

V. 36. — N 6, pp. 1085—1088. 3. G h o s h S.N., R o y N. Boundary shear distribution in open channel flow // I. Hydraul. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng., 1970.— Vol. 96.— N 4.— pp. 967—994. 4. Р о г у н о в и ч В.П., Ш н и п о в Ф.Д. Расчет поперечных течений в прямолинейных трапецидальных каналах с переменной по периметру шероховатостью // Динамика и термика рек, водохранилищ и эстуариев: Тез. докл. — 2-я Всес. конф. М., 1984. — С. 69—71. 5. Ш н и п о в Ф.Д. Экспериментальные исследования трехмерного поля осредненных скоростей и турбулентных напряжений в прямолинейных потоках трапецидального сечения // Гидравлика открытых русел. — М., 1984. — С. 108—114. 6. Р о з о в с к и й И.Л. О влиянии поперечных течений в потоке на движение взвешенных наносов // Вести ин-ту гидрол. и гидротехники АН УССР, 1963. — № 23 (60). — С. 71—75. 7. З р е л о в Н.П. Циркуляционные течения и осаднения наносов в каналах прямоугольного сечения // Тр. гидравл. лабор. М., 1959. — Вып. 7. — С. 221—262. 8. К о з ы р е н к о Л.Д. Вторичные течения и взвешивание наносов // Тр. Москов. инж.-строит. ин-та. — 1968. — Вып. 1. — № 55. — С. 93—102. 9. C h a o - L i n C h u i, H s i n g D.E. Secondary flow, shear stress and sediment transport // I. Hydraul. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. — 1981. — Vol. 107. — pp. 879—898. 10. М у х а м е д о в А.М., Ж у р а е в Т.Ж., И ш а н о в Х.Х. Исследование устойчивости русел больших каналов на крупномасштабных размываемых моделях. // Гидротехническое строительство. — 1983. — № 8. — С. 21—23. 11. Г р и ш и н Н.Н. Механика придонных наносов. М., 1982. — 160 с. 12. Р е в я ш к о С.К. Устойчивое на размыв поперечное сечение русла // Конструирование и расчеты осушительно-увлажнительных систем. — Минск, 1976. — Вып. 2. — С. 133—141. 13. А л т у н и н В.С. Мелиоративные каналы в землерычных руслах. — М., 1979. — 266 с. 14. К а д ы р о в А.А., Н у р и т д и н о в З., И р м у х а м е д о в Р. Натурные исследования параметра формы и предельных скоростей течения в Кызылкумском магистральном канале // Сб. науч. тр. САНИИРИ. — Ташкент. — Вып. 168. — 1983. — С. 129—143. 15. В о й н и ч - С е н о ж е н ц к и й Т.Г. Проблема устойчивости течения потока реальной жидкости в каналах конечной глубины // Изв. Тбилисского НИИ сооружений и гидроэнергетики. — 1966. — Т. 16. — С. 18—38.

УДК 532.5

В.И.КРИЧКО (ЦНИИКИВР)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ПОТОКОВ НА РАЗМЫВАЕМЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

При проектировании каналов большой протяженности, например, каналов переброски, а также различного рода перепусков приходится решать задачу пересечения ими естественных водотоков. Пропуск воды через пересекаемый водоток осуществляется обычно дюкерами и акведуками. Однако, если разность отметок уровней воды пересекающихся водотоков незначительна, то наиболее рациональными являются узлы пересечения со смешением потоков. Последние почти не используются в гидротехнической практике. Это объясняется недостаточной изученностью взаимодействия пересекающихся потоков.

Большинство работ отечественных и зарубежных авторов посвящено частным случаям пересечения потоков — их слиянию и разделению, что не дает полного представления о характере явлений, возникающих в узле пересечения [1—5]. Особого внимания заслуживают рекомендации [1, 2] для случая пересечения открытых потоков при изменении расстояния между центрами узлов слияния и разделения (база пересечения), где дается расчет скоростей по границе течения и базы пересечения, основанный на применении методов теории функций комплексного переменного. В настоящее время отсутствуют ме-

тодики по прогнозу местных размывов, возникающих при взаимодействии пересекающихся потоков.

Для детального исследования кинематической структуры потоков и оценки деформаций русел в узлах пересечений на русловой площадке ЦНИИ комплексного использования водных ресурсов были построены размываемые гидравлические модели. Последние представляют собой пересечение двух искусственных водотоков полигонального сечения, размеры которых в масштабе 1 : 150 приближались к параметрам большого канала со следующими характеристиками: ширина по верху – 170 м, ширина по дну – 24 м, максимальная глубина – 15 м, заложение откосов – 1:6 и 1:4, уклон дна – 0,000008, расходы воды – 1000–3000 м³/с. С целью обеспечения подобия распределения скоростей по высоте потока с натурой плановый и вертикальный масштабы не искажались ($M_L = M_H$). При выборе масштаба моделей учтены положения о необходимости работы моделей в квадратичной области

сопротивления $\lambda = f\left(\frac{H}{\Delta}\right)$ и соблюдения критерия подобия Фруда $Fr = \frac{\bar{v}^2}{gH} =$
 $= \text{idem}$ [6], где H – глубина потока, Δ – абсолютная высота выступов шероховатости, λ – коэффициент гидравлического трения. Каналы, длина которых составляла 18–24 м, строились в выемке на среднезернистом песке с диаметром частиц $d_{\text{св}} = 0,247$ мм и следующим гранулометрическим составом: фракции 1...0,5 мм – 0,98 %; 0,5...0,4 мм – 9,34 %; 0,4...0,315 мм – 25,64 %; 0,315...0,25 мм – 24,51 %; 0,25...0,2 мм – 16,42 %; 0,2...0,16 мм – 12,29 %; 0,16...0,1 мм – 6,5 %; 0,1...0,071 мм – 2,81 %; меньше 0,071 мм – 1,51 %.

В исследованиях рассматривались случаи пересечения при совпадении дна, а также осей подводящего и отводящего участков пересекающего водотока (нулевая база пересечения) с изменением соотношений расходов, углов пересечения, размеров и формы поперечного сечения каналов. Для равномерного распределения воды применялась полиэтиленовая стружка и две решетки, находившиеся в головной части каждого водотока. Уровни воды регулировались затворами на концевых участках каналов, расходы измерялись треугольными водосливами, а скорости – шариковыми датчиками [7] в характерных створах пятиточечным способом [8]. Количество вертикалей изменялось в диапазоне 7–9 в зависимости от ширины каналов (рис. 1). Длина начального участка водотоков до первого измерительного створа согласно рекомендациям [9] была равна 80–100R (R – гидравлический радиус). Экспериментальные данные обрабатывались на ЭВМ ЕС 10-60 по специально разработанной программе.

На рис. 1 показаны плановые эпюры осредненных векторов продольных скоростей при пересечении каналов с различным соотношением расходов Q_1/Q_2 и ширины B_1/B_2 водотоков под углами 45 и 90°. Рассматривая течение в узле пересечения потоков, можно выделить: 1) подводящие и отводящие участки канала и водотока (створы 1, 2, 5–7, 9); 2) участки сопряжения потоков (створ 3); 3) участки образования водоворотных зон (створы 4, 8). Анализируя пространственные поля скоростей пересечений водотоков, следует отметить: 1) при пересечении каналов с одинаковыми параметрами и расходами распределение осредненных векторов продольных скоростей как в плане, так и по вертикалям симметрично относительно плоскости $a-a$ (рис. 1), причем в створе 3 – два максимума скоростей; 2) на подходе к пересечению

(створы 2, 7) и удаленных от него (створы 1, 5, 6, 9) распределение скоростей подобно между собой и близко к распределению скоростей в равномерных потоках; 3) в створе 3, расположенном в месте сопряжения потоков, при пересечении каналов с равными параметрами и соотношением расходов Q_1/Q_2 1–3, как и при пересечении каналов с равными расходами и B_1/B_2 1–2 при $\alpha = 90^\circ$, происходит смещение максимальных из осредненных по высоте потока векторов продольных скоростей $U_{B_{max}}$ (где $U_{B_{max}}$ – максимальное

из $U_B = \frac{1}{H} \int_0^H u dh$) в сторону канала с меньшим расходом. В том же створе при равных расходах и B_1/B_2 1–2 при $\alpha = 45^\circ$, также как и при пересече-

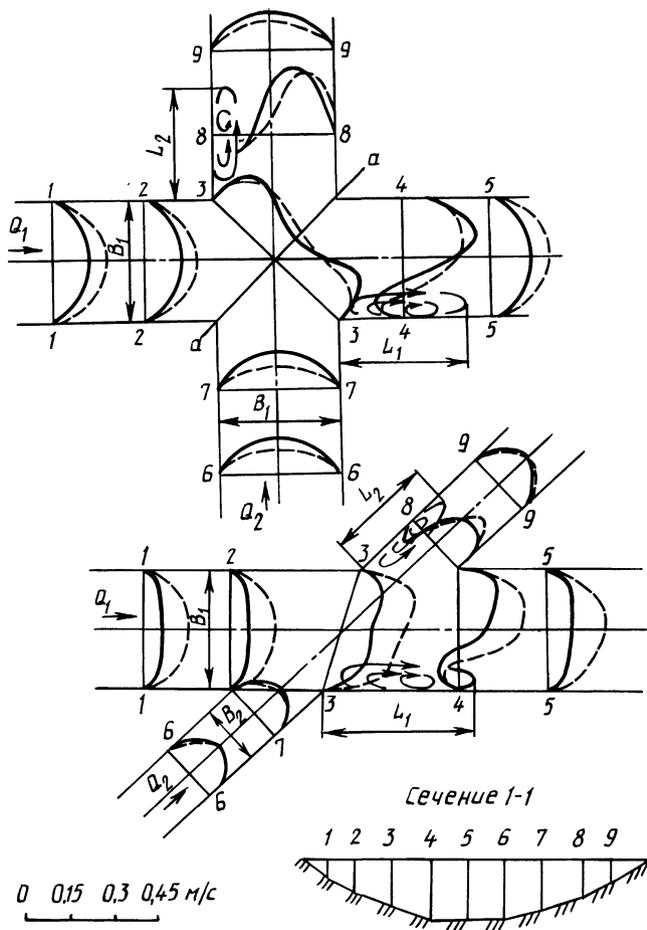


Рис. 1. Плановые эпюры средних на вертикалях осредненных продольных скоростей при пересечении каналов под углами 45° и 90° :
 ———— $Q_1/Q_2 = 1$; - - - - $Q_1/Q_2 = 3$

Результаты исследований кинематически пересекающихся потоков

Опыт	Створ	$B_1 = B_2$				$B_1 = 2B_2$			
		$\alpha = 45^\circ$		$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 45^\circ$		$\alpha = 90^\circ$	
		№ верт.	$\frac{U_{В\max}}{U_{В\max\text{ Н.У}}}$						
$\frac{Q_1}{Q_2} = 1$	3	2	1,66	1	2,66	7	2,39	3	1,86
		8	1,66	9	2,66				
Q_2	4	3	1,62	3	1,56	2	2,38	3	2,53
		8	1,62	7	1,56	5	1,12	4	1,21
$\frac{Q_1}{Q_2} = 2$	3	4	1,26	3	1,11	7	1,64	8	1,13
		4	1,48	3	1,16	2	1,47	3	1,43
Q_2	8	8	2,18	8	2,18	6	1,29	6	1,46
$\frac{Q_1}{Q_2} = 3$	3	4	1,16	3	0,92	3	1,37	7	1,13
		4	1,41	2	1,13	3	1,37	2	1,22
Q_2	8	9	2,68	8	3,27	6	1,66	7	1,48

нии каналов с Q_1/Q_2 , равном 1–3, а B_1/B_2 1–2 и $\alpha = 90^\circ$, $u_{В\max}$ смещаются вправо от оси потока с большим расходом, при изменении Q_1/Q_2 1–3, а B_1/B_2 1–2 и $\alpha = 45^\circ$ – влево от нее. При пересечении каналов с изменением соотношения расходов 1–3 и изменением отношения ширины B_1/B_2 1–2 максимальные из осредненных по высоте потока продольных векторов скоростей перемещаются в створах 4 и 8 при $\alpha = 45^\circ$ к оси потока, а при $\alpha = 90^\circ$ – влево от нее.

В табл 1 приводятся отношения $U_{В\max}/U_{В\max\text{ Н.У}}$ ($U_{В\max\text{ Н.У}}$ – максимальные из осредненных по высоте потока вектора продольных скоростей (на удалении от узла пересечения) в зависимости от изменения углов пересечения, соотношений расходов и параметров водотоков с указанием вертикалей, на которых находятся $U_{В\max}$.

Особого внимания заслуживают участки образования водоворотных зон (створы 4, 8), так как в сжатых сечениях этих участков возникают наибольшие скорости, вызывающие повышенные деформации русел. На рис. 2 показаны зависимости соотношений длин водоворотов L_1/L_2 и отношений длины водоворота основного канала L_1 к его ширине от соотношения расходов Q_1/Q_2 , ширины B_1/B_2 и углов пересекающихся потоков. С помощью этих графиков можно определять плановые размеры водоворотных областей для рассмотренных случаев пересечения.

Проверена устойчивость несвязных грунтов в узлах пересечений посредством сравнения допускаемой на размыв для данного грунта динамической скорости u_{*g} с фактической динамической скоростью u_* . Последние вычислялись по зависимости [10]:

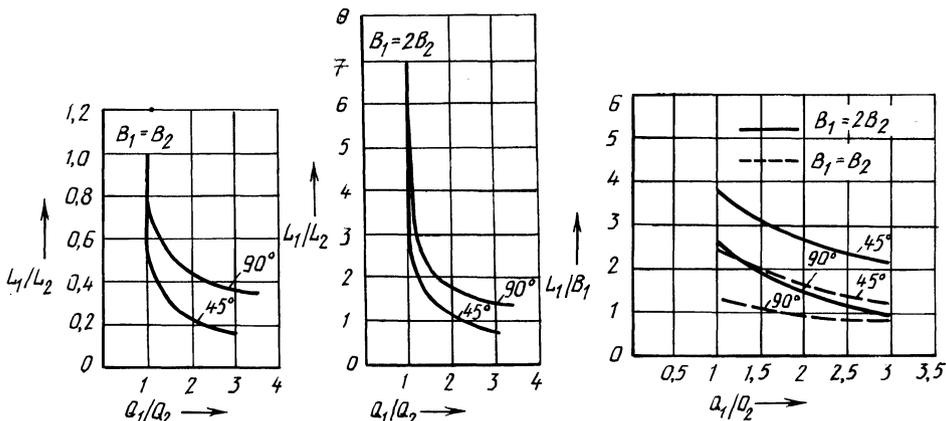


Рис. 2. Графики зависимости соотношений длин водоворотов и отношений длины водоворота основного канала к ширине его от соотношений расходов, ширины и углов пересекающихся потоков

$$U_* = \frac{U_B}{2,6 [3 - 1,07 \frac{\delta}{H} + (1 - 0,655 \frac{\delta}{H}) \ln (\frac{H}{\delta} - 0,655)]}$$

где $\delta = \frac{\Delta}{7 \frac{\Delta}{H} + 0,369}$; U_B — средний на вертикали вектор продольной скорости;

H — глубина потока, δ — толщина придонного слоя; Δ — абсолютная величина выступов шероховатости. Допускаемые динамические скорости U_{*g} для песка, из которого формировались русла, находились также согласно рекомендаций [10]. Образование местных размывов в ходе экспериментов происходило там, где $U_* > U_{*g}$, и, следовательно, такой способ оценки деформаций русел может применяться при пересечении водотоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берман Я.Р., Румянцев И.С., Пручкин С.И. Решение задачи пересечения водотоков каналом // Гидравлика и мелиорация. — 1983, № 9. — С. 14—16.
2. Ber man I.R., Rumi antsev I.S. Pruchkin S.I. Methods of hydromechanics to solve the problems of crossing main canals with laterals // XX AHR Congress. Moscow. — 1983. — P. 287—292.
3. Intersecting submerged jet velocity profiles / Maxwell W. Hall C., Snarrason Arni // Eng. Mech. Div. Rroc. Amer. Soc. Civ. Eng. — 1982. — P. 108. — N 5, — P. 975—980.
4. Shligai H., Azam A. On the hydraulic modelling of the Mekong River at Quatre Brash // Rroc. dut. Conf. Water Resour. Eng., Bangkok. Fluvial and Coast. Hydraul, 1978. Vol. 1. — P. 661—683.
5. Platzer B. Berechnung von Druckverlustbeivoerten in rechtvoinkligen Kreugver gungen // Luft — und Källetechn, 1982. — № 4. — P. 219—220.
6. Лятхер В.М., Прудовский А.М. Гидравлическое моделирование. — М., 1984. — 392 с.
7. А. с. № 976382 (СССР). Устройство для измерения скорости течения жидкосты // Б.И. № 43.
8. Быков В.Д., Васильев А.В. Гидрометрия. Л., 1977. — 442 с.
9. Структура турбулентного потока и механизм теплообмена в каналах / М.Х.Ибрагимов, В.Н.Субботин, В.П.Бобков, Г.И.Сабелев, Г.С.Таранов. — М. — 1978. — 298 с.
10. Васильченко Г.В. Моделирование размывов несвязных грунтов с применением их заменителей // Водное хоз-во и гидротехнич. стр-во. — Минск. — 1984. — Вып. 14. — С. 49—52.