

$$M_* = \frac{u_*}{u_{*0}} = \frac{M_H}{\sqrt{M_L}} \quad (8)$$

В свою очередь масштаб глубин  $M_H$  можно найти через масштаб скоростей. Например, при моделировании по критерию Фруда необходимо принять

$$M_H = M_u^2 = \left( \frac{u_B}{u_{B0}} \right)^2 \quad (9)$$

В последних зависимостях все обозначения с индексом 0 относятся к модели. Зная геометрические масштабы модели (8, 9) и параметры потока натуре, можно установить все другие масштабные соотношения по общепринятым методикам моделирования. Для использования зависимости (8) масштаб  $M_*$  вычисляется как отношение допустимых на размыв динамических скоростей песка и его заменителя.

В качестве заменителей песков для моделирования размывов можно рекомендовать полимерные сыпучие материалы, например иониты, которые состоят из частиц различных диаметров (от 0,1 до 2 мм) весом в 1,05–1,2 раза тяжелее воды. Такой материал уже несколько лет применяется в ЦНИИ комплексного использования водных ресурсов Минводхоза СССР. Для исследования придонных течений и перемещений частиц песка при подборе его заменителя в лабораторных условиях автором применялись электрохимический способ измерения скоростей [1, 2] и видеозапись.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В а с и л ь ч е н к о Г.В. Исследование крупномасштабной турбулентности электрохимическим способом. — В кн.: Гидравлика и гидротехника. Киев, 1970, вып. 10.
2. А.с. № 800886 (СССР). Устройство для измерения величины и направления скорости течения жидкости/ В а с и л ь ч е н к о Г.В., Н е л и п о в и ч Н.Б. — Оpubл. в Б.И., 1981, № 4.
3. В а с и л ь ч е н к о Г.В. Расчет установившегося течения жидкости над шероховатостью. — В сб.: Водное хозяйство и гидротехническое строительство. Минск, 1981, вып. 11.

УДК 627.533.2

В.К.КУРСАКОВ (ЦНИИКИВР)

### ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТЕЙ ПРИ ОБТЕКАНИИ ПОТОКОМ ДАМБ ЗАТАПЛИВАЕМЫХ ПОЛЬДЕРОВ

В последние годы при освоении пойменных земель все большее распространение получают затопливаемые и незатопливаемые польдерные системы [1–3].

Для изучения распределения скоростей течения воды при обтекании потоком затопливаемой дамбы, оценки устойчивости ее размыву проведены экспериментальные исследования на гидравлических моделях.

Согласно [1] и [2], для модели принят один из наиболее распространенных типов дамб со следующими параметрами: высота  $P = 1,5$  м, ширина по

верху  $B = 2,0$  м, коэффициент заложения верхового и низового откосов  $m = 3,0$ . При установлении данных параметров исходят из того, что глубина воды на пойме при прохождении летне-осенних паводков не превышает  $1,0-1,5$  м, а коэффициент заложения откосов принят с учетом состава грунтов, слагающих тело дамбы [3].

Масштаб модели из условия автомодельности принят  $1:10$ .

Исследования проводились в гидравлическом лотке с переменным уклоном длиной  $L = 50$  м и шириной  $B = 0,8$  м. Исследуемый фрагмент дамбы закреплялся на расстоянии  $10$  м от оголовка лотка, на который уже не влиял вход на скоростную структуру потока. Продольные осредненные скорости на вертикалях фиксировались шариковым датчиком скорости. Уровни воды в верхнем и нижнем бьефах, а также продольного профиля поверхности жидкости при переливе потока через дамбу измерялись шпигетмасштабами. Продольные скорости устанавливались в пяти точках на вертикали, а у поверхности дамбы – более часто. Придонные скорости над дамбой измерялись электродом через  $1$  мм до глубины  $1,5$  см. Это основывалось на принципе изменения величины электрического тока в цепи при соответствующем изменении скорости обтекания потоком электрода. Измерение скоростей проводилось вдоль динамической оси потока, в связи с тем что по его ширине они оставались практически постоянными.

Схема расположения скоростных вертикалей для одной из серий опытов показана на рис. 1. Продольные скорости течения воды измерялись до зоны подпора потока дамбой (начальный створ) на верховом, низовом откосах и на гребне дамбы. Опыты проводились при различных расходах и уровнях воды в верхнем и нижнем бьефах. Над дамбой средняя скорость потока изменялась в пределах  $0,3 \div 1,9$  м/с, а глубины воды  $H = (0,5 \div 3)P$  – в зависимости от высоты дамбы  $P$ .

Рассматривая характер изменения относительных скоростей  $u/u_{B0}$  вдоль исследуемого участка, устанавливаем, что на верховом откосе наблюдается

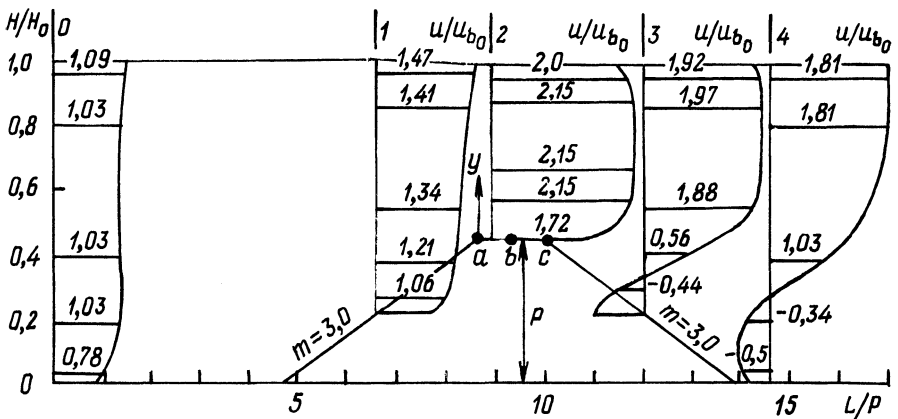


Рис. 1. Эпюры распределения относительных продольных скоростей при обтекании дамбы под углом  $\alpha \approx 90^\circ$  к ее оси:  $u_{B0}$  – средняя скорость на вертикали в начальном створе 0–0.

плавное уменьшение скоростей от поверхности воды ко дну (см. рис. 1). Путем визуальных наблюдений установлено, что в придонной области линии токов параллельны очертанию верхового откоса. Для обозначения очертаний этих линий в определенные точки потока вводили подкрашенную жидкость. На гребне дамбы наблюдалось значительное увеличение скоростей вследствие уменьшения глубины; наибольшие их значения находятся на расстоянии  $(0,2 \div 0,8)H$  от поверхности гребня.

В указанном диапазоне глубин скорости почти не изменяются (см. рис. 1). Для оценки устойчивости размыву гребня дамбы необходимо было перейти к определению придонной скорости и ее пульсации. Установление размеров скоростей в придонной области гребня дамбы производилось с помощью электрода. Изменение относительных осредненных скоростей на гребне дамбы по высоте придонного слоя представлено на рис. 2.

На основании анализа вышеуказанных графиков можно сделать вывод, что наибольшие по величине скорости в придонной области гребня дамбы наблюдаются на его входном участке, который в связи с этим подвержен наибольшему воздействию потока по сравнению с другими участками.

Установлено также, что между динамической скоростью на границе придонного слоя и средней скоростью на вертикали  $u_{вг}$  над гребнем дамбы существует постоянное соотношение. Для рассматриваемой схемы ( $m = 3,0$ ;  $\Delta = 0,3$  мм) оно равно  $u_*/u_{вг} = 0,11$ . В общем случае динамическая скорость на гребне дамбы существенно зависит от  $\Delta$ . Для установления связи между ними можно воспользоваться рекомендациями автора [4].

С этой целью была преобразована зависимость между толщиной природного слоя  $\delta$  и скоростью на его гребне  $u_g$ :

$$u_g = 2127 \frac{v}{\delta} \left(\frac{\Delta}{\delta}\right)^4. \quad (1)$$

В свою очередь  $u_g$  связана с динамической скоростью посредством соотношения [4]

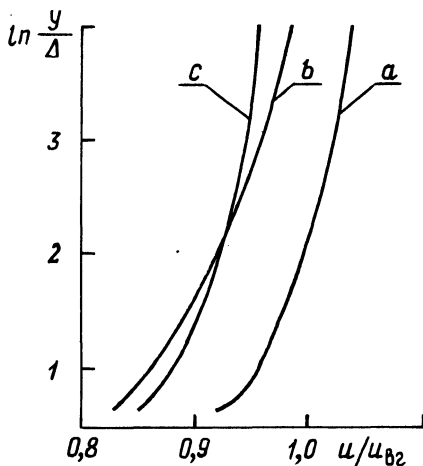
$$u_* = 0,131u_d. \quad (2)$$

Для определения  $u_*$  при известной величине  $\Delta$  используются зависимости (1), (2) и данные рис. 2. Задаваясь различными значениями  $\delta$ , по зависимости (1) вычисляют  $u_d$  и сравнивают с соответствующими величинами  $u$  (рис. 2) по одной из кривых  $u/u_{вг} = f(y/\Delta)$ . Искомой является придонная скорость, если  $u_d = u$ , а  $y = \delta$ . Далее, по зависимости (2) вычисляется динамическая скорость.

Необходимая для использования графиков  $u/u_{вг} = f(y/\Delta)$  (см. рис. 2) средняя скорость на вертикали  $u_{вг}$  вычисляется через удельный расход и глубину потока на гребне дамбы  $u_{вг} = q/H - P - \Delta z$ . В большинстве случаев перепадом уровней воды  $\Delta z$  перед и за гребнем дамбы можно пренебречь, так как он не превышает 1,5 мм при изменении глубины воды над дамбой  $H = (0,5 \div 3,0)P$ .

Оценка устойчивости грунта на гребне дамбы размыву осуществляется путем сравнения фактической динамической скорости и допустимой на размыв. Если  $u_* < u_{*д}$  — гребень дамбы устойчив к размыву;  $u_* > u_{*д}$  — размыв.

Рис. 2. Изменение относительных осредненных скоростей на гребне дамбы по высоте придонного слоя:  $\Delta$  — абсолютная высота выступов шероховатости поверхности дамбы;  $u_{вг}$  — средняя скорость на вертикали  $b$ . Расположение вертикалей  $a, b, c$  см. на рис. 1.



вается потоком;  $u_* = u_{*Д}$  — имеет место предельное состояние равновесия частиц грунта.

Допустимые на размыв песчаных грунтов динамические скорости получены в лаборатории водохозяйственных сооружений ЦНИИКИВР для песка различной крупности  $d_{св}$  изменялся в пределах 0,05–0,6 см.

Данные скоростей были получены для глубины потока  $H = 0,4$  м и по определенным формулам пересчитаны для других глубин. Допустимые на размыв скорости для начальной стадии движения частиц (срыв отдельных частиц) приведены в табл. 1.

Табл. 1. Допустимые на размыв песков различной крупности динамические скорости при различных глубинах потока  $u_*^*$ , см/с

$d_{св}$ , см	H			
	0,4 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м
0,05	2,10	2,32	2,43	2,50
0,10	2,50	2,70	2,80	2,87
0,20	3,30	3,50	3,60	3,66
0,30	3,90	4,10	4,20	4,27
0,40	4,50	4,71	4,81	4,88
0,50	5,00	5,20	5,30	5,39
0,60	5,50	5,72	5,82	5,90

Таким образом, выполненные исследования дают представление о переливе потока воды через дамбу затопляемого польдера и возможность оценить ее устойчивость размыву.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по проектированию польдерных систем сельскохозяйственного назначения ВТР-11-19-79. — М., 1980. — 112 с. 2. Указания по проектированию обволонания рек мелиоративных систем. ВСН1-63. — М., 1975. — 196 с. 3. СНИП II-52-74. Сооружение мелиоративных систем. — М., 1975. — 25 с. 4. В а с и л ь ч е н к о Г.В. Расчет установившегося течения жидкости над шероховатостью. — В сб.: Водное хозяйство и гидротехническое строительство. Минск, 1981, вып. 11—163 с.