

Суммируя (11) и (12), получаем расчетную формулу

$$\Delta Z_{\text{п}} = \Delta Z_{\text{мест}} + \Delta Z_{\text{дл}} = Q_{\text{п}}^2 \left(\frac{i_{\text{п}}}{K_{\text{п}}^2} + \frac{1}{2g} \sum_{i=1}^m \frac{1}{\varphi_i^2 b_i^2 h_{\text{п}i}^2} \right). \quad (13)$$

При расчетах уровней формула (13) используется совместно с уравнением (10) при соблюдении условий

$$Q = Q_{\text{п}} + Q_{\text{м}}, \Delta Z = \Delta Z_{\text{п}} = \Delta Z_{\text{м}}, \quad (14)$$

где $Q_{\text{м}}$ — расход части потока воды, текущей мимо польдера; $\Delta Z_{\text{м}}$ — потери напора этой части потока, определяемые из (10).

Выполненные исследования свидетельствуют о том, что разработанный метод может успешно применяться для расчетов водного режима в сложных русловых системах с поймами при расположении на них затопляемых польдеров. Математическое моделирование половодий на реке показало, что использование затопляемых польдеров является эффективным средством регулирования уровня режима весенних половодий. Опыт практического использования разработанного метода расчета подтвердил его достоверность, устойчивость и высокую экономичность.

ЛИТЕРАТУРА

1. К а л и т к и н Н.Н. Численные методы. — М., 1978. — 512 с.
2. С т о к е р Д.Д. Волны на воде. — М., 1959. — С. 613.
3. Г р у ш е в с к и й М.С. Неустановившееся движение воды в реках и каналах. — Л., 1982. — 288 с.
4. К у ч м е н т Л.С. Модели процессов формирования речного стока. — Л., 1980. — 143 с.
5. З н а м е н с к и й В.А. О возможности применения формулы Шези к расчетам паводков на реках // Метеорология и гидрология. — 1961. — № 6. — С. 7–9.
6. С к о р о д у м о в Д.Е. Вопросы гидравлики пойменных русел в связи с задачами построения и экстраполяции кривых расходов воды // Тр. ГГИ, 1965. Вып. 128. — С. 3–96.
7. Б а р ы ш н и к о в И.Б. Речные поймы. — Л., 1978. — 152 с.
8. Х а в и ч В.А. Допустимые пределы упрощения динамического уравнения неустановившегося движения воды в реках при математическом моделировании // Вопросы гидравлики и инженерной гидрологии. — М., 1983. — С. 113–119.

УДК 627.83:532.533

П.М.БОГОСЛАВЧИК (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВЫХ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА МОДЕЛЯХ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН ПРИ ИХ РАЗМЫВЕ ПЕРЕЛИВОМ

Положение кривой свободной поверхности неравномерного потока в общем случае определяется следующим уравнением:

$$\frac{dh}{dx} = - \frac{i - \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R}}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g} \frac{B}{\omega^3}}$$

где h — глубина потока; x — продольная координата; i — уклон дна; Q — расход воды; R — гидравлический радиус; B — ширина потока; a — коэффициент Кориолиса; g — ускорение свободного падения.

При решении этого уравнения для потока на гребне водослива, в том числе и размываемого, где глубина равна критической $dh/dx = \infty$, т.е. касательная к кривой свободной поверхности вертикальная, что противоречит опыту. Таким образом, если исходить с позиций плавноизменяющегося движения, то переход через линию критических глубин становится непонятным [1, 2].

Ранее [3], исходя из гипотезы о линейной зависимости градиентов гидромеханического давления и гравитационной составляющей от продольной координаты, для зон водопада предложено следующее уравнение:

$$g \frac{dz}{dx} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = Kx, \tag{1}$$

где z — падение свободной поверхности, отсчитываемое от начального уровня в створе, с момента ее резкого падения; x — продольная координата; K — константа, имеющая размерность $[\frac{1}{T^2}]$; p — давление на свободной поверхности. При $p = \text{const}$ выражение (1) приводится к виду

$$\frac{dz}{dx} = -K \frac{x}{g}. \tag{2}$$

Приведенная зависимость использовалась при исследовании истечения через водосливы [3], а также при построении кривых свободной поверхности в околоскритической зоне в жестких и размываемых руслах [4, 5]. Рассмотрим ее применительно к условиям размыва грунтовых плотин для плоской задачи. В соответствии с [3] кривая свободной поверхности (рис. 1) в рассматриваемом случае имеет две ветви: первая — от начала резкого падения перед водосливом O до точки перегиба O_n , вторая — от точки перегиба O_n до сжатого сечения в нижнем бьефе O_1 . Величина dz/dx сначала увеличивается, достигая максимума в точке перегиба, затем уменьшается до нуля к сжатому

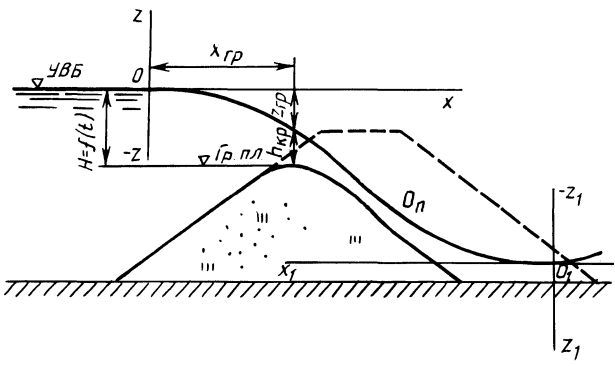


Рис. 1. Схема кривой свободной поверхности при размыве грунтовой плотины переливом

сечению. Из уравнения (2) получаем координаты свободной поверхности верхней ветви

$$z = K \frac{x^2}{2g}.$$

С целью проверки (2) применительно к размывам грунтовых плотин при переливе проведены лабораторные исследования по методике [6]. Модели плотин отсыпались в лотке шириной 0,1 и 0,32 м. Размеры моделей следующие: высота 0,4 м, ширина по гребню 0,2–0,4 м, заложение откосов 1:1,5–1:3,0. Проведено 4 серии опытов. В первой серии модели отсыпались из грунта крупностью 0,25...0,5 мм, во второй – 0,1...1,0 мм, в третьей – 0,5...1,0 мм, в четвертой – 1...2 мм.

Процесс размыва фотографировался с помощью фотосъемки с расстояния 2,5 м через небольшие интервалы времени. Для каждого опыта получено до 10–15 мгновенных профилей плотины с кривой свободной поверхности. Фотосъемка велась через стеклянную стенку лотка, на которой была нанесена масштабная сетка. Изображение с полученных негативов проецировалось на экран и переносилось с исправлением искажения масштабов разноудаленных от объектива объектов. На экране получались профили свободной поверхности потока и очертания размываемого массива грунта в каждый фиксированный момент времени в масштабе 1:5. На полученные профили наносилась ось Ox , как показано на рис. 1, и для участка кривой OO_n при различных значениях абсциссы x измерялась ордината z . Величина коэффициента K определялась затем для ряда точек кривой OO_n по формуле

$$K = \frac{2gz}{x^2}. \quad (3)$$

Начало координат O подбиралось для каждого профиля последовательным приближением таким образом, чтобы для всех координат кривой OO_n величина K , подсчитанная по формуле (3), принимала одинаковые значения. В опытах во все фиксированные моменты времени такое положение начала координат найдено. Это означает, что в любой момент размыва на кривой свободной поверхности имеется точка, начиная с которой уклон свободной поверхности изменяется по линейному закону.

Результаты опытов указывают на то, что параметр K зависит от напора на гребне размываемой плотины H , причем зависимость эта хорошо аппроксимируется обратной формулой

$$K = \frac{a}{H}. \quad (4)$$

Результаты исследований обработаны методом наименьших квадратов с целью определения параметра a в уравнении (4). Получены следующие значения: серия 1 – $a = 16,78$ дм/с; серия 2 – $a = 21,96$ дм/с; серия 3 – $a = 13,25$ дм/с; серия 4 – $a = 12,78$ дм/с. Таким образом, с увеличением крупности частиц размываемого грунта величина a уменьшается. На рис. 2 показаны графики $K = f(H)$ для всех четырех исследованных типов грунтов. Коэффициенты корреляции r , подсчитанные для четырех кривых, показывают высокую сходимость с опытными данными (рис. 2).

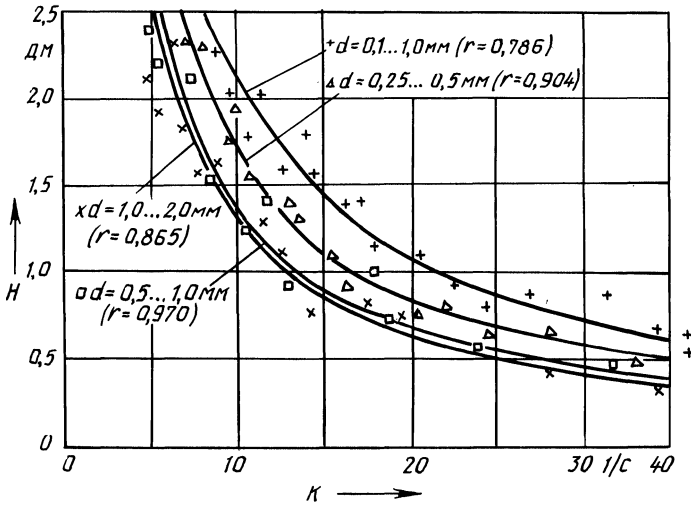


Рис. 2. Графики зависимости параметра K от напора на гребне

Рассмотрим положение точки O (рис. 1) относительно гребня размываемой плотины. Обозначим через $x_{\text{гр}}$ расстояние от точки O до сечения на гребне. Относительная величина этого расстояния $\epsilon = x_{\text{гр}}/H$. Численные значения ϵ для каждого фиксированного момента времени во всех опытах изменялись в сравнительно небольших пределах. Установлено, что с увеличением крупности частиц грунта ϵ изменяется: серия 1 — $\epsilon = 1,3 \dots 2,0$; серия 2 — $\epsilon = 1,2 \dots 1,7$; серия 3 — $\epsilon = 1,8 \dots 2,5$; серия 4 — $\epsilon = 2,0 \dots 2,8$.

Ранее [6] получены уравнения, описывающие процесс размыва грунтовых плотин в условиях плоской задачи, для решения которых необходимо знать положение кривой свободной поверхности на гребне в сечении с продольной координатой $x = x_{\text{гр}} = \epsilon H$. Из (2) и (4)

$$\frac{dz}{dx} = -\frac{a}{gH} \epsilon H = -\frac{\epsilon a}{g}. \quad (5)$$

Падение свободной поверхности в сечении на гребне

$$z_{\text{гр}} = H - h_{\text{кр}},$$

где критическая глубина, согласно (5),

$$h_{\text{кр}} = 1,26m^{2/3}H.$$

С учетом этого из уравнения (3)

$$K = \frac{2gz_{\text{гр}}}{x_{\text{гр}}^2} = \frac{2g(1 - 1,26m^{2/3})H}{\epsilon^2 H}. \quad (6)$$

Сравнивая (4) и (6), имеем:

$$a = \frac{1 - 1,26m^{2/3}}{\epsilon^2},$$

где m — коэффициент расхода.

Проведенные исследования подтверждают справедливость гипотезы о линейном изменении уклонов свободной поверхности потока для случая размыва однородных плотин из песчаных грунтов, что вносит гидравлическую определенность и позволяет получить однозначные решения полученных ранее уравнений [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Чертоусов М.Д. Гидравлика. Специальный курс. — М. — Л., 1962. — 630 с.
2. Чугаев Р.Р. Гидравлика. Л., 1982. — 672 с.
3. Ляпин А.Н. О построении кривых свободной поверхности на участках водопада // Гидротехн. стр-во, 1975. — № 11. — С. 22...
24. 4. Ляпин А.Н. Приближенное построение некоторых кривых свободной поверхности неплавно изменяющихся течений // Тр. ГГИ. Л., 1966. — Вып. 136. — С. 18..22.
5. Серопян К.Г. Результаты исследований размыва моделей дамб из несвязных грунтов в условиях плоской задачи // Водозаборные и водопропускные сооружения. Тр. ин-та ВОДГЕО. М. — С. 88..98.
6. Богославчик П.М., Филиппович И.В. К расчету размыва однородной плотины из песчаных грунтов при переливе воды через гребень // Известия вузов СССР. — 1983. — № 2. — С. 100...105.

УДК 626.823

С.П.ГАТИЛЛО (БПИ)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЙ ПО ДНУ СБОРНОГО ТРУБЧАТОГО СООРУЖЕНИЯ

При изучении гидравлических характеристик трубчатых водопропускных сооружений определенным интерес представляет рассмотрение закономерностей распределения давлений в потоке, протекающем через сооружение.

Результаты исследований распределения давлений по дну и стенкам трубчатых сооружений различного поперечного сечения (в основном прямоугольного и круглого) и пульсаций давления изложены в [1–3].

При изучении пропускной способности трубчатых сооружений полукруглого и треугольного поперечных сечений [4] по оси их дна были установлены пьезометры. Опыты проводились в лотке шириной 1 м. В нем был смоделирован участок канала с заложением откосов $m = 1,5$.

Модель треугольной трубы изготовлена из оргстекла шириной по дну в свету $b_{\text{п}} = 10$ см, высотой $a = 8,1$ см, длиной $l_{\text{тр}} = 70$ см.

Отверстия пьезометров находились в дне трубы. Они позволяли фиксировать гидродинамическое давление у дна $p/\gamma \cdot \gamma$.

При использовании сборных трубчатых сооружений на мелиоративных системах особое значение имеет наличие большого числа стыков в соо-