

Определение времени прохождения волны прорыва через створ гидроузла при размыве и деформации плотины

Карпенчук И.В., Стриганова М.Ю.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

Основными гидротехническими сооружениями (ГТС), разрушение которых приводит к гидродинамическим авариям, относятся плотины, водозаборные и водосбросные сооружения, шлюзы. При их аварии катастрофическое затопление заключается в стремительном затоплении местности волной прорыва. Таким образом, при расчете параметров волны прорыва, определение времени опорожнения водохранилища (времени прохождения волны прорыва через створ разрушенной плотины) является важным фактором.

В настоящее время методика определения времени прохождения волны прорыва через створ разрушенной плотины весьма приблизительны и не точны. В предлагаемом расчете времени опорожнения водохранилища принят самый неблагоприятный случай – то есть перелив начинается по всему фронту плотины с учетом того, что длина плотины в динамике размыва будет уменьшаться по высоте и длине. Прохождение волны прорыва через створ разрушенного (разрушаемого), является движением неустановившимся, при котором изменяется напор (водохранилище опорожняется). Коэффициент расхода прорана (бреша) непостоянен, т.к. он зависит от соотношения напора и высоты водослива, а значит, от высоты размываемой плотины, которая изменяется от H (напор в начале разрушения) до 0.

Предлагается следующая методика определения времени прохождения волны прорыва через створ разрушаемой плотины (времени полного опорожнения водохранилища) с учетом изменения формы и размеров бреша в течение времени. Форма зеркала водохранилища может быть произвольной, но пропорциональной площади при последовательном опорожнении. В этом случае

$$\frac{\Omega_{\text{свд}}}{\Omega} = \frac{i^2}{Z^2}, \quad (1)$$

где $\Omega_{\text{зерк}}$ - площадь зеркала водохранилища до опорожнения;
 Ω - текущая площадь водохранилища при опорожнении;
 H - напор на гидроузле до опорожнения;
 Z - высота размываемой плотины (текущая координата).

По фронту плотина делится на три участка по высоте, площадь которых принимается прямоугольной.

Время опорожнения водохранилища определяется по известной формуле для опорожнения при переменном напоре и переменной площади горизонтального сечения резервуара

$$t = \int_{z_1}^{z_2} \frac{\Omega dz}{\mu \varpi \sqrt{2gz}}, \quad (2)$$

где Ω - площадь горизонтального сечения;
 μ - коэффициент расхода отверстия;
 ϖ - площадь отверстия;
 z и z - начальная и конечная вертикальные координаты.

В рассматриваемом случае эта формула будет иметь вид:

$$t = \int_0^H \frac{\Omega dz}{m \varpi \sqrt{2gz}}, \quad (3)$$

где Ω - текущая площадь зеркала водохранилища;
 m - коэффициент расхода водослива (прорана); водослив принимается трапециидального профиля по сечению плотины;
 ϖ - текущая площадь живого сечения прорана;

$$\varpi = h \cdot b, \quad (4)$$

где $h = H/3$;

b - промежуточная ширина плотины в каждом из трех участков по высоте, на которые разбита плотина по фронтальному сечению;

H - начальный напор на водохранилище;

Из условия подобия

$$b = \frac{B \cdot Z}{H}, \quad (5)$$

где B - ширина плотины по фронту.

Интегрирование, как сказано ранее, разбиваем на три равных участка по высоте плотины. Вследствие размыва и деформации тела плотины коэффициент расхода на каждом участке будет иметь свое значение.

Многочисленными экспериментами установлено, что при размыве плотины низовой откос деформируется и приобретает конфигурацию водослива практического профиля. На каждом участке интегрирования коэффициент расхода будет иметь свое значение, т.к. будет происходить размыв и деформация тела плотины. При переливе через гребень плотины низовой откос плотины будет деформировался и приобретать форму везвакуумного водослива практического профиля, повторяющего форму струи потока. Принятая расчетная схема деформации и размыва плотины представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Расчетная схема деформации и размыва тела плотины

Безвакуумный водослив практического профиля очерчен по линии свободной струи и рассчитывается по координатам Кригера-Офицера.

Коэффициент расхода на каждом участке интегрирования определяется как для водослива очерченного по координатам Кригера - Офицера для профиля с наклонной верховой гранью

$$m = 0,48(0,805 + 0,31 \frac{H}{H_{i0}}), \text{ при } \frac{i}{i_0} = 0,1 \dots 0,5, \quad (6)$$

$$m = 0,4820 \sqrt{\frac{H}{H_{пр}}} \text{ при } \frac{i}{i_0} > 0,5, \quad (7)$$

где H – напор при переливе и размыве плотины;

$H_{пр}$ – профилирующий напор, который для безвакуумных водосливов практического профиля принимается равным максимальному напору.

Проведя интегрирование на каждом конкретном участке в соответствии с (2) и при учете (1). В общем случае время опорожнения водохранилища на каждом из трех участков по высоте плотины равно

$$t = \int_0^H \frac{\Omega_{\zeta \dot{\alpha} \dot{\delta} \dot{\epsilon}} z^2 dz}{H^2 m \omega \sqrt{2yz}}, \quad (8)$$

$$t = \frac{\Omega_{\zeta \dot{\alpha} \dot{\delta} \dot{\epsilon}}}{i^2 m \omega \sqrt{2y}} \int_0^H \frac{z^2}{\sqrt{z}} dz. \quad (9)$$

После интегрирования с учетом (4) и (5), суммирования и преобразований общее время опорожнения водохранилища или прохождения волны прорыва через створ разрушенной плотины (ГТС) равно

$$t = \frac{4,5 \Omega_{\zeta \dot{\alpha} \dot{\delta} \dot{\epsilon}}}{\hat{A} \sqrt{2gH}}. \quad (10)$$

Полученная формула по структуре проста, а по применимости уникальна. До настоящего времени опорожнение водохранилища при разрушении плотины не рассматривалось при условии неустановившегося движения, с учетом изменения коэффициента расхода. Предложенная методика еще уникальна и тем, что форма зеркала водохранилища может быть произвольной.

Предложенные расчеты могут быть использованы в отечественной практике по определению основных параметров «волны прорыва» при прогнозировании последствий ее прохождения по водотоку при разрушении гидродинамически опасных объектов на территории Республики Беларусь.