

05.23.16 Гидравлика и инженерная гидрологи»

УДК 502/504:627.521

И. Ф. ПИКАЛОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

Т. В. НАУМОВА

Государственное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗМЫВАЕМЫХ ГРУНТОВЫХ ВСТАВОК РЕЗЕРВНЫХ ВОДОСБРОСОВ

Приведены результаты модельных гидравлических исследований размываемой грунтовой вставки резервного водосброса для ослабления негативного влияния паводков, проходящих по поймам в обход перегораживающей плотины. Размыв вставок, представляющих собой обычные земляные или каменно-набросные плотины, возникает при расходах воды, превышающих пропускную способность основного водосброса, а отвод воды происходит в естественное понижение местности. Даны рекомендации по определению основных параметров процесса размыва грунтовой вставки для расчета ее пропускной способности и времени размыва. Рассмотрена качественная картина процесса размыва грунтовой вставки без противофильтрационных устройств. Приведено описание двух стадий размыва. Получены зависимости для определения времени разрушения размываемой вставки и значения коэффициента расхода, необходимые для расчета пропускной способности размываемых вставок.

Паводки, размываемая грунтовая вставка, резервный водосброс, пропуск паводков, пойма, параметры процесса размыва.

There are given results of model hydraulic tests of the scoured soil insertion of the reserve spillway for weakening a negative influence of floods moving on floodplains passing round the blocking dam. Scouring of insertions being usual earth and rock-filled dams occurs when water discharge exceeds the capacity of the main water spillway and water is drained into the natural lowering area. There are given recommendations on determination of the basic parameters of the soil insertion scouring process for calculation of its capacity and scouring time. The qualitative picture of the scouring process of the soil insertion without antifiltration devices is considered. There is given a description of two stages of scouring. There are obtained dependencies for determination of the scoured insertion breaking time and discharge coefficient value which are necessary for calculation of the capacity of scoured insertions.

Flood, scoured soil insertion, reserve spillway, flood passage, flood plain, parameters of the scouring process.

В настоящее время в практике проектирования все чаще рассматривается целесообразность применения в составе гидроузлов резервных водосбросов с размываемыми грунтовыми вставками. Такие сооружения

позволяют повысить надежность эксплуатации гидроузлов в экстремальных условиях, возникающих при больших паводках, и снизить общую стоимость. Размыв вставок, представляющих собой обычные земляные

или каменно-набросные плотины, возникает при расходах воды, превышающих пропускную способность основного водосброса, а отвод воды происходит в естественное понижение местности.

Лабораторные исследования пропускной способности и времени разрушения водосброса в виде размываемой вставки проведены в Московском государственном университете природообустройства на размываемых моделях из песка с крупностью частиц 0,1...0,2 мм, послойной утрамбовкой и увлажнением без противотрационных устройств (ядра и экрана). Модели располагались в лотке шириной 0,3 м и имели следующие характеристики: ширина по гребню 0,2 м, заложение откосов 1, высота 0,3, 0,2 и 0,1 м. Процесс размыва вставки фиксировался с помощью фотосъемки через малые промежутки времени 5...10 с. Постоянный расход воды Q 2,5, 5, 9 л/с подавался в верхний бьеф моделей, а уровень воды в нем измерялся с помощью шпитценмасштаба.

Целью работы заключается в экспериментальном изучении процесса размыва грунтовой вставки, получении параметров расчета ее пропускной способности и времени разрушения. Наблюдаемый в опытах процесс разрушения грунтовой вставки соответствовал схеме (рис. 1).

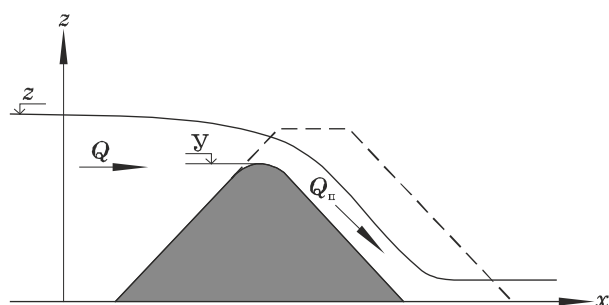


Рис. 1. Схема размыва грунтовой вставки

При разрушении выделяются две основные стадии размыва:

1. Размыв низового откоса начинается с бровки, вследствие увеличения фильтрационных расходов, проходящих через тело грунтовой вставки, профиль которой к концу данной стадии имеет близкую к треугольной форму, а отметка гребня остается постоянной.

2. При интенсивном снижении отметки гребня размываемая вставка имеет форму водослива практического профиля, которая, трансформируясь во времени, со-

храняется до конца размыва.

Пропускная способность размываемой вставки определена по данным опытов в момент времени при наибольшем уровне поднятия воды в верхнем бьефе и расходу Q . Фильтрационный расход $Q_{\text{ф}}$ через размываемую вставку рассчитан обычным для грунтовых плотин способом, а коэффициенты расхода определялись по следующей формуле:

$$m = \frac{Q_{\text{н}}}{b\sqrt{2g \cdot H^{3/2}}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{н}}$ – расход поверхностного потока воды, равный $Q_{\text{н}} = Q - Q_{\text{ф}}$; b – ширина размываемой вставки; H – напор воды над размываемой вставкой.

По результатам опытов получена графическая зависимость коэффициента расхода m от отношения H/P , где P – высота размываемой вставки (рис. 2). Значения коэффициентов расхода оказались близкими к табличным значениям для водосливов практического профиля криволинейного очертания. Результаты экспериментов авторов статьи имеют высокую степень корреляции с исследованиями П. М. Богославчика, которые рассмотрены в [1] и получены на аналогичных моделях с крупностью песка 0,1...0,5 мм.

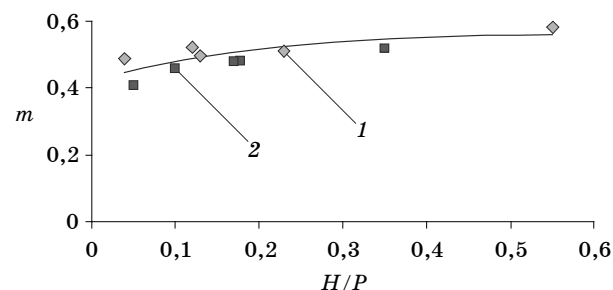


Рис. 2. График зависимости $m = f(H/P)$: 1 – опыты П. М. Богославчика; 2 – опыты авторов статьи

Основным параметром эффективности автоматических водосбросов в виде размываемой вставки является время ее разрушения. Полученные экспериментальные данные о времени размыва вставки сравнивали с результатами расчетов по следующим формулам, соответствующим вышеуказанным стадиям размыва:

$$T_1 = \frac{M \cdot n^{2,4}}{A \cdot i^{1,2} \cdot (2g)^{0,8} \cdot m^{1,6} \cdot (z - y)^{2/4}}, \quad (2)$$

где T_1 – время первой стадии размыва; M – масса низовой призмы размываемого грунта; A – для песча-

ных грунтов 0,153; i – величина, обратная заложению низового откоса; z – отметка уровня воды в верхнем бьефе; y – отметка гребня размываемой вставки; n – коэффициент шероховатости, определяемый по формуле Г. С. Чекулаева:

$$n = 0,042 d^{0,11},$$

где d – средний диаметр грунта вставки;

$$T_2 = \frac{\Delta Y \cdot \rho \cdot g}{B \cdot m^{0,43} \cdot \varepsilon \cdot (z - y)^{0,6}}, \quad (3)$$

где T_2 – время второй стадии размыва; ρ – плотность сухого грунта вставки; ε – коэффициент,

зависящий от крупности грунта, равный 2,7; m – коэффициент расхода грунтовой вставки; ΔY – изменение отметки гребня размываемой вставки за время T_2 ; B – параметр, зависящий от характеристик взвешенного потока и равный 83,9.

Результаты опытов и расчетов времени размыва вставки по двум стадиям приведены в таблице 1, экспериментальные данные которой достаточно хорошо совпадают с расчетными, особенно для первой стадии размыва.

Таблица 1

Параметры процесса размыва грунтовых вставок

| Высота вставки P , см | Расход воды Q , л/с | Отметка уровня верхнего бьефа z , см | Отметка гребня плотины Y , см | Время размыва | | | |
|-------------------------|-----------------------|--|---------------------------------|---------------|--------|-------------|--------|
| | | | | T_1 , с. | | T_2 , с. | |
| | | | | Эксперимент | Расчет | Эксперимент | Расчет |
| 30 | 2,5 | 32 и 12 | 30 и 5 | 25 | 29,8 | 70 | 55,3 |
| 30 | 5,0 | 33 и 13 | 30 и 5 | 20 | 19,2 | 60 | 54,1 |
| 30 | 9,0 | 35 и 15 | 30 и 5 | 10 | 9,6 | 50 | 53,0 |
| 20 | 5,0 | 23 и 14 | 20 и 5 | 10 | 12,8 | 35 | 42,4 |
| 10 | 5,0 | 13 и 9 | 10 и 2 | 5 | 6,4 | 35 | 30,3 |

Аналитический обзор научно-технической литературы показал выявил ряд попыток получить зависимости для интегральных характеристик проранов на основании статистической обработки данных о произошедших прорывах дамб. Авторами статьи рассмотрены такие зависимости, описанные в работах [2] и [3]:

$$T_{\text{MAX}} = 0,071 \cdot W_{\text{ИЗЛ}}^{0,47} \cdot h_0^{-0,9}, \quad (4)$$

$$T_{\text{MAX}} = 0,02 \cdot (W_{\text{ИЗЛ}} \cdot \Delta z_0)^{0,243}, \quad (5)$$

где T_{MAX} – время полного размыва плотин, ч.; $W_{\text{ИЗЛ}}$ – суммарный объем вынесенного грунта, м³; Δz_0 –

начальный перепад уровней воды, м.

В работе [4] А. М. Прудовский показал, что процесс разрушения подобных вставок подчиняется правилу Фруда, т. е. масштаб времени размыва плотины равен

$$M_T = M_1^{0,5},$$

где M_1 – линейный масштаб моделей, в исследованиях авторов статьи равный 10.

Пересчитанные на натуру опытные значения времени размыва вставок сопоставлены с результатами расчетов по формулам (4) и (5) и приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчетов времени размыва грунтовых вставок

| Высота вставки P , м | Расход воды Q , м ³ /с | Время размыва T_{MAX} , с. | | |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------|
| | | Эксперимент | Расчет по (4) | Расчет по (5) |
| 3,0 | 0,79 | 300 | 1172 | 361 |
| 3,0 | 1,58 | 253 | 1456 | 412 |
| 3,0 | 2,85 | 190 | 1592 | 450 |
| 2,0 | 1,58 | 142 | 1537 | 329 |
| 1,0 | 1,58 | 126 | 2430 | 288 |

Анализ данных таблицы 2 показывает, что результаты экспериментов и расчетов по (5) имеют близкие значения, а результаты опытов и расчетов по (4) полностью не совпадают. Завышение времени размыва по формуле (4), возможно, объяснимо тем, что модели имели однородное строение, а интегральные зависимости получены по статистическим данным о реальных дамбах с противофильтрационными

устройствами.

Выводы

Получена качественная картина процесса размыва грунтовой вставки без противофильтрационных устройств. Показана возможность использования в первом приближении зависимостей (1) и (2) для определения времени разрушения размываемой вставки. Получены данные о значениях коэффициента расхода, необходимые для расчета пропускной

способности размываемых вставок.

1. Богославчик П. М., Филиппович И. В. Динамика размыва плотины из местных материалов при переливе воды // Известия вузов СССР: Серия Энергетика. – 1982. – № 3. – С. 88–93.

2. Dam-Break Flood Analysis. Committee on hydraulics for dams. ICOLD. Bulletin, 1998.

3. Прудовский А. М., Пономарчук К. Р. Образование и развитие прорана при прорыве земляной плотины // Экологические проблемы водного хозяйства и мелиорации: материалы научно-технической конференции. – М.: МГУП, 2000. –

С. 99–100.

4. Прудовский А. М. Образование прорана при прорыве земляной плотины // Безопасность энергетических сооружений: сб. трудов. – М.: АО НИИЭС, 1998. – Вып. 2. – С. 67–79.

Материал поступил в редакцию 07.03.14.

Пикалова Ирина Федоровна, кандидат технических наук, профессор кафедры гидравлики

Тел. 8 (499) 976-00-19

Наумова Татьяна Васильевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела гидротехники и гидравлики

Тел. 8 (499) 154-12-24

E-mail: naumova@vniigim.ru

УДК 502/504:532.53:556.53

К. Н. АНАХАЕВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Высокогорный геофизический институт» Росгидромета

К. Г. ЖАНГОРАЗОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Центр изучения, использования и охраны водных ресурсов Кабардино-Балкарии» Росводресурсов

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАЛЫХ ВОДОПАДОВ

В статье рассмотрено понятие «малые водопады». Проанализированы особенности таких водопадов, предложены классификации по происхождению, формам и режиму истечения, режиму наносов, продолжительности стока и др. Отмечена важность изучения и анализ гидрологических и геоморфологических особенностей малых водопадов для оценки экологической и рекреационной значимости этих уникальных природных водных объектов. Разработаны критерии информации о малых водопадах и возможности использования их в рекреационных, лечебно-оздоровительных и иных целях. Рассмотрены критерии естественной привлекательности ландшафта территории водопадной зоны, доступности для посещения туристов и отдыхающих, уровня развития экологического туризма в регионе, лечебно-оздоровительных свойств территории водопадной зоны, безопасности и комфортности посещения водопадной зоны и другие. Приведены примеры апробации для малых водопадов Кабардино-Балкарии.

Водопадная зона, малые водопады, гидрология, геоморфология, исполинов котел.

The article considers a conception «small waterfalls». The special features of such waterfalls are analyzed, classifications are proposed according to the origin, forms and regime of outflow, pump mode, duration of the flow etc. The importance of studying and analyzing of hydrological and geomorphologic special features of small waterfalls for assessment of ecological and recreational significance of these unique natural water objects. The information criteria are developed on small waterfalls and possibility of their usage in recreation, health improving and other purposes. There are considered criteria of landscape natural attractiveness of the waterfall territory accessible for visiting by tourists, level of development of the ecological tourism in the region, therapeutic characteristics of the waterfall zone, safety and comfort of visiting and others. There are given examples of approbation for small waterfalls of Kabardino-Balkaria.

Waterfall zone, small waterfalls, hydrology, geomorphology.