

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

ԼԵ ՈՂՈՔ ԿՄԻ

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОЙ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО
 ПРОФИЛЯ РУСЛА РЕКИ НА ЕГО ПОВОРОТЕ

Расчет устойчивой формы поперечного сечения русла реки на его повороте можно произвести, используя условие динамического равновесия частицы, лежащей на откосе водовода и находящейся под действием собственного веса, силы трения и динамических сил, возникающих от продольных и поперечных скоростей в придонном слое потока. Исходя из этого и используя условия неразрывности скоростей, многими исследователями [2—4] получено дифференциальное уравнение устойчивой формы поперечного сечения русла на его повороте.

Наша цель—произвести расчет по существующим методам для конкретных условий местности, сопоставить результаты теоретических расчетов с натурными (модельными) данными и на этой основе сделать соответствующие практические выводы.

Дифференциальное уравнение устойчивой формы русла на повороте водовода можно представить в следующем виде [2]:

$$\frac{dh_1}{dx_1} = \frac{b}{m_0 h_m} \left[-\frac{v_x}{v} h_1 + \sqrt{1 - \left| 1 - \left(\frac{v_x}{v} \right)^2 - \left(\frac{v_H}{v} \right)^2 \right| h^2} \right], \quad (1)$$

где $h_1 = h_1/h_m$, $x_1 = x/b$ — относительные координаты, которые изменяются в пределах от 0 до 1 (см. рис. 1); b — полуширина русла по урезу; h_m — максимальная глубина в русле:

$$v = \sqrt{v_z^2 + v_x^2 + v_H^2}, \quad (2)$$

v_z — продольная скорость в данной точке течения; v_x — поперечная горизонтальная скорость; v_H — вертикальная скорость; m_0 — коэффициент естественного откоса грунта под водой.

Введем обозначения:

$$\frac{b}{m_0 h_m} = D; \quad \frac{v_x}{v} = k_1; \quad \frac{v_H}{v} = k_2; \quad n_1 = 1 - k_1^2 - k_2^2, \quad (3)$$

С учетом (3) уравнение (1) примет вид:

$$\frac{dh_1}{dx_1} = D \left[-k_1 h_1 + \sqrt{1 - n_1^2 h_1^2} \right], \quad (4)$$

откуда

$$x_1 = \frac{1}{D} \int \frac{dh_1}{-k_1 h_1 - \sqrt{1 - n_1^2 h_1^2}} + C, \quad (5)$$

где C — постоянная интегрирования, определяемая из граничного условия. При постоянных значениях k_1 и n_1 выражение (5) можно представить в следующем виде:

$$x_1 = \frac{1}{D} \left[\frac{n_1}{n_1^2 + k_1^2} \arcsin n_1 h_1 - \frac{k_1}{n_1^2 + k_1^2} \ln(\sqrt{1 - n_1^2 h_1^2} - k_1 h_1) \right] + C,$$

что и есть некая функция поперечного профиля русла в несвязанных грунтах на повороте водовода.

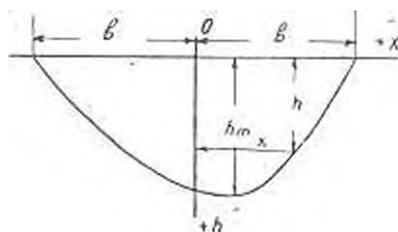


Рис. 1 Расчетная схема.

Для определения параметра C используем условия:

$$h_1 = 0 \quad x_1 = 1 \quad (\text{для правого откоса}); \quad (6)$$

$$h_1 = 0 \quad x_1 = -1 \quad (\text{для левого откоса}). \quad (7)$$

С учетом (6) и (7) получаем: для правого откоса $C = 1$, для левого откоса $C = -1$.

Для функции $x_1 = x_1(h_1)$ получены следующие зависимости:

для левого откоса

$$x_1 = \frac{1}{D} \left[\frac{n_1}{n_1^2 + k_1^2} \arcsin n_1 h_1 - \frac{k_1}{n_1^2 + k_1^2} \ln(\sqrt{1 - n_1^2 h_1^2} - k_1 h_1) \right] - 1; \quad (8)$$

для правого откоса

$$x_1 = \frac{1}{D} \left[\frac{n_1}{n_1^2 + k_1^2} \arcsin n_1 h_1 - \frac{k_1}{n_1^2 + k_1^2} \ln(\sqrt{1 - n_1^2 h_1^2} + k_1 h_1) \right] + 1. \quad (9)$$

Для расчета устойчивой формы русла по формулам (8) и (9) необходимо задаться распределением продольных и поперечных скоростей. Расчет поперечного профиля русла нами произведен при следующих исходных данных (взятых из модельного русла, которое нами исследовалось):

$$b = 0,3 \text{ м}; \quad h_m = 0,1 \text{ м}; \quad m_0 = 3; \quad D = 1; \quad k_1 = 0,9; \quad k_2 = 0,1;$$

$$n_1 = 0,425; \quad \frac{n_1}{n_1^2 + k_1^2} = 0,43; \quad \frac{k_1}{n_1^2 + k_1^2} = 0,91.$$

Последовательность расчета по формулам (8) и (9) приведена в табл. 1. Результаты расчетов графически представлены на рис. 2.

Таблица 1

h_1	$\frac{n_1}{n_1^2 + k_1^2} \arcsin n_1 h_1$	$\frac{k_1}{n_1^2 + k_1^2} \ln(V 1 - n_1^2 h_1^2 - k_1 h_1)$	x_1 (левый откос)	$\frac{k_1}{n_1^2 + k_1^2} \ln(V 1 - n_1^2 h_1^2 - k_1 h_1)$	x_1 (правый откос)
0	0	0	-1	0	1
0.1	0,018	-0,086	-0,90	0,078	0,90
0.2	0,041	-0,187	-0,77	0,146	0,81
0.3	0,055	-0,288	-0,65	0,204	0,74
0.4	0,074	-0,411	-0,52	0,270	0,66
0.5	0,095	-0,577	-0,33	0,328	0,58
0.6	0,110	-0,785	-0,13	0,376	0,51
0.7	0,130	-1,030	0,16	0,417	0,45
0.8	0,148	-1,380	0,53	0,460	0,39
0.9	0,169	-1,970	1,14	0,500	0,33
1.0	0,188	-3,000	3,10	0,536	0,28

Чтобы получить картину формирования русла на закруглении размываемого водовода, в гидравлической лаборатории НИИ водных проблем и гидротехники ММиВХ АрмССР нами были поставлены опыты. Для формирования модели был использован немзвый песок.

Опыты проводились в лотке прямоугольного поперечного сечения. Песчаное дно водотока в поперечном направлении было горизонтальное, а в продольном — с уклоном $i = 0,006$. Модель имела ширину 60 см, высоту 40 см, длину 1,7 м, угол поворота 180° с радиусом закругления 4 м. Отношение глубины к ширине в наших опытах менялось в пределах $b/h = 0,13 \div 0,21$. Расход изменялся в широких пределах, для рассмотренного выше примера составлял 0,17 л/сек.

Продолжительность каждого опыта определялась отрезком времени, в течение которого происходила стабилизация руслового процесса, т. е. прекращался размыв и устанавливалась устойчивая форма русла на рабочем участке модели. В наших опытах это время ranged 45—50 часам.

Поперечные профили русла и скорости потока измерялись в нескольких сечениях модели, расположения которых приведены на рис. 2. На рис. 2 пунктирной линией нанесены устойчивые формы русла, полу-

ченные из опытов, а сплошной линией—расчетные формы русла по данным табл. 1.

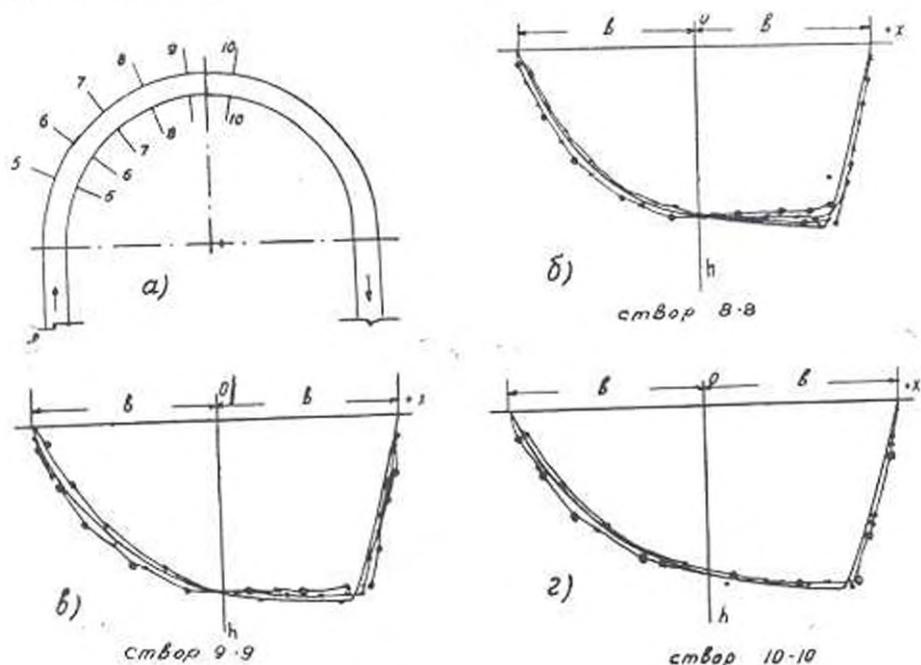


Рис. 2. План и поперечные профили деформированных русел.
 а — схема расположения створов;
 б, в, г — сопоставление расчетных и опытных данных.

Как видно из рис. 2, результаты экспериментальных и теоретических исследований дают хорошее совпадение. Аналогичное сопоставление данных опытов и теоретических расчетов было произведено и при других исходных данных, которые существенно не отличаются от приведенных выше показателей. Здесь мы не приводим расчеты, так как во всех случаях имеем аналогичную картину—совпадение теоретических расчетов с данными опытов. Сопоставление результатов теоретических расчетов с данными природных речных русел представляло бы, конечно, большой интерес. К сожалению, такими данными мы не располагаем. Однако это не может существенно повлиять на выводы, сделанные выше, так как качественная картина в природных руслах вполне совпадает с данными теоретических расчетов.

ЕрПИ им. К. Маркса

Получено 11.V.1975

ЛИТЕРАТУРА

1. Анянц А. К. Движение жидкости на повороте водовода. Ереван, 1957.
2. Похрипян М. С. Поперечные профили естественных русел. «Известия АН АрмССР (серия Г. II.)», т. XI, № 6, 1958.
3. Розовский И. Л. К вопросу об устойчивой форме русла на закруглении канала. ДАН УССР, № 1, 1955.
4. Ибад-заде Ю. А. Построение устойчивого профиля русла. «Гидротехническое строительство», № 12, 1952.