

упаковывают в бьюксы и доставляют в лабораторию для дальнейшей обработки.

После высушивания и взвешивания проб наносов определяют: объем наносов в каждом секторе Q_i и гранулометрический состав наносов (табл. 1);

геометрическим способом путем сложения векторов (элементарных секторных расходов наносов) суммарный объем ΣQ_{xy} , а также вдольбереговую Q_x (рис. 3, б) и поперечную Q_y (рис. 3, в) составляющие расхода наносов по каждому наносоуловителю; по величинам Q_x и Q_y для каждой точки измерения строят эпюры расхода наносов (см. рис. 3, б, в) и определяют результирующее значение эпюры P_{xy} и суммарное направление движения наносов (рис. 3, г).

Апробация способа была выполнена на ряде водохранилищ Белорусской ССР — Дубровское, Петровичи, Цнянское и другие и рекомендуется для ширского использования в гидрологических и гидромелиоративных изысканиях. Полевые изыскания показали, что основными преимуществами описанной методики измерения и приборов являются: простота конструкции и оперативность производства работ; малое число людей (не более двух человек); высокая достоверность и точность результатов измерений; возможность отображения результатов измерений графически.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях. — М., 1975. — 240 с.
2. Пышкин Б.А. Динамика берегов водохранилищ. — Киев, 1973. — 414 с.
3. Левкевич В.Е. Приборы для изучения кинематической структуры волнового потока в береговой зоне малых водоемов. — НТИ / Минводхоз БССР. — 1986. — № 1. — С. 19—22.

УДК 627.831/835+627.131:532.51

П.М. БОГОСЛАВЧИК

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ РЕЗЕРВНОГО ВОДОСБРОСА С РАЗМЫВАЕМОЙ ГРУНТОВОЙ ВСТАВКОЙ

При проектировании резервного водосброса с размываемой вставкой [1] выполняется гидравлический расчет, который состоит из определения размеров водопропускного отверстия и расчета размыва грунтовой вставки при переливе. При определении размеров водопропускного отверстия особых трудностей не возникает. Расчет здесь выполняется известными способами на пропуск расчетного расхода, который равен разности между расходом воды в реке и пропускной способностью основного водосброса.

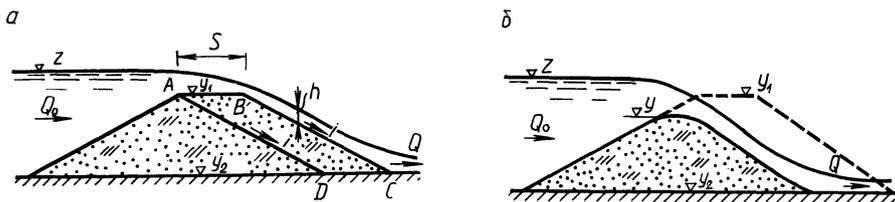


Рис. 1. Размыв вставки из песчаных грунтов

В соответствии с разработанной ранее расчетной схемой [1, 2] размыв вставки из песчаных грунтов условно разделен на две стадии (рис. 1). На первой стадии размывается низовой откос как бы параллельными слоями. При этом отметка гребня со стороны верховой бровки остается постоянной. На второй стадии происходит интенсивное снижение гребня. На основании данной схемы были получены уравнения деформации для первой и второй стадий, которые совместно с уравнениями движения потока дают математическую модель рассматриваемого явления.

При расчете деформаций размыва ключевым вопросом является выбор формулы транспортирующей способности потока. При исследовании размыва низового клина вставки (первая стадия) была предложена следующая формула:

$$q_s = D \frac{u^3}{wh} q, \quad (1)$$

где q_s — удельный весовой расход твердого стока, кг/с • м; u — средняя скорость потока, м/с; w — средневзвешенная гидравлическая крупность частиц размываемого грунта, м/с; h — глубина потока, м; q — удельный расход воды, м²/с; D — параметр, зависящий от крупности частиц грунта, кг • с²/м².

Относительно физической сущности параметра D в литературе имеются различные толкования. С.Х. Абальянц получил его как характеристику турбулентности потока [4]. У В.С. Лапшенкова дана энергетическая концепция данного параметра [5]. В речной гидравлике величина его принимается по данным экспериментов. Особенности отдельных серий экспериментов и условий их проведения приводят к различным численным значениям. Анализ экспериментальных данных для случая размыва вставок из песчаных грунтов показал, что величина D зависит от крупности частиц грунта следующим образом: если ввести новый параметр $A = D/w$, то его значение во всех опытах примерно одинаково. Получается, что крупность частиц грунта и его гранулометрический состав не влияют на величину расхода твердого стока в рассматриваемых условиях. Подтверждается тот факт, что при скоростях, значительно превышающих предельные неразмывающие, картина транспорта наносов

упрощается [6]. Если при сравнительно небольших скоростях расход наносов зависит почти в одинаковой мере как от гидромеханических характеристик потока, так и от физико-механических свойств грунтов, то при скоростях, когда продукт размыва переходит во взвешенное состояние, влияние этих свойств снижается. Поэтому и формулы расхода взвешенных наносов по структуре проще формул расхода влекомого наносов. Рассматриваемый случай показывает, что при скоростях, значительно превышающих предельные неразмывающие (на низовом откосе размываемой вставки в 10—30 и более раз), расход твердого стока зависит исключительно от гидромеханических характеристик потока. По крайней мере влияние свойств грунтов на его величину не замечено. Таким образом,

$$q_s = A \frac{u^3}{h} q. \quad (2)$$

Параметр A является эмпирическим. Его среднестатистическое значение для песчаных грунтов мелких и средней крупности равно 0,153. Используя данное уравнение в соответствии с изложенными ранее допущениями [2], получаем следующее уравнение деформации для первой стадии размыва:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{A i^{1,2} (2g)^{0,8}}{n^{2,4}} m^{1,6} (z - y)^{2,4}, \quad (3)$$

где M — масса размываемого грунта, кг; t — время, с; i — уклон dna низового откоса; n — коэффициент шероховатости; m — коэффициент расхода; z — уровень верхнего бьефа, м; y — отметка гребня размываемой вставки, м, для первой стадии $y = \text{const}$.

На второй стадии требуется знать интенсивность снижения гребня dy/dt . Ранее [1, 2] были получены уравнения деформации для второй стадии. Причем в одном случае [2] в качестве формулы транспортирующей способности была использована известная формула В.Н. Гончарова. В другом — формула (1). Дальнейшие исследования показали, что более точное совпадение с экспериментальными данными дает уравнение деформации, полученное на основании формулы В.Н. Гончарова. Необходимость применения различных формул транспортирующей способности потока для первой и второй стадии размыва объясняется тем, что по длине размыва имеются некоторые отличия в транспорте наносов на гребне и на откосе. На гребне скорости потока значительно ближе к предельным неразмывающим, в силу чего движение частиц грунта происходит в одинаковой мере как во взвешенном, так и во влекомом состоянии (на откосе исключительно во взвешенном). Здесь на величину q_s оказывают существенное влияние свойства размываемого грунта, что учитывается в формуле В.Н. Гончарова. Таким образом, в окончательном варианте для второй стадии справедливым

следует считать уравнение деформации, полученное на основании формулы В.Н. Гончарова [2] . С учетом результатов исследований кривых свободной поверхности на гребне размываемой вставки [7] это уравнение имеет вид

$$\frac{dy}{dt} = -\sigma \frac{B m^{0,43}}{\rho_0} \frac{\epsilon_1}{g} (z - y)^{0,6} , \quad (4)$$

где

$$\epsilon_1 = \frac{1 - 1,26 m^{2/3}}{\beta} 2g , \quad (5)$$

$$B = 6,77 (1 + \varphi) dg^{2,17} \left(\frac{5,64n \sqrt{2g}}{\varphi \omega} \right)^{3,33} , \quad (6)$$

ρ_0 — плотность грунта вставки, кг/м³; d — средний диаметр частиц грунта, м; φ — параметр турбулентности — отношение расчетной скорости падения частицы к ее действительной гидравлической крупности; β — коэффициент, принимаемый для песчаных грунтов в пределах 1,5—2,0; σ — коэффициент подтопления.

Уравнение движения потока [1, 2]

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Q_0 - Q}{F} , \quad (7)$$

где F — площадь зеркала воды в верхнем бьефе на отметке z , м²; Q_0 — расход в верхнем бьефе (приточность, м³/с); Q — расход через размываемую вставку, м³/с,

$$Q = mb \sqrt{2g} (z - y)^{1,5} , \quad (8)$$

b — ширина переливающегося потока, м.

Расчет по полученным выше уравнениям, целью которого является определение z , y и Q в любой момент размыва вставки, ведется методом конечных разностей, аппроксимируя в соответствующих уравнениях производные конечноразностными отношениями. Задаваясь некоторым интервалом времени Δt , с помощью данных уравнений последовательно на конец каждого интервала определяются необходимые параметры процесса размыва: количество смытого грунта (для первой стадии) , уровень верхнего бьефа, отметку гребня вставки и расход через нее.

При наличии крепления на низовом откосе начало размыва может не совпадать с началом перелива, так как для разрушения крепления требуется, чтобы скорость на откосе превышала критическую неразмывающую для данного типа крепления. В этом случае необходимо установить напор на гребне вставки, при котором

начинается разрушение низового откоса, то есть некоторый начальный напор $(z - y)_н$. Сделаем допущение, что при этом напоре крепление разрушается одновременно по всему откосу, и дальнейший размыв происходит по описанной выше схеме.

Скорость, при которой начинается разрушение крепления при переливе воды через гребень, определяется по формуле критических скоростей [8]

$$u_н = \sqrt{\frac{2f(1-m'_{кр})gD_{кр}}{\lambda\rho} \left[(\rho_{кр} - \rho) \cos\gamma - \frac{\sin\gamma}{f} \right] + \frac{\rho h \cos^2\gamma}{(1-m_{кр}^2)D_{кр}}} \quad (9)$$

где $D_{кр}$ — толщина крепления, м; f — коэффициент трения покрытия по поверхности откоса; γ — угол наклона откоса к горизонту, радиан; $\rho_{кр}$ — плотность материала крепления, кг/м³; λ — коэффициент гидравлического сопротивления, определяемый по формуле

$$\lambda = \frac{8n_{кр}^2 g}{2,25h^{1/3}}, \quad (10)$$

ρ — плотность воды, кг/м³; $m_{кр}$ — пористость крепления; $n_{кр}$ — коэффициент шероховатости крепления, рекомендуется [9]: для дерна — 0,03; для бегона — 0,015; для полимерной пленки — 0,03; для кустарниковой растительности 0,1.

Величина $(\rho_{кр} - \rho) \left(\cos\gamma - \frac{\sin\gamma}{f} \right)$ в уравнении (9) очень мала, и ею в практических расчетах можно пренебречь. С учетом этого уравнение (9) можно записать в следующем виде:

$$u_н = \sqrt{\frac{2f(1-m'_{кр})^2 gh \cos^2\gamma}{\lambda}} \quad (11)$$

Допуская, что кривая спада на откосе короткая и там устанавливается нормальная глубина, можно эту глубину определить из уравнения Шези-Маннинга [2]:

$$h = \frac{(qn)^{0,6}}{i^{0,3}} = \frac{[m\sqrt{2g}(z-y)^{1,5}n_{кр}]^{0,6}}{i^{0,3}} \quad (12)$$

При известной величине $(z - y)$ по (12) определяется h . Подставляя h в (11), получим скорость, при которой происходит разрушение крепления $u_н$. Сравнивая $u_н$ с действительной скоростью,

которая равна $u = q/h$, последовательным приближением можно определить такое $(z - y)$, при котором $u = u_n$. Это и будет начальный напор.

Таким образом, расчет процесса размыва ведется в три этапа. На первом этапе устанавливается начальный напор на гребне вставки. Затем производится расчет для первой стадии размыва и, наконец, рассчитывается вторая стадия.

Для первой стадии расчет ведется в соответствии с расчетной схемой (см. рис. 1). Отметка гребня здесь $y = \text{const}$. Расчет производится в следующем порядке. На конец каждого интервала времени последовательно определяются Δz и ΔM из уравнений (3) и (7), затем при известном Δz — уровень верхнего бьефа и по (8) — расход. При $\Sigma \Delta M = M_0$, где M_0 — масса низовой призмы $ABCD$, следует переходить к расчету второй стадии. Возможен, однако, случай, когда уровень верхнего бьефа достигнет максимально возможного при заданном Q_0 раньше, чем будет размыва низовая призма $ABCD$ массой M_0 . Здесь для упрощения расчетов следует предварительно определить максимально возможный уровень верхнего бьефа при переливе из уравнения

$$(z_{\max} - y) = \left(\frac{Q_0}{mb \sqrt{2g}} \right)^{2/3}. \quad (13)$$

В том случае, когда $\Sigma \Delta M$ будет меньше величины M_0 при достижении $z = z_{\max}$, определяется время, необходимое для размыва остальной части призмы:

$$t_0 = \frac{(M_0 - \Sigma \Delta M) n^{2,4}}{A i^{1,2} m^{1,6} (z_{\max} - y)^{2,4}}. \quad (14)$$

Расчет для второй стадии производится с помощью уравнений (4) и (7). Здесь на конец каждого Δt определяется уровень верхнего бьефа, отметка гребня вставки и расход через нее. На рис. 2 приведена блок-схема программы расчета размыва грунтовой вставки при переливе.

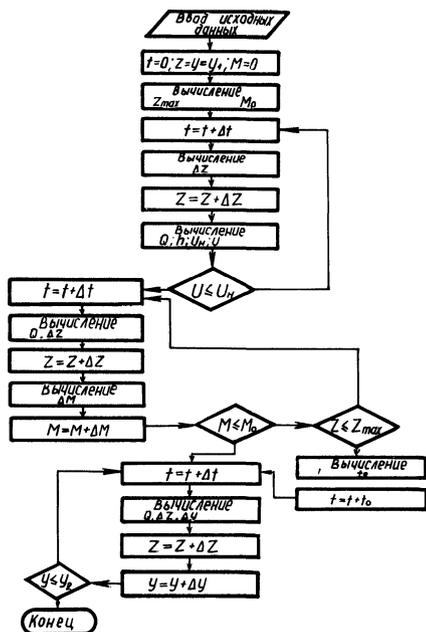


Рис. 2. Блок-схема программы расчета размыва групповой вставки при переливе

ЛИТЕРАТУРА

1. Б о г о с л а в ч и к П.М., Ф и л и п п о в и ч И.В. Гидравлические исследования резервного водосброса по типу размываемой вставки. Материалы конференций и совещаний по гидротехнике: Методы исследований и гидравлических расчетов водосбросных гидротехнических сооружений / ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. — М., 1985. — С. 51—54.
2. Б о г о с л а в ч и к П.М., Ф и л и п п о в и ч И.В. К расчету размыва однородной плотины из песчаных грунтов при переливе воды через гребень // Известия вузов СССР. — 1983. № 2. — С. 100—105.
3. Б о г о с л а в ч и к П.М. Исследования транспортирующей способности потока при размыве плотин из песчаных грунтов // Водное хозяйство и гидротехническое строительство, 1985. — Вып. 14. — С. 48—52.
4. А б а л ь я н ц С.Х. Движение взвесей в открытых потоках // Труды САННИИРИ / Среднеаз. НИИ ирригации им. В.Д. Журина / 1958. — Вып. 96. — С. 3—156.
5. Л а п ш е н к о в В.С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов. — Л., 1979. — 239 с.
6. Г р и ш а н и н К.В. Расход русловых наносов в реках с песчаным дном. Русловые процессы и методы их регулирования: Докл. конф. — Л., 1977. — С. 8—14.
7. Б о г о с л а в ч и к П.М. Исследование кривых свободной поверхности на моделях грунтовых плотин при их размыве переливом // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. — 1987. — Вып. 16. — С. 71—75.
8. И в а н о в Н.А. Защита откосов плотин из грунтовых материалов при кратковременном переливе // Сб. науч. тр. Гидропроекта им. С.Я. Жука. Гидравлика и фильтрация. — М., 1979. — С. 87—94.
9. Л я т х е р В.М., М и л и т е е в А.Н. Расчет устойчивости камней и габионов на поверхности плотины при пропуске через нее больших расходов. Труды коорд. совещаний по гидротехнике. Дополн. мат-лы // Гидравлика высоконапорных водосбросных сооружений. — М., 1975. — С. 148—152.

УДК 532.526

Д.А. КОЗЛОВ, Ю.Е. ЗВЕРХОВСКИЙ, И.В. ПОВОРОТНЫЙ СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЯ ВБЛИЗИ РОТОРА СМЕСИТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Проблема интенсификации гидродинамических процессов и процессов тепло- и массообмена путем активизации турбулентных течений находит широкое применение во всех отраслях народного хозяйства, связанных с использованием однородных растворов, эмульсий, в том числе и в гидротехническом строительстве.

Одним из таких путей является применение гидродинамической кавитации как дополнительного импульсного воздействия на перемешивание дисперсных сред [1, 2]. Весьма своеобразная специфика перемешивания реологически сложных дисперсных систем в устройствах, использующих кавитацию (кавитаторах), порождает новые интересные особенности протекания в них процессов конвективного переноса, закономерности которого недостаточно изучены. Обусловлено это отсутствием методов и средств комплекс-