

УДК 556.342

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДОННЫХ СКОРОСТЕЙ ОТКРЫТОГО ПОТОКА**

|                    |                 |
|--------------------|-----------------|
|                    | К.Т. Нарбаева   |
| Канд. геогр. наук. | Г.К. Исмаилова  |
| Канд. геогр. наук. | Марс Т. Нарбаев |
| Канд. геогр. наук. | Т.И. Нарбаев    |

*Предлагаются формулы для определения донной скорости течения воды открытого потока без учета, а также с учетом коэффициента шероховатости русла реки.*

Донные скорости открытых потоков являются важной кинематической характеристикой. Вопрос о расчете донных скоростей рассмотрен в работе [3], где, в частности, обращено внимание на важность его при гидравлических расчетах гидротехнических сооружений, строительство автомобильных и железнодорожных мостов, а также транспортирующей способности потока.

В работе [2] показывается несовершенство методики изучения движения донных наносов именно в связи с тем, что исследователи мало уделяли внимания донным скоростям. Изучению донных скоростей посвящено сравнительно небольшое число исследований, поэтому этот вопрос не имеет окончательного решения. Достаточно указать, что до настоящего времени нет ясности в том, на какой глубине следует измерять донную скорость, наилучшим образом характеризующую деформацию дна потока.

Исследованиями И.К. Никитина [8] установлено, что на глубине, где продольная составляющая пульсационной скорости имеет максимум, наблюдается максимальное значение коэффициента корреляции между продольными и вертикальными составляющими скорости, и, следовательно, можно предположить, что скорость, соответствующая этой глубине, будет удовлетворительно характеризовать взаимодействие потока с подвижным дном.

Дальнейшее теоретическое развитие этого положения получило в работе Г.В. Железнякова [4], где вопрос необходимой глубины измерения донной скорости, настолько теоритизирован, что его применение на практике затруднено. Поэтому на практике донная скорость измеряется на ско-

ростной вертикали на расстоянии 7...10 см от дна реки в зависимости от размера лопастного винта гидрометрической вертушки.

При невозможности детальных измерений с помощью вертушек (при отсутствии или неисправности вертушек, аварийном состоянии гидрометрической переправы, малых глубинах и т.д.) для установления донной скорости необходимо предварительно определить профиль осредненных скоростей течения воды. Распределение скоростей течения воды в потоке может быть разнообразным в зависимости от типа реки (горная, равнинная и др.), морфологических особенностей, шероховатости русла и уклона водной поверхности. При всем разнообразии указанных выше факторов существуют общие закономерности в распределении скоростей по глубине.

Для математического выражения линии профиля скоростей были предложены многочисленные формулы, в частности уравнение параболы, эллипса, гиперболы, логарифмической кривой и для каждого из этих случаев имеются формулы для определения скорости течения воды в точках на скоростной вертикали.

Для описания профиля осредненных скоростей течения воды, наиболее широкое распространение получило уравнение параболы с переменным показателем [2, 3, 4, 8]. Это также подтверждается натурными исследованиями, проведенными М.Т. Нарбаевым на р. Талас (горная река) и в обводном канале (бетонный канал с размерами 6,0×1,5 м) ниже Таласской плотины, на расстоянии примерно 200 м, на специализированном гидрометрическом мостике [6, 7].

На основании проведенных натурных исследований получена формула для определения донной скорости открытого потока следующего вида:

$$V_{дон} = \frac{V_{пов}}{\sqrt{h' + 1}} \mu, \quad (1)$$

где  $V_{пов}$  – поверхностная скорость, м/с;  $h'$  – глубина измерения донной скорости от поверхности воды, м;  $\mu$  – коэффициент, учитывающий соответствие натуральных и теоретических точек, равен  $\mu = 1,03$ .

Глубина измерения донной скорости от поверхности воды устанавливается:

$$h' = h - (0,07 \div 0,10), \quad (2)$$

где  $h$  – глубина скоростных вертикалей, м;  $(0,07 \div 0,10)$  – расстояние от дна на скоростной вертикали до оси вертушки в зависимости от размера лопастного винта гидрометрической вертушки, м.

Таблица 1

## Результаты проведенных натурных исследований на обводном канале

| № пром. вертикали  | № скоростной вертикали | Расстояние от поста начала, м | Измерение глубины, м | Точки измерения у поверхности и на дне | Продолжительность измерения, с | Число сигналов, к | Общее число оборотов лопасти винта, N | Число оборотов лопасти винта в 1с, об/с | Скорость в точке, м/с | Лонная скорость по формуле (1), $V_{лон}^M$ , м/с |
|--------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------|--|--------------------------------|-------------------|---------------------------------------|---|-----------------------|---|
| Урез левого борта  | 1                      | 0,00                          | 1,15                 | -                                      | -                              | -                 | -                                     | -                                       | -                     | -   |
| 1                  | 1                      | 1,00                          | 1,15                 | 1,08<br>0,07                           | 101<br>99                      | 66<br>48          | 1320<br>960                           | 1310<br>969                             | 3,09<br>2,32          | -<br>2,15   |
| 2                  | 2                      | 2,00                          | 1,15                 | 1,08<br>0,07                           | 99<br>98                       | 70<br>52          | 1400<br>1040                          | 14,16<br>10,6                           | 3,32<br>2,50          | -<br>2,37   |
| 3                  | 3                      | 3,00                          | 1,15                 | 1,08<br>0,07                           | 99<br>101                      | 80<br>58          | 1600<br>1160                          | 16,20<br>11,48                          | 3,76<br>2,71          | -<br>2,69   |
| 4                  | 4                      | 4,00                          | 1,15                 | 1,08<br>0,07                           | 99<br>99                       | 76<br>54          | 1520<br>1080                          | 15,34<br>10,9                           | 3,56<br>2,60          | -<br>2,55   |
| 5                  | 5                      | 5,00                          | 1,15                 | 1,08<br>0,07                           | 101<br>99                      | 68<br>48          | 1360<br>960                           | 13,46<br>9,70                           | 3,13<br>2,39          | -<br>2,24   |
| Урез правого борта |                        | 6,00                          | 1,15                 | -                                      | -                              | -                 | -                                     | -                                       | -                     | -   |

Таблица 2

## Результаты проведенных натурных исследований на р. Галас

| № пром. вертикали  | № скоростной вертикали | Расстояние от поста начала, м | Измерение глубины, м | Точки измерения у поверхности и на дне | Продолжительность измерения, с | Число сигналов, к | Общее число оборотов лопасти винта, N | Число оборотов лопасти винта в 1с, об/с | Скорость в точке, м/с | Длина скоростной формулы (1), $V_{дон}$ м/с |
|--------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------|--|--------------------------------|-------------------|---------------------------------------|---|-----------------------|---|
| Урез левого борга  |                        |                               |                      |  |                                |                   |                                       |   |                       |   |
|                    |                        | 0,00                          | -                    | -                                      | -                              | -                 | -                                     | -                                       | -                     | -   |
| 1                  | 1                      | 2,00                          | 0,52                 | 0,45<br>0,07                           | 101<br>98                      | 19<br>4           | 380<br>80                             | 3,76<br>1,00                            | 0,86<br>0,18          | 0,18  |
| 2                  | 2                      | 8,00                          | 0,64                 | 0,57<br>0,07                           | 99<br>98                       | 24<br>6           | 480<br>120                            | 4,85<br>1,22                            | 1,14<br>0,23          | -<br>0,22                                   |
| 14                 | 6                      | 14,00                         | 0,85                 | 0,78                                   | 102                            | 34                | 680                                   | 6,66                                    | 1,61                  | -   |
| 20                 | 8                      | 20,00                         | 0,59                 | 0,07<br>0,52                           | 100<br>102                     | 8<br>26           | 160<br>520                            | 1,60<br>5,09                            | 0,29<br>1,24          | 0,26<br>-                                   |
| 26                 | 10                     | 26,00                         | 0,47                 | 0,07<br>0,40                           | 98<br>107                      | 6<br>16           | 120<br>320                            | 1,22<br>2,99                            | 0,23<br>0,65          | 0,24<br>-                                   |
| Урез правого борга |                        |                               |                      |  |                                |                   |                                       |   |                       |   |
|                    |                        | 28,60                         | -                    | -                                      | 97                             | 4                 | 80                                    | 0,82                                    | 0,15                  | 0,15  |
|                    |                        |                               |                      |  | -                              | -                 | -                                     | -                                       | -                     | -   |

Таблица 3

Значения скоростей течения в различных точках скоростных вертикалей гидроствора. [1]

| №<br>п/п | Измерение<br>глубины, м | Глубина погружения вертушки |                    | Измеренная<br>скорость в<br>точке ( $V_{изм}$ ),<br>м/с | Скорость по<br>формуле (1)<br>$V_{дон}$ , м/с | Процент отклонения<br>$\frac{V_{изм} - V_{дон}}{V_{изм}} \cdot 100$ ,<br>% |
|----------|-------------------------|-----------------------------|--------------------|---|---|--|
|          |                         | точка<br>наблюдения         | глубина ( $h$ ), м |   |   |  |
| 1        | 1,70                    | поверхность<br>дно          | 0,10               | 0,444   | -   |  |
|          |                         |                             | 1,60               | 0,291   | 0,284   | +1,41  |
| 2        | 2,40                    | поверхность<br>дно          | 0,10               | 0,934   | -   |  |
|          |                         |                             | 2,30               | 0,559   | 0,528   | +5,55  |
| 3        | 2,05                    | поверхность<br>дно          | 0,10               | 0,844   | -   |  |
|          |                         |                             | 1,90               | 0,553   | 0,511   | +7,59  |
| 4        | 1,70                    | поверхность<br>дно          | 0,10               | 0,803   | -   |  |
|          |                         |                             | 1,60               | 0,479   | 0,514   | -7,30  |
| 5        | 1,42                    | поверхность<br>дно          | 0,10               | 0,642   | -   |  |
|          |                         |                             | 1,32               | 0,404   | 0,435   | -7,67  |
| 6        | 1,61                    | поверхность<br>дно          | 0,10               | 0,558   | -   |  |
|          |                         |                             | 1,51               | 0,337   | 0,363   | -7,71  |

Донную скорость открытого потока с учетом коэффициента шероховатости дна предлагается устанавливать:

$$V_{дон} = \frac{V_{нов}}{\sqrt{\frac{1}{n} h' + 1}} \mu, \quad (3)$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости, определяемый по работе [7], для естественных водотоков (по М.Ф. Срибному) равен 0,020...0,200.

Результаты натурных и теоретических исследований на р. Талас и в обводном канале приводятся в табл. 1 и 2. Сравнительные расчеты дают близкие результаты, расхождения не превышает 10 %, что вполне допустимо в водохозяйственных расчетах.

Следует отметить, что р. Талас относится к рекам горного происхождения. Шероховатость русла ( $n$ ) реки в указанном створе проведенных исследований равна 0,020 (табл. 2).

Далее для того, чтобы удостовериться в результатах проведенных натурных и теоретических исследований рассмотрим пример, заимствованный из работы В.В. Большакова и А.Н. Иванова (Табл. 3) [1].

#### Выводы

1. Предложена формула для определения донной скорости течения воды без учета и с учетом шероховатости русла реки.
2. Предложенная формула для расчета донной скорости течения воды ускоряет время её измерения и повышает точность расчета.
3. Проведенные натурные и теоретические исследования дают близкие результаты, расхождения не превышают 10 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большакова В.В., Иванов А.Н. Сборник задач по гидрометрии инженерной гидрологии и регулированию стока. – М.: Высшая школа, 1975. – 184 с.
2. Великанов М.А. Русловой процесс. – М.: Физматгиз, 1958. – 396 с.
3. Железняков Г.В. Гидравлическое обоснование методов речной гидрометрии. – М.: Изд. АН СССР, 1950. – 164. с.
4. Железняков Г.В. Теория гидрометрии. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 343 с.
5. Лучшева А.А. Практическая гидрометрия. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 381 с.
6. Нарбаев М.Т. Об определении средней скорости течения воды на вертикали. // Вестник сельскохозяйственной науки. – 2002. – №9. – С. 37-39.

7. Нарбаев М.Т., Нарбаева К.Т., Исмаилова Г.К., Нарбаев Т.И. О профилях скоростей течения воды в открытых русловых потоках. // Вестник АГТУ. – 2008. – №1. – С. 84 – 86.
8. Никитин И.К. Турбулентный русловой поток и процессы в природной области. – Киев: Изд. АН УССР, 1963. – 142 с.

Казахский Национальный Аграрный Университет, г. Алматы  
Казахский Национальный Технический Университет, г. Алматы

#### **АШЫҚ АРНАЛАРДАҒЫ ТҮПКІ ЖЫЛДАМДЫҚТЫ ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕМЕСІ**

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
|                      | К.Т. Нарбаева   |
| Геогр. ғылымд. канд. | Г.К. Исмаилова  |
| Геогр. ғылымд. канд. | Марс Т. Нарбаев |
| Геогр. ғылымд. канд. | Т.И. Нарбаев    |

*Су ағындысы тіктіктеріндегі түпкі жылдамдықты есептеуге түпкі кедір-бұдырлықты ескермейтін және ескеретін формулалар ұсынылған.*