

Распределение коэффициентов горизонтального осредненного гидродинамического давления в зависимости от скоростного напора и относительной ширины шва имеет вид гиперболы (рис. 2). По данным Ю.П.Правдивца [7], значение коэффициента сопротивления для плоских плит равно 0,102. Такое значение можно принимать при скоростях потока $V \geq 1,3$ м/с. При $V < 1,3$ м/с значение коэффициента сопротивления следует определять по рис.2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патрашев А.Н. Гидродинамика. — М., 1953. — 720 с. 2. Александров В.Л. Техническая гидромеханика. — М.—Л., 1946. — 432 с. 3. Рейнольдс А.Дж. Турбулентные течения в инженерных приложениях. — М., 1979. — 408 с. 4. Динамика сплошных сред в расчетах гидротехнических сооружений/Под ред. В.М.Ляхтера и Ю.С.Яковлева. — М., 1976. — 392 с. 5. Левкевич Е.М., Сурма Н.В. Распределение давлений в швах плит крепления. — В кн.: Мелиорация и гидротехника в БССР. Горки, 1981, вып. 72, с. 147—148. 6. Чхен П. Отрывные течения. — М., 1972, т. 2. — 280 с. 7. Правдивец Ю.П. Конструирование гибких защитных покрытий рисберм и откосов. — Энергетическое строительство, 1976, № 6, с. 61—64.

УДК 627.824

П.М.БОГОСЛАВЧИК (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОТОКА ПРИ РАЗМЫВЕ ПЛОТИН ИЗ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

Перелив воды через гребень — одна из причин разрушений грунтовых плотин. Перелив возможен при катастрофических паводках, выходе из строя водосборных сооружений, при аварии выше расположенной плотины и т.д. Интерес к исследованию этого вопроса вызван также получившей в последнее время распространение идеей включения в напорный фронт гидроузлов резервных размываемых водосбросов [1].

Основным вопросом при расчете любого процесса размыва является выбор формулы транспортирующей способности потока. Для решения данного вопроса применительно к размывам грунтовых плотин были проведены лабораторные исследования. В лотке со стеклянными стенками отсыпалась модель плотины. Вода с постоянным расходом подавалась в бак и оттуда — в лоток, в котором была установлена модель. Уровень воды в верхнем бьефе поднимался, и в некоторый момент времени (исходный) начинался перелив через модель и ее размыв. Процесс размыва фотографировался через стеклянную стенку лотка с нанесенной на нее масштабной сеткой, что позволило затем установить мгновенные профили размывной плотины в определенные моменты времени. Одновременно с помощью пьезометра измерялся уровень воды в верхнем бьефе, по изменению которого определялся средний за некоторый промежуток времени расход через размываемую модель [2].

Было проведено пять серий опытов: первые четыре в лотке шириной 10 см, пятая — в лотке шириной 32 см. Размеры моделей в поперечном сечении: ширина по гребню $b = 20$ см, высота $p = 40$ см, заложение верхового и

низового откосов 1:2,0. В первой серии модели отсыпалась из песка с крупностью фракций $d = 0,25-0,50$ мм, средним диаметром частиц $d_{50} = 0,35$ мм, средней гидравлической крупностью $w = 0,037$ м/с, плотностью $\rho_p = 1,61-1,68$ г/см³; во второй серии, соответственно, $d = 0,5-1,0$ мм, $d_{50} = 0,75$ мм, $w = 0,078$ м/с, $\rho_p = 1,59-1,62$ г/см³; третьей — $d = 0,1-0,5$ мм, $d_{50} = 0,30$ мм, $w = 0,030$ м/с, $\rho_p = 1,65-1,71$ г/см³, коэффициент неоднородности $d_{60}/d_{10} = 3,3$; в четвертой и пятой — $d = 0,1-1,0$ мм, $d_{50} = 0,38$ мм, $w = 0,045$ м/с, $\rho_p = 1,69-1,74$ г/см³, $d_{60}/d_{10} = 3,4$.

Общая картина процесса размыва во всех опытах не отличалась от описанной ранее [2-3]. Здесь же в аспекте поставленной задачи необходимо отметить следующее. Размыв начинается сразу же с началом перелива. В первые несколько секунд, когда толщина переливающегося слоя предельно мала, процесс размыва происходит путем постепенного переотложения вымытых частиц грунта и носит дискретный характер. Затем с увеличением расходов и глубин эта картина достаточно быстро изменяется. Примерно с пятой секунды и до конца осуществляется интенсивный размыв модели почти равномерно по всей длине, как бы параллельными слоями (рис. 1). Транспорт твердого стока на этой фазе происходит во взвешенном состоянии. Вымытые частицы грунта при этом выносятся в нижний бьеф, не откладываясь в пределах размываемого массива. Из этого следует, что транспортирующая способность потока в данном случае характеризуется расходом взвешенных наносов.

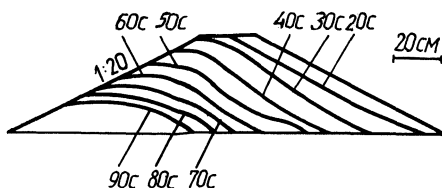


Рис. 1. Размыв модели плотины из песка крупностью 0,25-0,5 мм в лотке шириной 10 см.

В речной гидравлике существует много формул для расчета транспорта взвешенных наносов. Необходимо выбрать наиболее приемлемую для условий размыва плотин. Для этого были выполнены расчеты по следующим, на наш взгляд, наиболее применительным для данного случая, формулам.*

Формула В.Н. Гончарова [4]:

$$q_s = 1,2(1 + \varphi_0) dv_0 \left(\frac{v}{v_0}\right)^{4,33}, \quad (1)$$

где

$$v_0 = \lg \frac{8,8h}{d_s} \sqrt{\frac{2g(\rho_p - \rho) d}{3,5\rho}}. \quad (1')$$

Формула Б.И. Студеничкина [5]:

$$q_s = 0,2 \left[\left(\frac{v}{v_0}\right)^2 - 1 \right]^{1,5} q, \quad (2)$$

* Следует отметить, что формулы (1) и (2) получены авторами без разделения частиц на взвешенные и влекомые. Остальные являются формулами расхода взвешенных наносов.

где

$$v_0 = 1,15 \sqrt{g} (hd)^{0,25}. \quad (2')$$

Формула К.И. Россинского [6]:

$$q_s = \frac{0,00475}{wh} v^3 q. \quad (3)$$

Формула И.И.Леви [7]:

$$q_s = \frac{0,006d^{1,6}}{w^4} \cdot \frac{v^4}{h^{1,6}} q. \quad (4)$$

Формула А.Н.Гостунского [8]:

$$q_s = 3,3 \cdot 10^3 \frac{v^3}{C^3 h w} q. \quad (5)$$

Формула С.Х.Абальянца [9]:

$$q_s = 0,018 \frac{v^3}{wh} q. \quad (6)$$

В формулах (1)–(6): q_s – удельный расход твердого стока; φ_0 – параметр турбулентности; d – средний диаметр частиц грунта; d_5 – диаметр крупной фракции, доля которой равна 5 %; v_0 – неразмывающая скорость; v – средняя скорость потока; h – глубина потока, м; ρ_p , ρ – плотность грунта и воды; w – средневзвешенная гидравлическая крупность частиц грунта; C – скоростной коэффициент Шези; q – удельный расход воды.

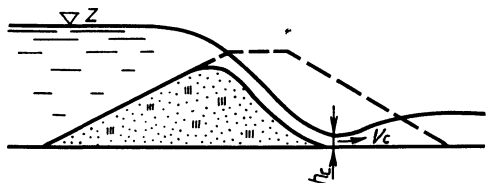


Рис. 2. Расчетная схема для определения транспортирующей способности потока при размыве плотины.

Для транспорта твердого стока за расчетное было принято сжатое сечение за размываемой плотиной (рис. 2). Это позволило сравнить расчетные данные, полученные по (1)–(6), с опытными значениями расхода наносов, который определялся величиной деформации профиля модели плотины по формуле $q_s^{оп} = \Delta V / \Delta t \rho_p$, где ΔV – величина смытого за промежуток времени $\Delta t = t_n - t_{n-1}$ объема грунта, определяемая по фотоснимкам мгновенных профилей размываемой плотины в моменты времени t_n и t_{n-1} ; ρ_p – плотность грунта модели плотины.

Необходимая для расчета по (1)–(6) глубина в расчетном сечении $h = h_c$ определялась как средняя за время Δt из уравнения

$$q = \varphi h_c \sqrt{2g(z - h_c)}, \quad (7)$$

где q – средний за время Δt удельный расход через размываемую плотину; z – средняя за время Δt отметка уровня верхнего бьефа относительно дна лотка; φ – коэффициент скорости, который был принят равным 0,95 [10, табл. 9–10].

Средняя за время Δt скорость в расчетном сечении определялась как

$$v = v_c = q/h_c. \quad (8)$$

Сопоставление опытных и вычисленных по формулам (1)–(6) значений величины расхода наносов в различные моменты времени размыва моделей плотин по пяти опытам (по одному из каждой серии) приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Сопоставление экспериментальных и вычисленных значений расхода наносов

№ серии	Экспериментальные данные						Значения q_s , кг/с/дм по формулам		
	t , с	q , м ³ /с/дм	z , м	h_c , м	v_c , м/с	q_s , кг/с/дм	В.Н.Гончарова	Б.И.Студеничкина	К.И.Росинского*
1	15-30	0,0005	0,41	0,002	2,50	0,694	25,0	1,41	0,501
	30-40	0,0025	0,41	0,009	2,78	0,992	11,7	2,53	0,766
	40-50	0,007	0,41	0,026	2,69	1,050	7,1	3,52	0,654
	50-60	0,010	0,39	0,038	2,63	0,771	5,1	3,53	0,597
	60-70	0,015	0,37	0,058	2,59	0,725	3,5	3,55	0,576
	70-80	0,020	0,34	0,082	2,44	0,381	2,5	3,12	0,366
	80-90	0,022	0,30	0,095	2,32	0,380	1,8	2,69	0,261
2	25-35	0,001	0,41	0,004	2,50	0,608	14,3	0,929	0,237
	35-45	0,005	0,41	0,019	2,63	0,900	4,66	1,685	0,291
	45-55	0,014	0,40	0,056	2,50	0,860	2,08	1,740	0,238
	55-65	0,015	0,37	0,061	2,46	0,758	1,86	1,650	0,223
	65-75	0,017	0,35	0,072	2,36	0,792	1,34	1,481	0,189
	75-90	0,022	0,31	0,098	2,24	0,588	0,91	1,317	0,154
3	20-30	0,0007	0,41	0,003	2,33	0,766	28,3	1,449	0,467
	30-40	0,0015	0,42	0,006	2,50	0,886	25,7	2,127	0,618
	40-50	0,004	0,41	0,016	2,50	1,112	24,0	2,684	0,618
	50-60	0,0072	0,41	0,028	2,57	0,747	22,1	3,460	0,691
	60-70	0,0136	0,39	0,055	2,47	0,623	11,4	3,503	0,590
	70-80	0,017	0,36	0,071	2,39	0,486	5,5	3,278	0,517
4	20-30	0,0025	0,42	0,009	2,77	0,881	14,289	2,797	0,623
	30-40	0,004	0,42	0,015	2,67	0,816	8,013	2,744	0,535
	40-50	0,009	0,42	0,033	2,73	1,034	6,131	3,686	0,585
	50-60	0,014	0,40	0,052	2,69	0,602	4,777	3,835	0,553
	60-70	0,018	0,38	0,069	2,61	0,572	3,610	3,679	0,490
	70-80	0,018	0,36	0,071	2,53	0,396	3,060	3,277	0,433
	80-90	0,020	0,32	0,080	2,50	0,312	2,764	3,198	0,412
5	15-25	0,0006	0,41	0,002	3,00	1,007	34,142	2,638	0,855
	25-35	0,004	0,41	0,015	2,67	0,924	9,214	3,270	0,537
	35-46	0,0062	0,39	0,024	2,58	0,791	6,140	2,705	0,465
	46-55,5	0,007	0,36	0,027	2,59	0,830	5,806	2,822	0,476
	55,5-66	0,007	0,33	0,028	2,50	0,514	4,855	2,467	0,410

*Расчеты по формулам (4)–(6) в таблицу не включены.

Из нее следует, что в опытах серий 1, 3, 4, 5, где средний диаметр составлял, соответственно, 0,35, 0,30 и 0,38 мм, наиболее близкие к опытным данным результаты получены по формуле К.И.Россинского. В опытах серии 3, где средний диаметр частиц грунта был 0,75 мм, наилучшую сходимости дает формула С.Х. Абальянца. Поскольку эти две формулы имеют одинаковую структуру, можно предположить, что формула транспортирующей способности потока при размыве песчаных плотин имеет такую же структуру:

$$q_s = A v^3 / wh \cdot q \quad (9)$$

Величина коэффициента А зависит от крупности частиц грунта. Например, в опыте серии 1 она принимает значение порядка 0,004÷0,007, в опыте же серии 2 — 0,015÷0,020.

Таким образом, на основании сравнения опытных и расчетных данных (см. табл. 1) получен общий вид формулы транспорта твердого стока при размыве моделей плотин из песчаных грунтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппович И.В., Богославчик П.М. Водосброс по типу размываемой вставки. — Водное хозяйство и гидротехническое строительство, 1982, вып. 12, с. 96–100.
2. Богославчик П.М., Филиппович И.В. Динамика размыва плотины из местных материалов при переливе воды. — Изв. вузов СССР. Сер. Энергетика, 1982, № 3, с. 88–93.
3. Богославчик П.М., Филиппович И.В. К расчету размыва однородной плотины из песчаных грунтов при переливе воды через гребень. — Изв. вузов СССР. Сер. Энергетика, 1983, № 2, с. 100–105.
4. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. — Л., 1962. — 374 с.
5. Студеничкин Б.И. Размывающая способность потока и методы русловых расчетов. — М., 1964. — 184 с.
6. Лапшенков В.С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов. — Л., 1979. — 239 с.
7. Левин И.И. Динамика русловых потоков. — М.–Л., 1957. — 252 с.
8. Указания по расчету заилиения водохранилищ при строительном проектировании. — Л., 1973. — 55 с.
9. Абальянц С.Х. Движение взвесей в открытых потоках. — В кн.: Труды САНИИРИ. Ташкент, 1958, вып. 96, с. 3–141.
10. Справочник по гидравлическим расчетам/Под ред. П.Г.Киселева. — М., 1974. — 313 с.

УДК 627.5

Е.М.ЛЕВКЕВИЧ, канд.техн.наук (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕРЕГОЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ПОДВОДНЫХ ВОЛНОЛОМОВ ТИПА ТОНКОЙ СТЕНКИ

Для защиты берегов водохранилищ и верховых откосов земляных плотин от размыва волнами наряду с устройством на их поверхности различного ряда покрытий (креплений) применяются волноломы, гасящие энергию волн и тем самым уменьшающие величину их воздействия на откос [1–4].

Широкое распространение на морях и крупных водоемах получили подводные волноломы типа порогов или дамб, которые к настоящему времени изучены наиболее полно [1–3]. Наряду с этим находят применение для защиты откосов низконапорных дамб и плотин подводные волноломы типа тонких