

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ БЕРЕГОВ, СЛОЖЕННЫХ ГРУНТАМИ С ПОВЫШЕННОЙ СТЕПЕНЬЮ НЕОДНОРОДНОСТИ

Большинство известных экспериментальных работ по изучению влияния волн на разрушение откоса выполнено в условиях плоской задачи. В работах [1–3] исследования проводились на откосе, сложенном однородными несвязными песчаными грунтами. В результате уточнены форма профиля "равновесия" и интенсивность процесса переработки. Другими авторами [4, 5] исследовано формирование профиля откоса, сложенного галечниковыми грунтами.

Целью данной работы явилось изучение механизма разрушения профиля берега, сложенного несвязными грунтами с повышенной неоднородностью.

Эксперименты проводились в волновом лотке (12,0 м x 0,3 м x 0,7 м) на модели откоса с исходным коэффициентом $m = 3$. Высота волны в экспериментах была постоянной: $h_B = 0,08$ м, длина $\lambda_B = 1,02$ м, относительная длина волны $h_B/\lambda_B = 12$, глубина в лотке $H_B = 0,35$ м, период $\tau = 0,8$ с и относительная глубина воды $H/\lambda_B = 0,35/1,02 = 0,343$. Волновой лоток оборудован волнопродуктором типа "качающийся щит".

В качестве основных материалов для моделей служили отсортированный среднезернистый песок с $d_{50} = 0,05$ см, а также гравелистые включения, которые добавлялись в различных пропорциях.

Продолжительность опытов в зависимости от состава грунта составляла от 30 до 350 мин. Длительность той или иной серии опытов обуславливалась интенсивностью размыва и достижением профиля размыва стадии "равновесия", при которой профиль и коэффициент откоса берега, достигнув предельной величины, впоследствии не изменялись.

Изменение профиля модели откоса во времени регистрировалось промерами, фотографированием и графическим наложением контура на миллиметровку. Регистрация контура профиля осуществлялась через определенные промежутки времени: $T = 3, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360$ мин. Это позволило получить совмещенные профили берегового откоса, по которым определялись все элементы профиля (рис. 1).

Исследовалось разрушение волновым потоком модели откоса, выполненного из песчано-гравелистой смеси с различным содержанием гравелистых фракций: с однокомпонентными включениями гравия в песчаный грунт и многокомпозиционными гравелистыми смесями. Количество вводимой гравелистой смеси в откос подбиралось таким образом, чтобы величина средне-взвешенного диаметра (свзв), определяемого по формуле [3] $d_{свзв} = \frac{\sum d_i P_i}{100}$ (где d – диаметр i -й фракции, P_i – вес фракций), оставалась постоянной и близкой к величине $d_{50} = 0,05$ м, определенной крупности. Такой подход позволил при постоянной величине $d_{свзв}$ варьировать значениями неоднородности грунта, характеризующимися коэффициентом неоднородности грунта [6] $S_0 = d_{60}/d_{10}$, где d_{60} – диаметр частиц, со-

держание которых более 60 %, d_{10} — диаметр частиц, содержание которых менее 10 %.

Состав грунта, укладываемого в откос, контролировался посредством отбора проб и последующего анализа гранулометрического состава. Плотность укладываемого грунта доводилась до естественной путем увлажнения.

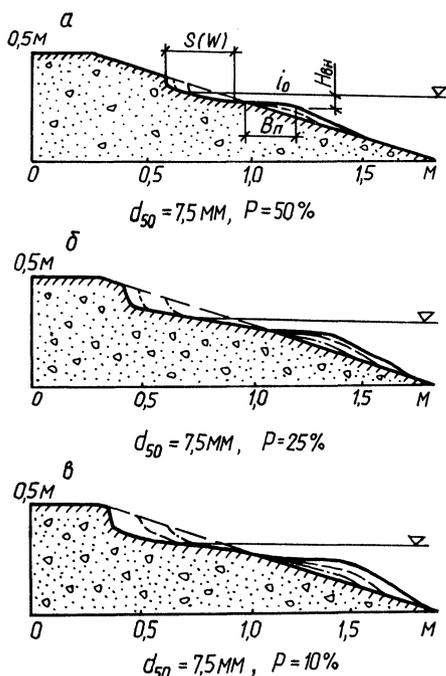


Рис. 1. Зависимость формы профиля равновесия от однородности грунта.

В то же время соотношение между отдельными элементами профиля изменяется.

Сравнивая профили откосов на различной стадии переработки, можно отметить: по мере возрастания неоднородности грунта откоса, а также концентрации-содержания гравелистых частиц в смеси, величина переработки S , а соответственно, и объема грунта, вымытого из первоначального откоса W , уменьшается (табл. 2). Это объясняется тем, что по мере возрастания крупности частиц, слагающих откос, а также их неоднородности замедляется процесс деформации откоса. В случае, когда откос сложен грунтом, имеющим малый коэффициент неоднородности и, соответственно, малый коэффициент фильтрации, вся энергия волны, которая осталась после ее разрушения, передается на поверхность откоса и воздействует на слагающие его частицы. По мере возрастания крупности и количества частиц, слагающих откос, увеличивается его фильтрующая способность. В результате часть волнового потока вскапывается вверх по откосу и как бы "впитывается" в его верхний слой, не вызывая перемещения в продольном направлении. Кроме того, одни и те же

Всего было выполнено 18 серий опытов с различным составом грунта в откосе и количеством гравелистой смеси в нем (табл. 1).

Развитие профиля откоса под действием волнения происходило по абразивно-аккумулятивной схеме с образованием характерных, наблюдаемых в натуральных условиях элементов: клифа (обрыва), пляжа, подводной отмели и т.д. Результаты опытов представлены в табл. 2, в которой для каждого типа песчано-гравийной смеси приведены значения деформации откоса, характеризующиеся величиной S . Анализ данных показал, что внесение включений в состав размываемого грунта различной крупности резко изменяет динамику и механизм процесса размыва.

На рис. 1 представлены профили откоса на ряде стадий переработки, сложенные из грунтов различной неоднородности. Из рисунка следует, что общий характер деформаций откоса сохраняется для всех типов грунтов.

Характеристика материала грунта откоса

Номер опыта	Тип смеси	Фракционный состав, мм	d_{50} мм	S_0 каждой фракции
1	Однокомпонентная	(0,1 ÷ 0,25)	0,17	1,25
4		(1,0 ÷ 2,0)	1,5	1,78
6		(5,0 ÷ 10,0)	7,5	2,31
1	Двухкомпонентная	(0,1 ÷ 0,2 и 1,0 ÷ 2,0)	0,85	1,63
5		(2,0 ÷ 5,0 и 10,0 ÷ 15,0)	8,0	2,66
9	Трехкомпонентная	(10,0 ÷ 15,0 и 15,0 ÷ 20,0)	15,0	2,10
2		(0,1 ÷ 0,25, 1,0 ÷ 2,0 и 2,0 ÷ 5,0)	2,57	1,77
2		(2,0 ÷ 5,0, 5,0 ÷ 10,0, 10,0 ÷ 15,0 и 15,0 ÷ 20,0)	10,2	1,95

Таблица 2.

Величина деформации откоса модели

Номер опыта	d_{50} , мм	S_0	Величина размыва, см			Тип смеси
			концентрация включений, %			
			10	25	50	
5	3,5	4,0	—	41,0	33,0	Однокомпонентная
6	7,5	4,4	46,5	40,0	37,0	
7	12,5	5,1	35,0	30,0	24,5	
4	5,5	5,7	38,0	34,5	28,0	Двухкомпонентная
6	10,5	6,3	24,5	21,0	17,0	
9	15,0	6,6	27,5	24,5	21,0	Трехкомпонентная
2	18,7	6,9	29,0	26,0	22,0	
2	10,2	7,8	27,0	23,0	20,0	

волновые скорости способны произвести больший размыв в грунтах с меньшей неоднородностью.

По-разному протекает процесс переработки откосов во времени. Это видно на совмещенных графиках изменения отдельных характеристик профиля откосов, сложенных с различной степенью неоднородности (рис. 2). Наиболее интенсивно процесс переработки протекает на начальной стадии.

За период, соответствующий примерно 1/4 периода полного переформирования, выносятся до 75 % грунта с поверхности откоса. Характерной особенностью процесса является то, что в течение начальной стадии устанавливаются постоянными основные элементы профиля: уклон отмели (I), глубина на внешнем краю отмели ($H_{вн}$). Уклон отмели в начале разрушения откоса крутой. Постепенно уменьшаясь, он становится стабильным для данного состава

грунтов. Дальнейший размыв происходит главным образом за счет переработки берегового обрыва.

Сравнение профилей равновесия, полученных при размыве откоса, сложенного однородным грунтом из среднезернистого песка, и экспериментальных — с повышенной неоднородностью показало:

1) на профиле равновесия при повышенной неоднородности отсутствуют вал и ложбина;

2) абразивная часть отмели при наличии крупнозернистых включений в грунт в процессе переработки самоупрочняется посредством покрытия поверхности крупнозернистыми частицами.

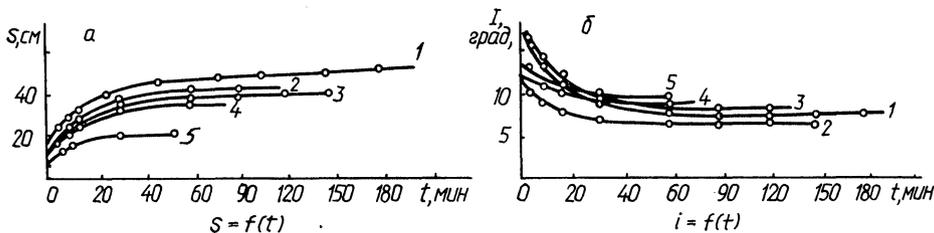


Рис. 2. Изменение характеристик профиля во времени при различном коэффициенте неоднородности:

$d_{50} = 3,5$ мм (1); 7,5 мм (2); 10,5 мм (3); 12,3 мм (4); 15,5 мм (5).

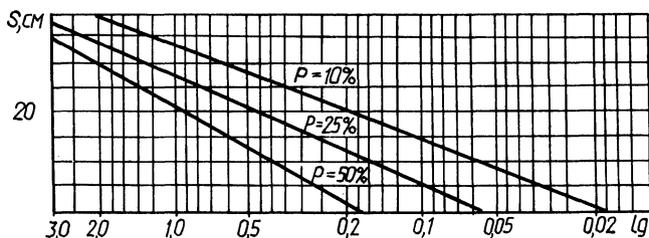


Рис. 3. Расчет деформации откоса при равновесии по коэффициенту неоднородности грунта.

При анализе опытных данных было установлено, что между основными параметрами профиля — S , W , характеризующими деформации откоса, и неоднородностью состава грунта существует обратная зависимость (рис. 3).

Параметры профиля S , W в зависимости от коэффициента неоднородности грунта откоса можно рассчитать по формулам (для модели)

$$S = \frac{1}{b_1} \left(1 - \frac{1}{a_1} \lg \frac{d_{60}}{d_{10}} \right); \quad W = \frac{1}{b_2} \left(1 - \frac{1}{a_2} \lg \frac{d_{60}}{d_{10}} \right),$$

где показатель степени $a = F(d_{свзв})$. Коэффициенты b_1 и a_1 зависят от концентрации крупнозернистых фракций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ц а й т ц \Е.С. Действие волн на откос из несвязных грунтов: Автореф. канд. дис.... канд. техн. наук. — Киев, 1958. — 20 с. 2. М а к с и м ч у к В.Л. Основы динамики пляжевого процесса: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. — М., 1975. — 40 с. 3. П ы ш к и н Б.А. Динамика берегов водохранилищ. — Киев, 1970. — 351 с. 4. М а л ь ц е в В.П. Экспериментальные исследования динамики профиля галечного пляжа. — В кн.: Вопросы гидравлики прибрежной зоны водоемов. М., 1976, вып. 99, с. 64–77. 5. Я р о с л а в ц е в Н.А. Исследования динамики галечного пляжа. — Водные ресурсы, 1981, № 5, с. 77–81. 6. Основания гидротехнических сооружений, СНиП II-16-76. — М., 1977, с. 193.

УДК 551.466.61

А.И.ДОБРОЛЮБОВ, канд.техн.наук
(ИТК АН БССР)

О ПЕРЕНОСЕ ЖИДКОСТИ ОДИНОЧНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНОЙ

Задача о волновых движениях жидкости относится к числу сложных и окончательно нерешенных задач гидромеханики. Особенно сложными являются решения в "дифференциальной" постановке этой задачи, т.е. нахождение скоростей и траекторий отдельных частиц жидкости. "Интегральный" подход к решению этой задачи, когда объектом поиска служат осредненные характеристики (скорости, расходы) волнового движения, является более результативным с точки зрения практических выводов и в то же время, как правило, требует менее сложного математического аппарата [1] .

Далее решается задача нахождения осредненных во времени и по сечению скоростей и расходов жидкости, осуществляемых бегущими (прогрессивными) волнами на поверхности водоема. Показано, что бегущие одиночные волны, независимо от глубины водоема, переносят воду в направлении своего движения. Причем объем переносимой воды равен объему гребня волны, а движение частиц воды носит шаговый ("эстафетно-последовательный") характер.

Рассмотрим рис.1, на котором изображена движущаяся одномерная (плоская) одиночная волна на поверхности открытого водоема постоянной ширины B . Покажем, что такая волна, переместившись вдоль поверхности воды на расстояние L , переносит на то же расстояние воду в количестве, равном объему выпуклой части волны (заштрихованная часть на рис. 1). Для этого используем прием из литературы [2], Свяжем с движущейся волной подвижную K' -систему координат $x'oy'$, ось x' которой совпадает с осью x неподвижной K -системы $хоу$. K' -система движется вдоль оси x со скоростью \tilde{v} волны. Поэтому волна (но не жидкость!) неподвижна относительно K' -системы. Считаем жидкость идеальной, т.е. лишенной вязкости и несжимаемой. Рассмотрим движение жидкости относительно K' -системы как стационарный поток жидкости в жестком неподвижном закрытом канале переменного поперечного сечения. Верхняя жесткая стенка ("крыша") канала имеет волнообразную форму, дно — гладкое. Очевидно, что расход относительно K' -системы в спокойной (недеформированной волной) части этого канала будет $Q = S_0 \tilde{v}$, где