

Е. М. Левкевич, В. Н. Юхновец

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВОЛНЕНИЯ В ВЕРХНЕМ БЬЕФЕ НА ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РЕЖИМ В НАПОРНОЙ ДАМБЕ

При проведении лабораторных исследований фильтрации через напорные дамбы с верховым откосом, покрытым водопроницаемым креплением, нами было установлено, что при продолжительном воздействии регулярных волн на верховой откос модели наблюдается подъем депрессионной кривой над ее положением, установившемся при спокойном уровне в верхнем бьефе [1].

Для детального изучения этого вопроса нами были поставлены лабораторные опыты, в задачу которых входило изучение влияния волнения на фильтрационный режим в дамбе с различным заложением верхового откоса ее и при действии регулярных волн различных параметров. Исследования проводились в волновом лотке $12,0 \times 0,4 \times 0,32$ м. Для воспроизведения волн лоток оборудован волнопродуктором типа качающегося щита, обеспечивающего получение волн в широком диапазоне периодов — от 0,6 до 2,5 сек и высотой 3—12 см.

В лотке устанавливалась модель дамбы (рис. 1), имеющая следующие размеры: высоту 40 см, ширину по гребню 30 см, заложение низового откоса — 1 : 2, верхового — от 1 : 3 до 1 : 10 (в зависимости от условий опыта).

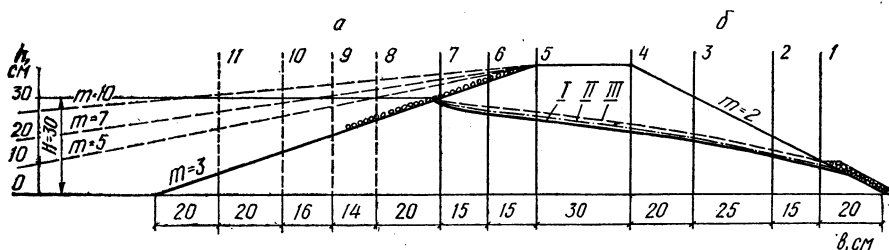


Рис. 1. Схема модели дамбы и кривые депрессии:

I — по опытным данным; II — по Е. А. Замарину; III — по СНиП. II-И 4-62; а — пьезометры для $m=5, 7, 10$; б — для всех заложений откосов.

Поверхность верхового откоса укреплялась отсыпкой из мелкого гравия слоем толщиной 1—2 см. Кроме этого, в зоне разрушения волны на поверхность откоса укладывалась металлическая сетка с ячейкой $0,5 \times 0,5$ см. На низовом откосе на высоту 10 см укладывался наклонный дренаж из мелкого гравия слоем 3 см.

Грунт тела дамбы — среднезернистый песок, физико-механические свойства которого приведены в табл. 1.

Для измерения уровня грунтовой воды в дамбе устанавливались пьезометры, количество которых в зависимости от заложения верхового откоса изменялось от 7 (при заложении 1:3) до 11 (при заложении 1:10). Пьезометры изготовлялись из дюралевых трубок диаметром 13 мм.

Таблица 1

Диаметр фракций грунта, мм	>5	5—3	3—2	2—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	< 0,1	Угол естественного откоса, град		$K_{\Phi(10)}$, см/сек	$n = \frac{d_{60}}{d_{10}}$
									сухого	мокрого		
Количество фракций, %	0,17	0,85	2,0	5,5	32,45	39,65	18,25	1,13	37	33	0,01064	3

Для сброса и измерения расхода профильтровавшейся воды в нижний бьеф за наклонным дренажом в дне лотка было сделано отверстие с водоотводящей трубкой.

Уровни и элементы волн измерялись при помощи мерных игл электросигнальным способом. Параметры волнения и высота наката волны на откос определялись также осциллографическим способом при помощи двухэлектродных датчиков, усилителя и осциллографа Н-700.

Опыты производились в следующем порядке. В первую очередь определялось положение кривой депрессии при различных уровнях воды в верхнем бьефе. Для этого модель после ее изготовления замачивалась путем медленного подъема уровня воды в лотке. Когда уровень достигал отметки 30 см, подача воды осуществлялась в объеме, компенсирующем потери на фильтрацию. Через 10—15 мин проводилось измерение уровня воды в пьезометрах H_n и фильтрационного расхода q_f до тех пор, пока указанные параметры не становились постоянными. Затем путем увеличения расхода питания уровень в верхнем бьефе поднимался на 2 см, и опыт повторялся. Таким образом, для каждого откоса фиксировались элементы фильтрационного потока для уровней 30, 32, 34, 36, 38 см. После измерений уровень воды в верхнем бьефе медленно опускался до глубины 30 см.

После стабилизации грунтового потока в лотке создавался определенный волновой режим, который вызывал изменение положения кривой депрессии. Так же, как и в предыдущих опытах, проводились периодические наблюдения за изменением элементов грунтового потока. По достижении стабильных показаний измерялись и регистрировались параметры волн, уровни воды в пьезометрах, фильтрационные расходы и высота наката волны. После измерений задавался новый волновой режим, и опыт повторялся.

Опыты проводились при следующих параметрах: m — коэффициент заложения верхового откоса модели — 3, 5, 7, 10; H — глубина воды в верхнем бьефе (30 см); H_1 — глубина воды в нижнем бьефе (0); τ — период волны (0,73, 0,81, 0,88, 0,99, 1,1 сек); λ — длина волны (82, 108, 125, 150, 177 см); h — высота волны — от минимальной до максимальной в пределах каждой длины (от 3 до 12,0 см); $\lambda_0 = \frac{\lambda}{h}$ — пологость волны (10—60).

При анализе результатов опытов опытная кривая депрессии, установившаяся при статическом уровне, сравнивалась с кривой депрессии, подсчитанной по применяемым в практике методам. Сравнение показало, что имеется достаточно близкое совпадение между опытной кривой депрессии и кривыми, подсчитанными по методу Е. А. Замарина [2] и СНиП II-И 4-62 [3] (см. рис. 1). Лучшее совпадение имеется с кривой, построенной по методу Е. А. Замарина.

Во всех опытах при волнении наблюдались подъем кривой депрессии над ее исходным положением, имевшимся при спокойном уровне воды в лотке, а также увеличение фильтрационного расхода от 10 до 37%. Влияние волнения на изменение положения кривой депрессии мож-

но приравнять действию дополнительного напора, который совместно со статическим напором изменяет режим фильтрации в теле дамбы.

Непосредственно по опытным данным установить величину этого дополнительного напора не представлялось возможным, так как при волнении точка пересечения кривой депрессии непосредственно с поверхностью откоса отсутствует. В зоне наката и скатывания волны в верхнем слое грунта у поверхности откоса имеют место колебания уровней грунтовых вод, которые затухают по мере углубления в теле дамбы.

Для определения этого дополнительного напора, который обусловлен действием волнения на откос, был применен графический способ. Он заключался в следующем. На основании данных по измерению положения депрессионной кривой и фильтрационного расхода при статических уровнях воды в верхнем бьефе строились графики зависимости уровней воды в пьезометрах (рис. 2, а) и фильтрационных расходов (рис. 2, б).

Для определения величины дополнительного напора на графики накладывались ординаты кривой депрессии для каждого пьезометра, полученные в опыте при воздействии волнения, и значение фильтрационного расхода. Полученные точки соединялись между собой линией, которая продолжалась до пересечения с осью абсцисс (пунктирная линия на рис. 2, а). Из графика видно, что эта линия есть вертикальная прямая. Последнее обстоятельство указывает на идентичность установившихся режимов фильтрации в дамбе при действии волнения на откос и при повышенном спокойном уровне в верхнем бьефе.

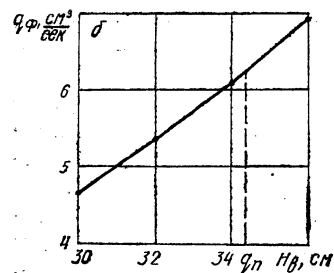


Рис. 2. График изменения элементов грунтового потока в модели при различных уровнях в верхнем бьефе: а — уровни воды в пьезометрах; б — изменение расходов (1, 2, ..., 8 — пьезометры).

По этой методике были определены для исследованных откосов величины дополнительных напоров для всех опытных волновых режимов и построены кривые депрессии (пример построения приведен на рис. 3).

Опыты показали, что величины дополнительного напора ΔH_n возрастают с увеличением высоты и пологости волны, однако связь между этими величинами неодинакова для различных длин, периодов волн и заложения откоса.

Как известно, при разрушении волны на откосе падающая струя разбитой волны разделяется на две части, одна из которых устремляется вниз по откосу, а вторая — вверх в виде потока наката. При опреде-

ленных соотношениях между параметрами волны и откоса массы воды, образовавшие поток наката, не успевают полностью скатиться к месту разрушения волны, поэтому очередная волна разбивается об образующуюся «водяную подушку». При откосе более пологом, чем 1:5, наблюдается также и волновой нагон. В результате указанных явлений часть откоса, расположенная несколько выше статического уровня, оказывается постоянно покрытой водой. Кроме того, в часть поверхности откоса, расположенную в зоне наката, периодически профильтровывается некоторое количество воды, которое не успевает полностью вытечь обратно за время скатывания волны. В результате такого взаимодействия волны с откосом и происходит подъем кривой депрессии по сравнению со статическим уровнем.

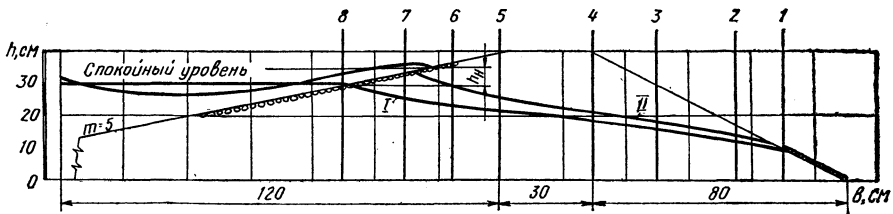


Рис. 3. Кривые депрессии в модели дамбы, полученные при статическом уровне (I) и при волнении (II) ($\lambda=125$ см; $h=10$ см; 1, 2, ..., 8 — пьезометры).

По данным опытов строились графики зависимости величины дополнительного напора ΔH_v от различных параметров волнения. Анализ графиков показал, что имеется прямая связь между дополнительным напором и высотой наката волны h_n , которая может быть выражена зависимостью

$$\Delta H_v = ah_n, \quad (1)$$

где h_n — высота наката волны на откос; a — коэффициент, величина которого изменяется от 0,7 для откоса $m=3$ до 1,0 для откоса $m=7$; здесь

$$a = 0,075m + 0,475. \quad (2)$$

Для откосов $m \geq 7 - 10a = 1,0$.

Как известно, для определения высоты наката волны имеется большое количество формул, полученных в различных условиях. При анализе были рассмотрены формулы [4, 5, 6, 7], полученные в сходных условиях. По ним определены и сопоставлены величины высоты наката волны на откос для всех исследуемых волн и откосов модели.

Сравнение результатов, полученных по опытным данным, с рассчитанными по формулам, показало, что наиболее близкая сходимость получается при вычислении h_n по формуле ВНИИГС [5] для откоса $m=3$. Для более пологих откосов опытные значения h_n не согласуются с рассчитанными по формулам. Поэтому на основе анализа результатов опытов [8] мы предлагаем использовать эмпирическую зависимость по определению h_n для водопроницаемых откосов с заложением $m=3-10$:

$$h_n = \left(\sqrt[3]{\frac{\lambda_0}{m}} \sqrt[4]{\frac{h}{H}} - 0,55 \right) h, \quad (3)$$

где h_n — высота наката волны на откос; λ, h — длина и высота волны перед откосом; λ_0 — пологость волны ($\lambda_0 = \frac{\lambda}{h}$); H — глубина воды перед откосом.

Выводы

1. Лабораторными исследованиями установлено, что при воздействии регулярного волнения на водопроницаемый откос сооружения имеют место изменения в фильтрационном режиме: поднимается кривая депрессии, увеличивается фильтрационный расход по сравнению с имеющимся при статическом уровне в верхнем бьефе.

2. Влияние волнения на режим фильтрации может быть выражено через дополнительный напор ΔH_v , величина которого для одной и той же дамбы при одинаковых грунтовых условиях зависит от высоты наката волны.

3. Для определения величины ΔH_v на моделях сооружений могут быть использованы предложенные метод и эмпирическая зависимость.

4. Для использования полученных данных в производственной практике необходимо проведение натурных исследований в условиях нерегулярного волнения.

Литература

1. Е. М. Левкевич, В. Н. Юхновец. Лабораторные исследования влияния волнения на положение кривой депрессии в напорной дамбе. «Изв. вузов СССР. Энергетика», 1971, № 6.
2. Е. А. Самарин, В. В. Фандеев. Гидротехнические сооружения. М., 1965.
3. Строительные нормы и правила. Ч. II, разд. II. М., 1963.
4. Технические условия определения волновых воздействий на морские и речные сооружения и берега (СН 92-60). М., 1960.
5. А. М. Жуковец, Н. Н. Зайцев. Воздействие волн на сооружения откосного типа. Л.—М., 1956.
6. П. А. Шанкин. Воздействие волн на гидротехнические сооружения. М., 1955.
7. Б. А. Пышкин, С. В. Русаков, В. Л. Максимчук. Проектирование защитных сооружений на водохранилищах. Киев, 1962.
8. В. Н. Юхновец. О высоте наката волны на водопроницаемый откос. «Научн. техн. инф. Мелиорация и водное хозяйство», 1971, № 4.