

Обслуживающий персонал в процессе надзора и ухода за дренажными системами обязан выявлять и своевременно устранять замеченные неисправности.

УДК 627.824

Динамика развития прорана при размыве грунтовых плотин переливом

Богославчик П. М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Рассмотрен вопрос о расчете размыва плотины при переливе воды через гребень. Сделан вывод о несовершенстве существующих методов. Предлагается компромиссный вариант, заключающийся в использовании взгляда является использование теории размыва грунтовых вставок с эмпирическими зависимостями по определению ширины прорана.

При переливе воды через гребень грунтовой плотины происходит её разрушение. Это происходит достаточно быстро, но не мгновенно. Существуют эмпирические формулы по определению окончательных размеров прорана и скорости его развития. В частности, международной комиссией по большим плотинам (SIGB) были рекомендованы формулы для определения максимальной ширины прорана B (м) и времени его развития T (ч) [1]:

$$B = 0,66k_0(V_W H_W)^{0,25}, \quad (1)$$

$$T = 0,0071V_W^{0,47} H_W^{-0,9}, \quad (2)$$

где V_W – объём излива (м^3); H_W – начальное превышение отметки верхнего бьефа над конечным положением дна прорана (м); k_0 – коэффициент, принимаемый равным 1,0 при образовании прорана за счёт перелива через гребень плотины.

Но в ряде случаев такого расчёта бывает недостаточно. В частности, при расчёте параметров волны прорыва в нижнем бьефе необходимо иметь динамику образования и развития прорана. Это сложный процесс, зависящий от ряда факторов. Наиболее полно этот процесс исследован применительно к размываемым вставкам резервных водосбросов. В качестве примера ниже приведены формулы, полученные ранее на основании экспериментальных исследований размыва вставок из песчаных грунтов [2].

$$\frac{dM}{dt} = 0,055 \frac{m^{1,45} i^{1,275} (2g)^{0,725}}{n^{2,55}} (z - y)^{2,175} \quad (3)$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Q_0 - Q}{F(z)} \quad (4)$$

$$Q = \sigma m b \sqrt{2g} (z - y)^{1,5} \quad (5)$$

$$\frac{dy}{dt} = -\sigma \frac{Bm^{0,43} \varepsilon_1}{\rho_1} (z - y)^{0,6} \quad (6)$$

где M – масса размываемого грунта низовой упорной призмы, кг; t – время, с; m – коэффициент расхода размываемого водослива, на первой стадии (формула (3)) определяется как для водослива с широким порогом, на второй (формула (6)) – как для водослива практического профиля; i – уклон дна по низовому откосу; n – коэффициент шероховатости, рекомендуется определять по формуле В.Н. Гончарова, а именно $n = 0,0324d^{0,125}$ [3]; z – уровень верхнего бьефа, м; y – отметка гребня размываемой плотины, м, (для первой стадии размыва $y = y_1 = const$); y_1 – отметка гребня плотины, м; Q_0 – расход воды в верхнем бьефе, м³/с; $F(z)$ – площадь зеркала воды в верхнем бьефе на отметке z , м². Q – расход воды через размываемую вставку, м³/с; σ – коэффициент подтопления; ρ_0 – плотность грунта тела плотины, кг/м³; d – средний диаметр частиц размываемого грунта, м; φ – параметр турбулентности (отношение расчетной скорости падения частицы в воде к ее действительной гидравлической крупности), в соответствии с рекомендациями [4] для мелкозернистых песков принимается равным 2,25; β – коэффициент, принимаемый для песчаных грунтов равным 1,5 – 2,0.

Особенности расчёта по формулам (3) – (6) следующие. Во-первых, рассматривается быстрое повышение уровня верхнего бьефа, что предполагает начало размыва одновременно по всей ширине. Во-вторых, ширина прорана является величиной известной.

При расчёте размыва грунтовой плотины физическая картина иная. Размыв начинается в какой-то точке при $B = 0$. На гребне и низовом откосе образуется проран, который в процессе размыва увеличивается в глубину и ширину. Качественная картина размыва в глубину примерно такая же, как при размыве грунтовых вставок.

Кроме приведенных выше существует ряд других предложений по определению ширины прорана в процессе размыва. Выделим следующие, наиболее на наш взгляд интересные.

В работе Херхеулидзе И.И. и др. [5] приведены результаты исследований размыва завальных плотин на горных реках. Авторами предложены следующие зависимости

$$\frac{dy}{dt} = 0,47 \frac{h^{1/2}}{d^{1/6}}, \quad (7)$$

$$\frac{dB}{dt} = 0,0115 \frac{h^{0,47}}{d}, \quad (8)$$

где y – отметка гребня плотины, м; t – время в минутах; B – ширина прорана, м; h – глубина потока над гребнем, м; d – средний диаметр частиц размываемого грунта, м.

А. М. Прудовским получена следующая зависимость [6], подтвержденная результатами многих экспериментов:

$$\frac{dB}{dt} = K_p \frac{h^{2,5}}{\Omega}. \quad (9)$$

Здесь $B(t)$ – ширина прорана, м в момент времени t , с; Ω – площадь поперечного сечения плотины, м; $h(t)$ – разность уровня воды в верхнем бьефе и отметки основания плотины, м. Коэффициент интенсивности размыва K_p зависит от свойств материала тела плотины. Для песчаных грунтов он близок к $0,07 \text{ м}^{0,5}/\text{с}$.

В работе Пономарчук К. Р. [7] по итогам гидравлического моделирования были построены графики изменения во времени ширины прорана $B = B(t)$, на основании которых была выведена эмпирическая формула развития ширины прорана B от времени t :

$$\frac{dB}{dt} = 0,035 \frac{g^{1/2} \cdot h_t^{3/2}}{W_{уд}^2}, \quad (10)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; $W_{уд}$ – площадь поперечного сечения плотины между её гребнем и дном прорана, м²; h_t – разность уровней воды между верхним бьефом и дном прорана, м.

Сложно говорить о высокой достоверности этих формул, т.к. для их получения использовано недостаточное количество натурных наблюдений. Кроме того, имеется очень слабая связь их с картиной размыва в глубину.

Развитие прорана в ширину происходит путем периодического обрушения его откосов. Количественная оценка этого процесса затруднена, в силу его стохастичности. При этом точность расчета деформаций по вертикали по формулам (3) и (6) также существенно снижается, так как обрушение откосов прорана резко меняет мутность потока и соответственно его транспортирующую способность. В настоящее время нет достаточно обоснованных гипотез для разработки практически применимых более-менее достоверных методов расчёта данного явления. Верификация указанных выше зависимостей весьма сложна в силу того, что нет возможности достаточно точно опереться на экспериментальный материал. Наиболее компромиссным вариантом в настоящее время на наш взгляд является использование теории размыва грунтовых вставок с эмпирическими зависимостями по определению ширины прорана. В качестве последней наиболее удобной является формула (10), которая хорошо вписывается в предложенную математическую модель размыва (формулы (3) – (6)).

Литература

1. Dam-Break Flood Analysis. ICOLD. Committee in hydraulics for dams. Bulletin 111. 1998.
2. Богославчик, П. М. Расчетная модель размыва грунтовых плотин при переливе / П. М. Богославчик // Наука и техника. – 2018, – №4. – С. 292–296.
3. Богославчик, П. М. К определению коэффициента шероховатости при расчете размыва грунтовых вставок / П. М. Богославчик // Водное хозяйство и гидротехническое строительство: Республиканский межведомственный сборник. – Минск, Вышэйш. шк., 1989. Вып.18. – С. 74 – 76.
4. Гончаров, В. Л. Динамика русловых потоков / В. Л. Гончаров. – Л.: Гидрометеиздат, 1962, 373 с.
5. Херхеулидзе, И.И. Эмпирические зависимости для расчета элементов прорыва завальных плотин / И. И. Херхеулидзе, В. И. Виноградова, Н. В. Рухадзе / Труды Закавказского НМГИ. – 1972. – вып. 40(46). – С. 131– 206.
6. Прудовский А. М. Образование прорана при прорыве земляной плотины / А. М. Прудовский // Безопасность энергетических сооружений. – 1998. – № 2. – С. 67–69.
7. Пономарчук К. Р. Оценка параметров развития прорана при разрушении грунтовой плотины // Природообустройство. – 2011. – № 3. – С. 77–82.