

УДК 556.536

## НАТУРНОЕ ПОДОБИЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

В. Е. СЕРГУТИН

Красноярский инженерно-строительный институт

Геометрическое подобие открытых речных, в том числе лесосплавных и судоходных, потоков не влечет за собой подобия элементов гидравлики и морфометрии. Так, относительная ширина, различная для рек разной водности и условий протекания, зависит от многих факторов вплоть до размера частиц взвешенных наносов. Это отражено во многих источниках, например [2, 6]. Моделирование, при котором условия подобия получены с использованием морфометрических зависимостей, называется натурным. Его основы заложены М. А. Великановым [1]. Суть моделирования состоит в том, что естественные реки малых размеров могут рассматриваться как модели крупных потоков. В Среднеазиатском НИИ ирригации в 1978—1985 гг. был выполнен цикл лабораторных исследований. Опыты, проведенные в разных масштабах, показали, что при искажении последних невозможно достичь подобия руслового процесса на модели и в натуре.

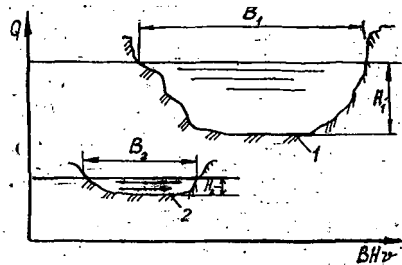


Рис. 1. Гидравлическая аналогия  
натурного (1) и модельного (2)  
потоков

В данной статье приняты обозначения:

$Q, ВНv$  — соответственно фактический и фиктивный расход открытого потока;

$B, H$  — наибольшие ширина и глубина потока (рис. 1);

$v$  — средняя скорость потока,  $v = Q/\omega$ ;

$\omega$  — площадь поперечного сечения потока;

$h$  — средняя глубина,  $h = \omega/B$ ;

$\epsilon$  — показатель формы сечения,  $\epsilon = H/h$ ;

$W$  — объем стока за время  $t$ ;

$\gamma$  — плотность воды;

$p$  — гидравлическая обеспеченность расхода,  $p = [m/(n + 1)] 100\%$ ;

$m, n$  — порядковый номер в ряду наблюдений, составленном в убывающем порядке, и число членов ряда (СНиП 2.01.14—83).

Связь между  $Q$  и  $ВНv$  показана на рис. 2 [4—6]. Она выражается формулой

$$\frac{Q}{ВНv} = \text{idem} = K. \quad (1)$$

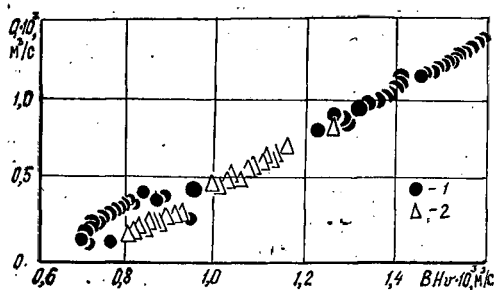


Рис. 2. Исходные данные по натурному подобию для гидравлического моделирования. Характерный пример по р. Иртыш: 1 — с. Аблакетка (расстояние от устья 3068 км, площадь водосбора 147 000 км<sup>2</sup>); 2 — с. Камышенка (3414 км, 113 000 км<sup>2</sup>)

Постоянство этого отношения при разных уровнях и расходах до выхода потока на пойму дает основание считать, что гидравлически подобны два потока, у которых отношение расходов  $Q$  и  $BHv$  одинаково. Это служит основой для натурального естественного подобия:

$$\left(\frac{Q}{BHv}\right)_1 = \left(\frac{Q}{BHv}\right)_2, \quad (2)$$

где индексы 1 и 2 относятся соответственно к аналогу, принятому за образец, и к лабораторной модели. Не вызывает сомнения тождество или пропорциональность расхода воды и ее массы  $Q \sim \gamma W$ , поэтому моделирование по расходу, как и по Фруду ( $v^2/gh = idem$ ), основывается на учете силы тяжести как главной действующей силы. В развитие сказанного получим связи между элементами натурального аналога и лабораторного модельного потока:

$$\left. \begin{aligned} \frac{B_2}{B_1} &= \frac{(Hv)_1}{(Hv)_2} \frac{Q_2}{Q_1}; \\ \frac{H_2}{H_1} &= \frac{(Bv)_1}{(Bv)_2} \frac{Q_2}{Q_1}; \\ \frac{v_2}{v_1} &= \frac{(BH)_1}{(BH)_2} \frac{Q_2}{Q_1} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

откуда искомые величины для модели

$$\left. \begin{aligned} B_2 &= \left[ \frac{(Hv)_1}{(Hv)_2} \frac{Q_2}{Q_1} \right] B_1; \\ H_2 &= \left[ \frac{(Bv)_1}{(Bv)_2} \frac{Q_2}{Q_1} \right] H_1; \\ v_2 &= \left[ \frac{(BH)_1}{(BH)_2} \frac{Q_2}{Q_1} \right] v_1. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Новые элементы морфометрии русла  $B$  и  $H$  и гидравлики потока  $v$  должны соответствовать новым относительной его ширине  $B/h$  и форме сечения  $\epsilon$  которые определяются по натурным данным аналога при расходе, равном выбранному  $Q_1$ .

При графическом решении вначале строят гидрограф стока естественной реки (аналога) для года заданной водности, затем назначают гидрологическую обеспеченность расхода  $p$ , %, которая позволяет на гидрографе выбрать его расчетную величину. Далее находят связь между фактическими и фиктивными расходами, прямолинейная аппроксимация, которой должна служить основанием для расчета ширины, максимальной глубины в сечении и наибольшей поверхностной скорости потока. Вычисленные параметры дают возможность определить и схематизированную площадь живого сечения нового потока на модели.

$$\omega_2 = [1/(\epsilon_2 + 1)](BH)_2,$$

а затем — среднюю скорость  $(Q/\omega)_2$  и среднюю глубину  $(\omega/B)_2$ . Показатель формы сечения  $\epsilon = H/h - 1$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Великанов М. А. Морфометрия равнинных рек как основа моделирования руслового процесса // Тр. III Всесоюз. гидрологического съезда.—Л., 1960.—Т. 5.—С. 262—270. [2]. Знаменская Н. С. Противоречия в области моделирования // Донные наносы и русловые процессы.—Л.: Гидрометеоздат, 1976.—С. 192. [3]. Сергутин В. Е. Эмпирические связи фактических и фиктивных расходов для рек Ангаро-Енисейского бассейна // Энергетика.—1976.—№ 6.—С. 103—109.—(Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Сергутин В. Е. О гидравлико-гидрологическом способе измерения расхода открытых потоков // Метеорология и гидрология.—1976.—№ 6.—С. 72—76. [5]. Сергутин В. Е. Приближенный способ измерения расхода воды в речном потоке // Лесн. журн.—1978.—№ 2.—С. 61—68.—(Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Штеренлихт Д. В. Основы моделирования гидравлических явлений. // Гидравлика.—М.: Энергоатомиздат, 1984.—С. 581.

Поступила 12 мая 1992 г.