной трапеции:

$$y_{cp} = \frac{1}{6} (y_0 + 4y_1 + y_2). \quad (11)$$

Преобразовав уравнение (11), относительно эпюры скоростей с вертикальной осью, получим:

$$V_{cp} = \frac{1}{6} (V_{нов} + 4V_{cp.усл} + V_{дон}), \quad (12)$$

где $V_{нов}$ – скорость на поверхности, м/с, $V_{дон}$ – донная скорость, м/с; $V_{cp.усл}$ – условная средняя скорость параболической трапеции, м/с.

Условную среднюю скорость параболической трапеции на скоростной вертикали предлагается вычислять:

$$V_{cp.усл} = \sqrt{\frac{V_{нов}^2 + V_{дон}^2}{2}}. \quad (13)$$

Далее подставляя формулу (13) в (12), окончательно получим среднюю скорость параболической трапеции с вертикальной осью:

$$V_{cp} = \frac{1}{6} \left(V_{нов} + 2\sqrt{2(V_{нов}^2 + V_{дон}^2)} + V_{дон} \right). \quad (14)$$

Результаты определения V_{cp} по формуле (14) и формулам (6), (7), (8) дают близкие значения, расхождения не превышают 10 %, что вполне допустимо в водохозяйственных и водно-энергетических расчетах [7].

Таблица

Сравнение результатов расчетов различными формулами

Автор	Формула	V_{cp} , м/с	% отклонения
Гириллович Н.А.	$V_{cp} = 0,1(V_{нов} + 3V_{0,2h} + 3V_{0,6h} + 2V_{0,8h} + V_{дон})$	0,70	0,00
Железняков Г.В.	$V_{cp} = V_{нов} \left(\frac{m}{1+m} \right)$	0,68	2,86
Караушев А.В.	а $V_{cp} = V_{нов} \sqrt{1 - P \left(\frac{y}{h} \right)^2}$	0,69	1,43
	б $V_{cp} = \sqrt{\frac{V_{нов}^2 \cdot PC}{M}}$	0,68	2,86
	в $V_{cp} = \frac{V_{нов}}{1 + m/3c}$	0,68	2,86
	г $V_{cp} = \frac{V_{нов} \cdot (C-1)}{1,11 \cdot C}$	0,69	1,43
Предлагаемая формула	$V_{cp} = \frac{1}{6} \left(V_{нов} + 2\sqrt{2(V_{нов}^2 + V_{дон}^2)} + V_{дон} \right)$	0,68	2,86

Выводы

1. Установлено, что распределение продольных скоростей на различных по вертикали глубинах в открытых русловых потоках достаточно хорошо описывается уравнением параболической трапеции различной степени.
2. Профиль скорости течения воды в русле р. Талас описывается уравнением параболической трапеции с показателем степени $n = 3...5$, а в обводном канале (искусственное сооружение) с показателем степени $n = 8...10$,

что подтверждает теоретические исследования Н.А. Гирилловича, Г.В. Железнякова и др.

3. Предлагается формула для определения средней скорости течения воды на скоростной вертикали, которая ускоряет время измерения скоростей и повышает точность расчета.
4. Результаты натурных и теоретических исследований дают близкие результаты, расхождения не превышают 10 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: «Наука», 1968. – 608 с.
2. Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 447 с.
3. Гириллович Н.А. Гидрометрия. М.-Л.: «ОНТИ НТКП СССР», 1937. – 328 с.
4. Железняков Г.В. Гидрометрия. М.: Изд-во «Колос», 1972. – 255 с.
5. Железняков Г.В. Теория гидрометрии. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 343 с.
6. Смирнов А.В. Курс высшей математики. – Т.1.–М.: Наука, 1974. – 479 с.
7. СНиП 2.01.14.83. Определение расчетных гидрологических характеристик. Государственный комитет по делам строительства. – М., 1985. – 36 с.

Алматинский гуманитарно-технический университет, г. Алматы

СУ ҚОЙМАСЫНА АҒЫН ӨТІМІН АНЫҚТАУДЫҢ ӘДІСТЕМЕЛІГІН ЖЕТІЛДЕРУ

Марс Т. Нарбаев

Зерттеулердің нәтижесінде су қоймасына ағын өтімін анықтауға формула ұсынылған.