

где  $H_{\text{пл}}$  — высота плотины от основания до гребня, м;  $x_0$  и  $y_0$ , м — абсцисса и ордината наиболее опасного центра круглоцилиндрической поверхности скольжения, которая захватывает часть гребня и откоса плотины; начало координат находится на пересечении линии, проходящей через подошву плотины (ось абсцисс), с вертикальной линией, проходящей через начало на гребне плотины наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения (ось ординат) (см. рис. 2, б);  $n$  — показатель степени, который зависит от коэффициента заложения откоса плотины  $m$ , принимается по графику (см. рис. 2, в);  $a$  — коэффициент, равный 1,05  $b$  — параметр, зависящий от заложения откоса  $m$  (для  $m = 1,5-2,0$   $b = 0,5$ ; для  $m = 3,0$   $b = 0,6$ ).

Отношением  $x_0/H_{\text{пл}}$  задаются в зависимости от заложения откоса плотины  $m$ :  $x_0/H_{\text{пл}} = 0,9-1,4$  для  $m = 1,5$ ;  $x_0/H_{\text{пл}} = 0,88-1,2$  для  $m = 2,0$  и  $x_0/H_{\text{пл}} = 0,7-1,45$  для  $m = 3,0$  (см. рис. 2, а).

Определив по зависимости (1) координаты наиболее опасной цилиндрической поверхности скольжения, коэффициент устойчивости обрушающегося грунтового массива определяют как отношение моментов сил, удерживающих массив от сдвига к моменту сил, сдвигающих грунтовый массив относительно центра [ 2 ] .

Значения  $K_s$ , вычисленные по формуле [ 2 ], должны быть в пределах 0,79—1,12, которые получены экспериментально на моделях плотин с обрушившимися грунтовыми массивами по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения, проходящим по гребню плотины и откосу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А р и с т о в с к и й В.В. Критическая поверхность скольжения земляных откосов. — Одесса, 1949. — С. 27—33. 2. Гидротехнические сооружения / Под ред. проф. М.М. Гришина. — М., 1979. — 616 с.

УДК 627.18:532.59

Е.М. ЛЕВКЕВИЧ, СИЛЛА МАМАДИ

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОКРЫТИЙ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ НА ВЫСОТУ НАКАТА ВОЛНЫ

Высота наката волны является одним из факторов, определяющих верхнюю границу крепления откосов земляных плотин, дамб и берегов водоемов, подвергающихся действию волн.

Многочисленными исследованиями, проведенными в лабораторных и натуральных условиях [1—19], установлено, что высота наката на пологий откос зависит от высоты волны  $h$ , ее длины  $\lambda$ , пологости  $\lambda_h$ , коэффициента откоса  $m$  и состояния его поверхности (шероховатости и проницаемости) или его покрытия. В результате исследований получено большое количество формул и методик, по которым можно определять этот важный параметр. Анализ имеющихся зависимостей, проведенный ранее отдельными авторами [3,5—10, 14—16] и нами, показывает, что высота наката растет с увеличением высоты, длины и пологости волны и уменьшается с увеличением крутизны (уменьшением коэффициента  $m$ ) откоса. Численные значения этих характеристик (волнения и откоса) входят в расчетные зависимости в различных сочетаниях. Что касается влияния шероховатости и проницаемости откоса, то установлено, что с их увеличением высота наката волны также уменьшается. В рекомендациях отдельных авторов [2, 3, 8, 14, 15], в действовавших и действующих нормативных документах [12, 13, 19] эти две характеристики учитываются обобщенным коэффициентом, так как считается, что раздельный их учет не представляется возможным [2, 14, 15, 16]. Вместе с тем при креплении верховых откосов плотин и дамб сборными железобетонными плитами с открытыми швами проницаемость (скважность покрытия), характеризующаяся отношением площади швов и отверстий (при их наличии)  $S_{\text{отв}}$  к площади плиты  $S_{\text{пл}}$ , т. е.  $P = S_{\text{отв}}/S_{\text{пл}}$ , может достигать до 10% при сравнительно одинаковой шероховатости. На таких покрытиях при накате волны часть воды при движении вверх по откосу проникает через швы в подготовку и в материал откоса, в результате чего накат волны уменьшается [5] по сравнению с накатом на непроницаемое покрытие. В этих случаях высота наката будет зависеть от скважности покрытия, т. е. от ширины швов между плитами, а при наличии отверстий в них — и от площади отверстий.

В связи с тем что в такой постановке этот вопрос не получил достаточного освещения в литературе, нами для его изучения были проведены экспериментальные исследования в лаборатории.

Опыты проводились в волновом лотке размерами 1200 × 32 × 60 см на модели земляной плотины, отсыпанной из песка средней крупности (высота 50 см, ширина гребня 20 см, коэффициент верхового откоса 3, низового — 1,5). На низовом откосе у подошвы укладывался наклонный дренаж на высоту 20 см; на верховом по слою обратного фильтра — бетонная плита толщиной 2,5 см с отверстиями диаметром 0,4 см, располагавшимися через 2 см в обоих направлениях, перекрывающая которые достигалась необходимая в опытах скважность в пределах 0—3%. Для получения скважности 5—10% вместо сплошной плиты укладывались бетонные плитки размерами 10 × 10 × 2,5 см с шириной швов, обеспечивающих необходимую скважность. Опыты состояли в том, что при заданной скважности покрытия при нескольких волновых режимах визуально мерной линейкой измерялась высота наката волны. Опыты про-

водились при глубине 35,0 см, при скважностях покрытия: 0; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10 %.

На рис. 1 приведены графики зависимости опытных значений высоты наката для различных проницаемостей покрытия и значения, рассчитанные по методикам и формулам, в которых учитывается проницаемость откосов [ 2, 3 ], или по формулам, которые получены в сходных условиях. Из графика видно, что проницаемость покрытия оказывает существенное влияние на высоту наката. В табл. 1 приведены опытные величины высоты наката на откос  $m = 3,0$  для покрытий и их соотношения при разных высотах волн.

Из таблицы видно, что в пределах значений опытных параметров волн и скважностей покрытия уменьшение высоты наката составило в среднем примерно 30 %. Сравнение опытных данных с расчетными, произведенное аналитически и графически (см. рис.1),

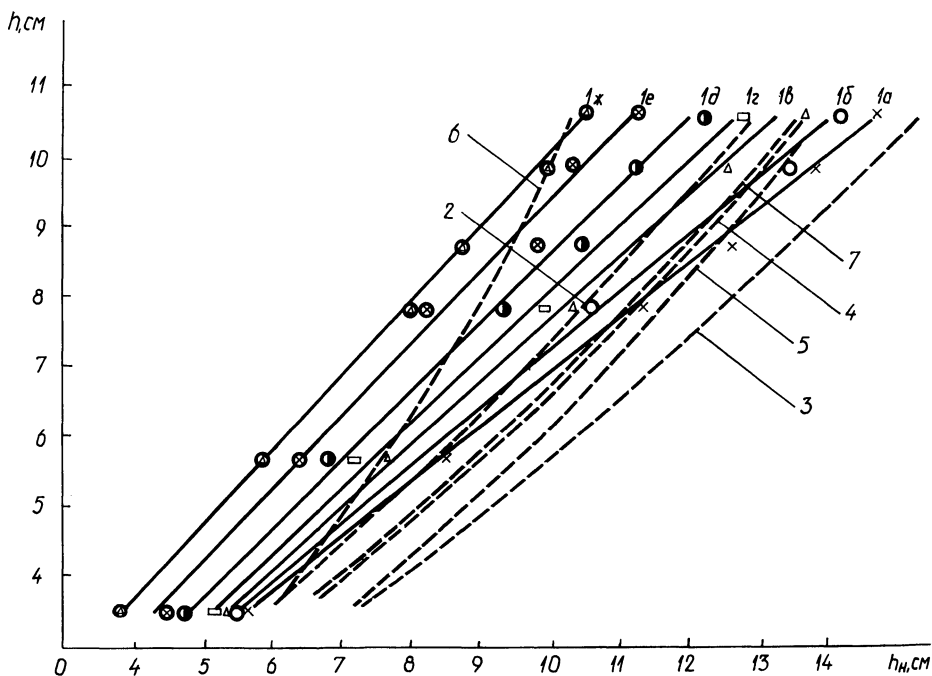


Рис. 1. Графики зависимости высоты наката волны при регулярном волнении на грунтовой откос с проницаемым покрытием по опытным и расчетным данным при  $m = 3,0$ ,  $\lambda = 102$  см,  $H = 35$  см: опытные – 1а – 1ж, при  $P = 0,25 \dots 10$  %; расчетные – по формулам:

2 – П.А. Шанкина [ 2 ]; 3 – А.М. Жуковца, Н.Н. Зайцева [ 3 ]; 4 – Б.А. Пышкина [ 4 ]; 5 – Е.В. Курловича [ 5 ]; 6 – В.Л. Максимчука [ 8 ]; 7 – СН92-60 [ 12 ]. Условные обозначения: X – 1а ( $P = 0,25$  %); O – 1б ( $P = 0,5$  %); Δ – 1в ( $P = 1$  %); □ – 1г ( $P = 2$  %); ● – 1д ( $P = 3$  %); ⊙ – 1е ( $P = 5$  %); ⊕ – 1ж ( $P = 10$  %)

Табл. 1. Опытные величины высоты наката на откос  $m = 3,0$

Характеристика волн	Высота $h$ , см	3,5	5,6	7,8	8,7	9,8	10,6
	пологость $\lambda/h$	29,1	18,2	13,1	11,7	10,4	9,6
Характеристика	Высота наката волны $h_{н.о.}$ , см						
	Проницаемости покрытий $P$ , %	0,25	5,69	7,75	11,38	12,55	13,72
	10,0	3,98	5,85	7,1	8,85	9,96	10,59
$h_{н.о} 0,25\% - h_{н.о} 10\%$		30	24,5	37,6	29,5	27,4	27,2

показало, что общий характер зависимости между высотой наката и характеристиками волн перед откосом при регулярном волнении близок к расчетному, полученному по формулам П.А.Шанкина [ 2 ], Б.А. Пышкина [ 4 ], Е.В. Курловича [ 5 ] и СН 92-60 [ 12 ], т. е. по зависимостям, полученным в лабораторных условиях.

Совместный анализ опытных и расчетных данных показал, что для откосов, покрытых плитными проницаемыми покрытиями, влияние пологости волны, заложения откоса и состояния его поверхности отражается характеристиками, входящими в состав вышеперечисленных формул. Влияние проницаемости находится в прямой зависимости от ее величины: при ее росте увеличивается объем воды, протекающей в подготовку через швы, отверстия или трещины, что соответственно уменьшает высоту наката. На рис. 2 приведены значения относительных высот наката ( $h_{н.о.р} = h_{н.о}/h$ ), полученные при опытных волновых режимах и проницаемостях по-

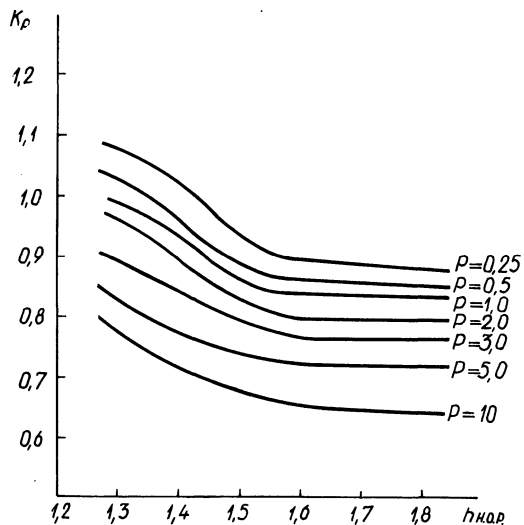


Рис. 2. График зависимости относительной высоты наката от проницаемости покрытия для условий опыта. Условные обозначения:  $h_{н.о}/h$  при  $h_{см} = 5,6 - x$ ;  $7,8 - \oplus$ ;  $8,7 - \odot$ ;  $9,8 - \bullet$ ;  $10,6 - \Delta$

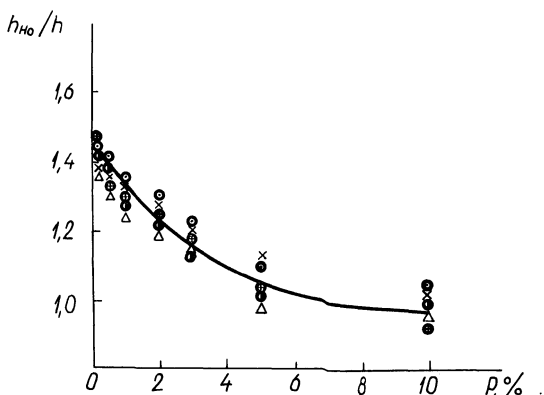


Рис. 3. График зависимости коэффициента  $K_p$  от относительной высоты наката волны. Условные обозначения:  $h_{н.о.}/K_p$  при  $h_{см} = 5,6 - \times$ ;  $7,8 - \oplus$ ;  $8,7 - \odot$ ;  $9,8 - \bullet$ ;  $10,6 - \Delta$

крытия. Расположение опытных точек показывает, что независимо от абсолютного значения высоты исходной волны  $h$  относительная высота наката примерно одинакова для откоса с покрытием, имеющим одинаковую проницаемость, и уменьшается с ее возрастанием.

Полученные результаты показали на необходимость и возможность учета проницаемости плитных покрытий при определении высоты наката волны на укрепленный откос. Учет этого фактора возможен путем введения в одну из расчетных формул соответствующего коэффициента, зависящего от проницаемости покрытия. При этом значения коэффициента будут различны и зависят от того, какая из формул принята за основу. В нашем случае достаточно близкая сходимость с опытными данными была получена по формуле [12], имеющей вид

$$h_n = \frac{2K_{ш} h}{m} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{h}}, \quad (1)$$

где  $K_{ш}$  — коэффициент, зависящий от типа покрытия откоса (для нашего случая  $K_{ш} = 0,9$ ). По этой формуле для опытных значений высоты и длины волны были вычислены расчетные высоты наката и их относительные величины:

$$h_{н.о.р} = \frac{h_{н.п}}{h} = \frac{2K_{ш}}{m} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{h}}. \quad (2)$$

Величина коэффициента  $K_p$ , учитывающего проницаемость покрытия, была получена путем деления относительных опытных высот наката на расчетные. По данным расчетов построен график (рис.3). Таким образом, для определения высоты наката волны на откос, укрепленный проницаемым плитным покрытием, при регулярном волнении может быть рекомендована зависимость

$$h_n = \frac{2K_{ш} K_p h}{m} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{h}}, \quad (3)$$

где  $K_p$  — коэффициент, зависящий от проницаемости покрытия, определяемый по графику (см. рис. 3) в зависимости от величины

$$\frac{2K_p}{m} \sqrt{\frac{\lambda}{h}}$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Джунковский Н.Н. Действие ветровых волн на гидротехнические сооружения. — М., 1940. — 224 с.
2. Шанкин П.А. Воздействие волн на гидротехнические сооружения. — М., 1955. — 240 с.
3. Жуковец А.М., Зайцев Н.Н. Воздействия волн на сооружения откосного типа. — Л., 1956. — 28 с.
4. Пышкин Б.А. О влиянии длины волны на высоту наката на откос // Гидротехническое строительство. — 1937. — № 4. — С. 28—31.
5. Курлович Е.В. Экспериментальное исследование действия волнения на бетонные покрытия откосов земляных сооружений // Сб. тр. МИСИ. — 1957. — № 20. — С. 125—149.
6. Сидорова А.Г. Высота наката волн на откос // Сб. тр. МИСИ. — 1957. — № 20. — С. 81—87.
7. Офицеров А.С. Гидравлические лабораторные исследования морского порта // Волновые исследования гидротехнических сооружений. — М., 1961. — С. 5—62.
8. Пышкин Б.А., Русаков С.В., Максимчук В.Л. Проектирование защитных сооружений на водохранилищах. — Киев, 1962. — С. 16—34.
9. Шайтан В.С. Проектирование креплений земляных откосов на водохранилищах. — М., 1962. — 351 с.
10. Андрейчук И.Я. О высоте наката волны на откосные сооружения в натуральных условиях // Изв. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, т. 73. — М.; Л., 1963. — С. 225—232.
11. Попов И.Я., Рябых В.М. О высоте наката волны на откос // Труды координационных совещаний по гидротехнике. — Л., 1969. — Вып. 50. — С. 473—477.
12. Технические условия определения волновых воздействий на морские, речные сооружения и берега. СН 92-60. — М., 1965. — 132 с.
13. СН 288-64. — М., 1965. — 12 с.
14. Шайтан В.С. Крепления земляных откосов гидротехнических сооружений. — М., 1974. — 352 с.
15. Красножон Г.Ф. Накат волн на откосы // Теория волн и расчет гидротехнических сооружений. — М., 1975. — С. 160—175.
16. Радченко И.К. О некоторых аспектах расчета наката волн на крутые откосы // Труды координационных совещаний по гидротехнике. — Л., 1977. — Вып. 122. — С. 207—211.
17. Сапожников Г.П. О влиянии проницаемости покрытий откосов на высоту наката волн // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. — Мн., 1979. — Вып. 9. — 23 с.
18. Масс Е.И., Судобичер В.Г. Численный метод расчета макета волн в прибрежной зоне крупных водоемов // Водные ресурсы. — 1980. — № 3. — С. 143—148.
19. СНиП 2.06.04-82. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). — М., 1983. — 38 с.