

Полученные зависимости (5) — (8) с учетом границ их применения при использовании формул (1) и (4) дают возможность учесть подтопление при расчете трубчатого водопропускного сооружения с трубами треугольного поперечного сечения, работающими в условиях, которые схожи с экспериментальными. Зависимости даны для описанной модели сооружения (H и h , см). Их можно пересчитать для натуральных сооружений, пользуясь критериями моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алтунин В.И. Гидравлические исследования сооружений с гладкими и гофрированными трубами: Автореф. дис... канд. техн. наук. — М., 1977. — 24 с. 2. Трубы-регуляторы и трубы-переезды. Альбом 1. Пояснительная записка, чертежи. — Минск, 1976. — 110 с. 3. Розанов Н.П. Гидравлические расчеты водопропускных труб. — М., 1979. — 72 с. 4. Гатилло С.П., Филиппович И.В. О целесообразности применения треугольной и полукруглой геометрических форм трубчатых водосбросов. — Докл. ВАСХНИЛ, 1981, № 1, с. 38—40. 5. Руководство по проектированию и гидротехническому расчету регулирующих мелиоративных сооружений. — Минск, 1984. — 96 с.

УДК 627.83

И.В.ФИЛИППОВИЧ, канд. техн. наук,
П.М.БОГОСЛАВЧИК (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗМЫВА РЕЗЕРВНОГО ВОДОСБРОСА НА КРУПНОМАСШТАБНЫХ МОДЕЛЯХ

Водоохранилищные гидроузлы обычно имеют в своем составе водосбросы, предполагающие пропуск расчетных паводковых расходов реки. Практика показывает, что на полную пропускную способность водосбросы либо включаются крайне редко, либо длительное время простаивают без включения в ожидании расчетного паводка. Исходя из этого, целесообразным, по нашему мнению, является устройство в одном гидроузле двух водосбросов: основного запроектированного на расход высокой обеспеченности и часто включающегося в работу, и резервного, работающего очень редко либо вообще не работающего, запроектированного на расход редкой повторяемости.

В качестве резервного может быть использован водосброс по типу размываемой вставки. Он представляет ограниченную неразмываемой одеждой часть грунтовой плотины, гребень которой выше НПУ, но ниже гребня основных подпорных сооружений. Если пропускная способность основного водосброса исчерпывается, уровень в водохранилище повышается, благодаря чему начинаются перелив воды через гребень размываемого водосброса и его разрушение. Тем самым предотвращается перелив через основные подпорные сооружения. По окончании паводка размываемая вставка восстанавливается.

К настоящему времени такие сооружения функционируют на некоторых крупных гидроузлах Австралии, Индии, Турции, США, Сирии [3, 5].

В Белорусском политехническом институте разработана конструкция размываемого водосброса, в котором для ограничения размыва рекомендуется применять полотнище из мягкого полимерного материала [4]. При проектировании и строительстве такого сооружения возник ряд вопросов. Для их решения потребовались гидравлические исследования.

На всю ширину русловой площади — 5,5 м из среднезернистого песка сооружалась плотина высотой 0,75 м, шириной по верху 0,35 м с заложением откосов 1:2,0. В качестве противофильтрационных покрытий применялся экран из полиэтиленовой пленки, по которому отсыпался защитный слой из того же грунта (толщиной 15 см). В теле плотины по оси русловой площадки была оставлена прорезь трапецевидальной формы; дно и откосы ее покрыты нестабилизированной полиэтиленовой пленкой ГОСТ 10354–73 толщиной 0,05 мм (в отдельных опытах применялась также черная стабилизированная пленка толщиной 0,2 м). Были изучены два конструктивно различных типа крепления. В первом крепление выполнялось из отдельных полос пленки, концы которых заводились в тело плотины внахлест (рис. 1), во втором — полотнищем. В обоих типах крепления концы пленки свободно укладывались на откосы плотины по всему периметру прорези и пригружались защитным слоем грунта толщиной 10 см. Заложение откосов прорези принималось 1:2,0 и 1:1,75. Ширина прорези по дну во всех опытах $b_0 = 0,20$ м.

Защищенная от размыва прорезь засыпалась грунтом, образующим размываемую вставку 2 (см. рис. 1), отметка гребня которой на 10 см ниже отметки гребня плотины. Величина b_n , характеризующая ширину начального перелива, принималась в опытах в пределах 2,0–0,5 м. Вставка отсыпалась из

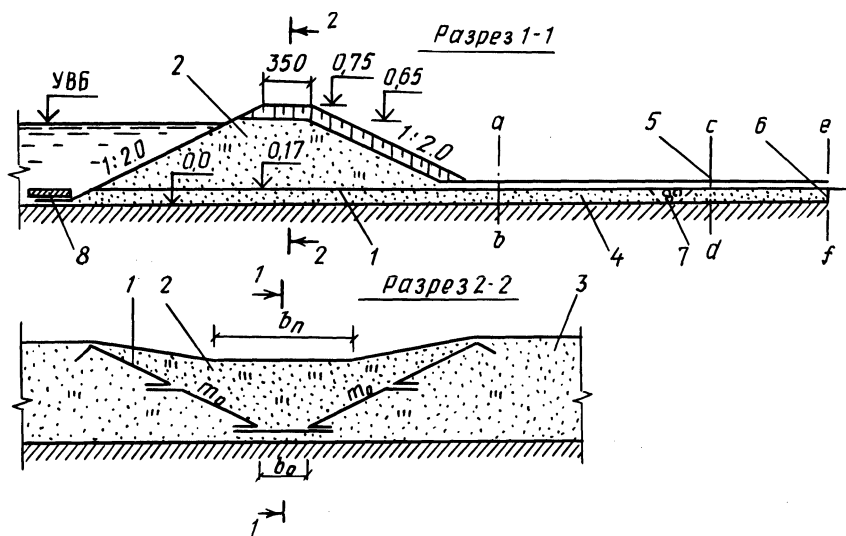


Рис. 1. Конструкция модели размываемой вставки:

1 — полотнище из полимерной пленки; 2 — размываемая грунтовая вставка; 3 — грунтовая плотина; 4 — грунт русла нижнего бьефа; 5 — ось водобойной стенки; 6 — водобойный колодец; 7 — зуб из камня; 8 — бетонная плита.

песка следующего гранулометрического состава: $d > 2 \text{ мм} - 6,5 \%$; $b = 2 - 1 \text{ мм} - 22,9 \%$; $b = 1 - 0,5 \text{ мм} - 24,8 \%$; $b = 0,5 - 0,1 \text{ мм} - 17,5 \%$; $d < 0,1 \text{ мм} - 0,7 \%$.

Опыты по размыву вставки проводились следующим образом. Вода с постоянным расходом Q_0 подавалась в верхний бьеф, уровень которого поднимался. В какой-то момент начинался перелив воды через вставку и ее размыв. Процесс размыва наблюдался визуально и фиксировался с помощью фотосъемки через определенные промежутки времени $\Delta t = 5 - 10 \text{ с}$. Одновременно велось наблюдение за состоянием сооружений нижнего бьефа, а также фиксировался уровень в верхнем бьефе (ВБ), по изменению которого определялся расход воды через размываемую вставку [1].

Общая картина размыва вставки зависит прежде всего от интенсивности повышения уровня воды в верхнем бьефе. Так, при сравнительно быстром повышении (что в опытах достигалось увеличением приточности до 100 л/с и ширине перелива $b_n = 0,5 - 1,0 \text{ м}$) толщина переливающегося слоя увеличивается интенсивно и в процессе размыва остается примерно одинаковой по всей ширине перелива, что отмечено для условий плоской задачи [2]. В качестве особенности следует оговорить, что интенсивный размыв вставки в глубину происходит по всей ширине, приблизительно равной начальной b_n . Боковой размыв происходит как бы ступенчато, путем периодического обрушения подмытых частей грунтового массива. Подобно случаю плоской задачи, первоначально размывается низовая упорная призма вставки. Гребень со стороны верхового откоса некоторое время не размывается в глубину. И только после полного размыва низовой упорной призмы начинается размыв его по всей ширине, интенсивное увеличение расхода в нижнем бьефе.

При быстром опорожнении водохранилища (в опытах достигалось включением в работу данного водосброса, расход которого значительно превышал приточность в водохранилище) размыв вставки прекращался. Это позволяло произвести непосредственные измерения размыва прорана и профиля вставки, характер которых аналогичен условиям плоской задачи [1]. Другая картина наблюдалась при малой приточности (в опытах до $7,0 \text{ л/с}$) и при первоначальной ширине перелива $b_n = 2,0 \text{ м}$. В этом случае приточность оказалась недостаточной для того, чтобы создать поток глубины, необходимой для интенсивного размыва по всей ширине b_n . Благодаря небольшой приточности и малой площади зеркала водохранилища в подобных опытах опорожнение верхнего бьефа происходило быстро. Вставка оказывалась размывтой лишь примерно наполовину в отличие от первого случая, когда размыв происходил практически до поверхности, ограниченной пленкой. В реальных условиях второй случай более вероятен.

Менее благоприятным является все же первый случай, который следует считать расчетным: время от начала перелива до прекращения размыва составило соответственно около 2,5 и 4,5 мин.

Тщательный осмотр плотины и пленочного крепления показал, что размыв защитного грунтового слоя по пленке, уложенной на верховом откосе плотины по краям прорези, происходит полосой $10 - 15 \text{ см}$ на всей плотине (рис. 2). Кроме того, в плотине с пленочным экраном при быстром снижении уровня верхнего бьефа наблюдались деформации защитного слоя грунта, отсыпанного по экрану: появлялись трещины размером до 1 см , защитный слой сползал,

местами оголялся экран. Когда же плотина выполнялась без экрана, у неуплотненных грунтов по верховому откосу имели место осадки с образованием продольных трещин.

При размыве вставки смывался защитный слой грунта, уложенного на низовом откосе по пленке на ширине b_1 , примерно равной половине ширины вставки по верху (см. рис. 2). Повреждений одежды из полиэтиленовой пленки не было замечено ни в одном опыте. Удельный расход в пределах отверстия достигал в отдельных опытах $1,0 \text{ м}^2/\text{с}$, а предельная разность между уровнем грунтовых вод в теле плотины и уровнем воды в отверстии — $0,25\text{--}0,30 \text{ м}$.

Изучалось переформирование русла в нижнем бьефе в процессе размыва вставки (см. рис. 1) для ряда конструкций сопряжения с нижним бьефом.

Размывающий поток сопрягается с руслом: 1) водобойным колодцем b (глубина $0,17 \text{ м}$) в сечении ef . Для его устройства грунт 4 правее сечения ab изымается. Пленка 1 укладывается левее ab ;

2) неразмываемой гладкой (без гасителей) поверхностью (по слою грунта 4 , уложено полотнище 1 из полиэтиленовой пленки по всему руслу);

3) без гасителей. Грунт 4 тот же, что и на вставке, пленка 1 уложена только до сечения ab со стороны верхнего бьефа;

4) то же, но с устройством водобойной стенки в сечении cd высо-

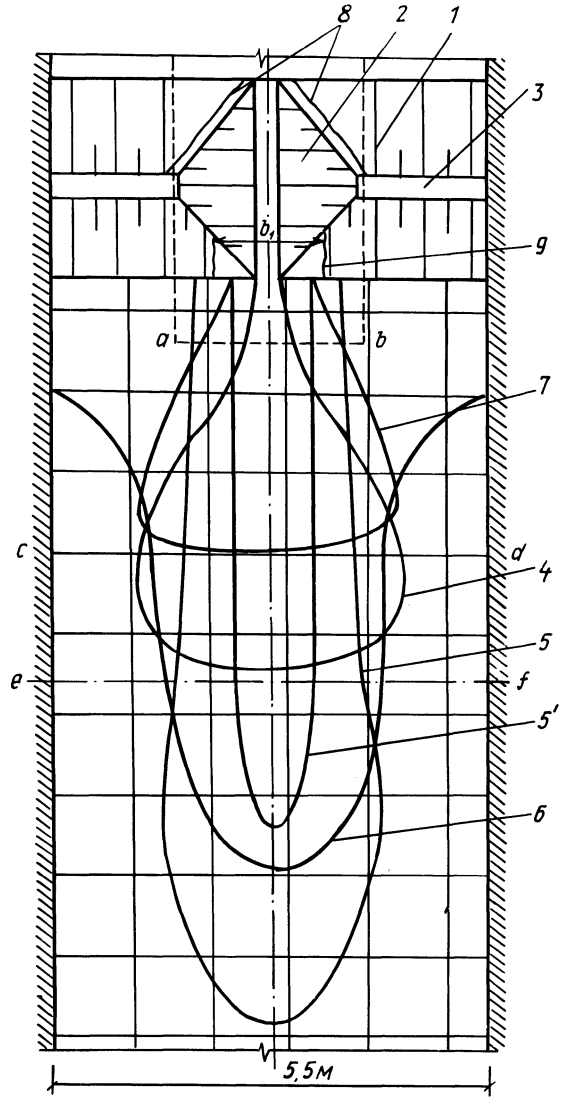


Рис. 2. Некоторые последствия размыва вставки:

1 — полимерная пленка; 2 — прорезь; 3 — плотина; 4 — граница шлейфа при устройстве колодца в сечении cd ; 5, 6 — то же при гладком неразмываемом русле; 7 — то же при устройстве водобойной стенки в сечении ef ; 8 — граница размыва верхового откоса; 9 — то же для низового откоса.

той 0,1 м на расстоянии 3,4 м от низового края подошвы плотины (длина прыжка при размыве вставки в условиях п. 2 составила около 3,0 м).

5) по руслу 4 уложено сплошное полотнище 1 шириной 3,0 м, конец которого заведен в зуб из камня 7. Ниже зуба русло не крепится. По полотнищу 1 отсыпается защитный слой песка толщиной 3,0 см.

В первом случае грунт размываемой вставки в виде шлейфа полностью располагается в самом колодце (линия 4). За его пределы выносятся лишь незначительная часть наиболее мелких частиц $d < 0,25$ мм.

Во втором случае длина шлейфа достигает 9,4 м. Линией 5 показана внешняя граница шлейфа, 5' — внутренняя. В зоне внутри линии 5' размывтый грунт не осаждается.

В третьем случае непосредственно за границей крепления образуется воронка, а длина шлейфа несколько меньше, чем в предыдущем варианте (линия 6). Воронка размыва здесь распространяется частично в сторону верхнего бьефа под свободно уложенный конец пленки.

Наличие водобойной стенки в сечении cd в четвертом случае на расстоянии, несколько превышающем длину прыжка, ограничивает распространение шлейфа (линия 7). Кроме того, величина воронки размыва непосредственно за границей крепления ab здесь меньше, чем в третьем случае. Так, при одинаковой продолжительности опытов (30 мин) размеры ее в плане 1,1x1,0 м, а при наличии стенки — 0,9 x 0,6 м. Размыв в глубину в обоих вариантах в пределах воронки идет до пола площадки.

Однако в опытах со стенкой 20–30 % размывтого грунта вставки все же выносилось в нижний бьеф ниже стенки. Кроме того, имел место интенсивный размыв незакрепленного русла непосредственно у стенки, создавая угрозу ее разрушения.

В пятом случае длина и форма шлейфа такая же, как и в третьем (линия 6). Непосредственно за зубом 7 после 30-минутного размыва образуется воронка глубиной 5,0 см и размерами в плане 1,0 x 1,0 м. Смыв защитного слоя, который был отсыпан по пленочному креплению, наблюдался только по оси вставки на ширине около 1,0 м (рис. 2, б).

Проведенные исследования подтвердили принципиальную возможность применения размываемой вставки с ограничивающим размыв полотнищем из мягкого полимерного материала в качестве резервного водосброса.

На основании лабораторных исследований стало возможным сделать следующие выводы.

Крепление dna и откосов отверстия под размываемую вставку целесообразно конструировать из сплошного полотнища. При недостаточной его ширине возможна конструкция крепления из отдельных полос, без склеивания (см. рис. 1). Для этого концы полотнища либо полос достаточно свободно уложить на откосы плотины по всей ширине отверстия с пригрузкой их защитным слоем грунта, поверх которого можно устраивать необходимые крепления откосов плотины.

Наиболее эффективны конструкции устройств нижнего бьефа с закреплением русла полиэтиленовой пленкой, являющейся продолжением крепления отверстия под размываемой вставкой, либо конструктивно соединенной с ним (внахлест, склеиванием и др.). Ширину крепления достаточно принять равной ширине отверстия вставки поверху. Конец его следует закреплять,

например, каменным зубом, ограничивающим распространение воронки размыва под полотнище в сторону верхнего бьефа.

Физическая картина размыва вставки для расчетного случая схожа с полученной ранее для плоской задачи [1, 2]. Причем интенсивный размыв происходит на ширине, примерно равной первоначальной ширине перелива, что следует иметь в виду при расчете размыва по существующим зависимостям [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Богославчик П.М., Филиппович И.В. Динамика размыва плотины из местных материалов при переливе воды. — Изв. вузов СССР. Серия Энергетика, 1982, № 3, с. 88—93.
2. Богославчик П.М., Филиппович И.В. К расчету размыва однородной плотины из песчаных грунтов при переливе воды через гребень. — Там же, 1983, № 2, с. 100—105.
3. Проектирование и строительство больших плотин. Вып. 2. Постоянные и временные водосбросные сооружения/Под ред. А.А.Борового. По материалам IX Международного конгресса по большим плотинам. — М., 1981, с. 123—126.
4. Филиппович И.В., Богославчик П.М. Водосброс по типу размываемой вставки. — В кн.: Водное хозяйство и гидротехническое строительство, 1982, вып. 12, с. 96—100.
5. Murphy N.G.K. Breaching sections. — Irrigation and Power, 1978, 35, № 3, 341—363.

УДК 627.11:532.5.0015.7

В.М.ЛАРЬКОВ, канд. техн. наук (БСХА)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗМЫВА РУСЛ ЗА ВОДОСБРОСНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ С УЧЕТОМ КРИТЕРИЯ РАЗМЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОТОКА

Для ответственных и сложных объектов оценку размываемости русла осуществляют с помощью физического моделирования и натуральных наблюдений [1—10]. В практике гидротехнических лабораторных исследований известно два основных метода — масштабных серий (экстраполяций) и подобия руслослагающих материалов. Первый, как весьма трудоемкий, в практике лабораторных исследований применяется сравнительно редко.

Метод подобия руслослагающих материалов менее трудоемок и достаточно теоретически обоснован. Однако при его использовании часто возникают технические трудности, связанные с созданием моделей, идентичных натуре, поскольку требуется обеспечить подобие устойчивости как материала русла (местных деформаций), так и потока жидкости.

Для того чтобы обеспечивать подобие потоков жидкости природы и модели, размываемая гидравлическая модель русла должна удовлетворять ряду условий [1—3], суть которых можно выразить критериальной зависимостью

$$\varphi(Fr; Re; Ka; Sh; Eu; \lambda...) = \text{idem.} \quad (1)$$

Из зависимости (1) следует, что рассматриваемый динамический процесс определяется несколькими действующими силами различной физической природы. При этом степень значимости конкретной силы в данном процессе, как правило, различна. Если две или более из значимых сил существенны, про-