

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРОМЫВКИ ВЕРХНЕГО БЬЕФА ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Л.ТОКМАДЖЯН, П.БАЛДЖЯН, А.МАРКАРЯН

Ереванский государственный университет архитектуры и строительства

Верхний бьеф водозаборных сооружений на горных реках часто переполнен наносами. Из-за этого большое количество песка и гравия проходит в каналы, создавая аварийную ситуацию. На основе математического моделирования процесса промывки приводятся разработки по определению времени промежуточной и полной промывок верхнего бьефа водозабора. Это позволит эффективно планировать эксплуатационный режим гидроузлов.

На представленных рисунках даются общие схемы промывки верхнего бьефа, а также профильная и плановая схемы промывного процесса.

Приведены практические рекомендации по использованию предложенной авторами методики промывки.

Ключевые слова: река, водозабор, наносы, верхний бьеф, промывка.

В процессе обеспечения безопасности и эффективности эксплуатации плотин, а следовательно, их водохранилищ, важное значение имеет своевременно проведенная промывка верхнего бьефа в целях очистки отложившихся там наносов. Это мероприятие в ряде случаев достаточно успешно применяется на практике. Однако оно проводится без предварительно установленных критериев или опробованных методических рекомендаций по прогнозу промежуточных и окончательных результатов промывного процесса. Причина такого состояния проблемы - низкий уровень ее экспериментальной и теоретической изученности. В данной работе сделана попытка на основе математического моделирования промывного процесса разработать метод расчета времени промывки верхнего бьефа водозаборных сооружений.

Большинство водохранилищ, построенных на горно-предгорных реках, по истечению срока службы, а нередко - и раньше, наполняются наносами, и их дальнейшая эксплуатация становится нецелесообразной. Указанное явление особенно часто происходит в водозаборных сооружениях, используемых в энергетических, ирригационных и коммунальных целях. Причиной быстрого заполнения верхнего бьефа является малый объем водохранилищ.

Из-за небрежной эксплуатации, а отчасти и от конструктивных недостатков, верхний бьеф многих головных водозаборных узлов за паводковый период заполняется поступающим по руслу грунтом. В результате в отстойные и другие наносочистительные узлы, а далее - и каналы или водоводы начинают поступать в недопустимом количестве песок и мелкий гравий. Образуется аварийный эксплуатационный режим водозаборной системы, при котором возможен выход ее из строя.

Для исключения подобного исхода в процессе эксплуатации необходимо планировать и проводить периодические промывки верхнего бьефа. Естественно, это требует наличия в сооружении соответствующих конструктивных решений (донные проходы, обходные туннели и т.д.). При их отсутствии необходима соответствующая реконструкция гидросооружения для возможности осуществления промывного процесса.

Как показывает опыт эксплуатации водохранилищ и водозаборных гидроузлов, нормальная работа сооружений достигается в основном в тех случаях, когда и проектные разработки совершенны, и эксплуатация организована грамотно. Этими качествами отличается значительная часть средних и крупных плотин. Что касается водозаборных сооружений, установленных в основном на притоках рек, то их эксплуатационное состояние далеко неудовлетворительно.

Процесс промывки верхнего бьефа от наносов - сложная проблема, в которой задача определения времени частичной или полной промывки T имеет весомое значение. На практике в теле плотины принято оставлять снабженные затвором один, два или три промывных прохода, в зависимости от ширины сооружения (эти проходы снабжаются затворами).

Ниже приводятся аналитические разработки по расчету величины T для случая, когда промывное отверстие установлено в средней части водозабора.

Обозначим уклон дна русла i_p , высоту отложений наносов в верхнем бьефе H (у плотины значение H максимальное - H_M), длину отверстий (толщину плотины в проходе) δ . В начальном этапе открытия затвора уклон поверхности промываемых наносов i (i_0 его начальное значение) определяется как (рис. 1)

$$i_0 = \operatorname{tg} \gamma_0 = \frac{H_M}{\delta}; \quad (1)$$

$$i_0 = \operatorname{tg} \gamma_0 = \frac{H + z_p}{S \cos \alpha}, \quad (2)$$

где γ - угол наклона поверхности промываемых отложений (γ_0 - его начальное значение); z_p - координата дна русла; α - угол наклона русла; S - расстояние от створа плотины.

Для равнинных и предгорных рек из-за малости угла α принято $i_p = \operatorname{tg} \alpha = \sin \alpha$ и $S \cdot \cos \alpha = S$. Однако для горных рек необходимо использовать связи (1) и (2). После несложных преобразований вместо (2) получим

$$i = i_p + \frac{H}{S \cdot \cos \alpha}. \quad (3)$$

Обозначив уклон отложений поверхности наносов до промывки через I , при заданных значениях i_p и H_M , можно установить толщину отложений H в зависимости от расстояния S (рис.1)

$$H = H_M - S(i_p - I) = H_M - S \cdot i_p \left(1 - \frac{I}{i_p}\right). \quad (4)$$

С учетом результатов экспериментальных и натурных исследований для соотношения $\frac{I}{i_p} = K$ получаем интервал изменения от 0,4 до 0,8 [1,2]. Для водозаборных узлов $K = 0,4, \dots, 0,6$.

Заменяя высоту H в зависимости (3) ее величиной из (4), будем иметь

$$i = i_p + \frac{H_M - S \cdot i_p (1 - K)}{S \cdot \cos \alpha}, \quad (5)$$

или

$$i = i_p + \frac{H_M}{S \cdot \cos \alpha} - \frac{i_p (1 - K)}{\cos \alpha}. \quad (6)$$

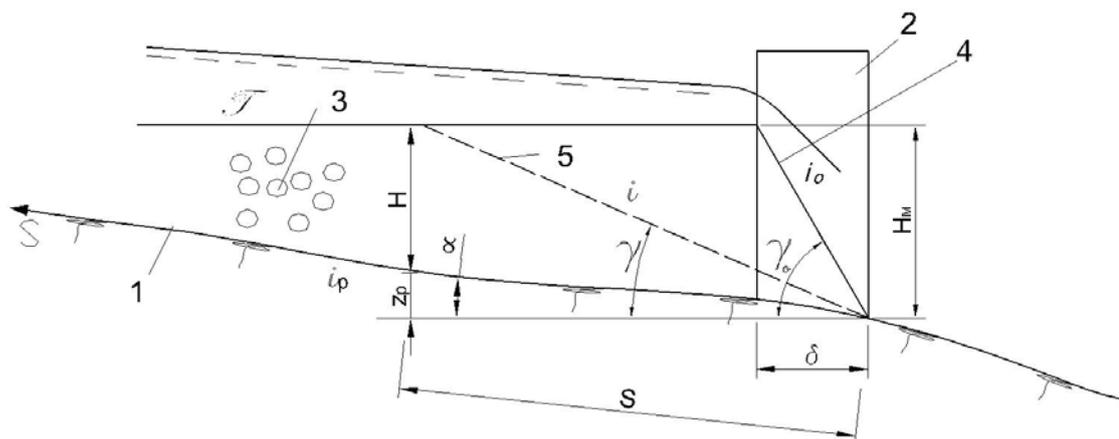


Рис.1. Схема промывки верхнего бьефа:

1- русло реки; 2 - плотина; 3 - отложения наносов; 4 - положение поверхности отложений наносов в начальном этапе промывки; 5 - то же, в последующих этапах; 6 - слой промывающей воды

Поскольку $\sin \alpha = i_p$, то вместо $\cos \alpha$, используя $\sin \alpha$, из последнего уравнения получим

$$i = i_p + \frac{1}{\sqrt{1 - i_p^2}} \left[\frac{H_M}{S} - i_p(1 - K) \right]. \quad (7)$$

Уравнение (7) устанавливает зависимость между текущей величиной уклона промывной поверхности отложений и расстоянием фронта этой поверхности.

Если до вывода уравнения (7) каких-либо существенных допущений сделано не было, то в дальнейших разработках необходимость в них возникает.

Расход наносов промывки q_T , выходящий через проход, переменный - в зависимости от времени (с уменьшением уклона i) он уменьшается. За элементарный период времени dt фронт промывки от створа 1-1 переместится к створу 2-2, проходя расстояние dS (рис. 2). При этом толщина отложений H заменяется величиной dH (толщина H , как и уклон, против течения уменьшается). Элементарный объем наносов, промытый за период dt , в первом приближении определится как (рис. 2)

$$dW_C = \frac{H + z_p}{i_p} b \cdot dH, \quad (8)$$

где b - переменная ширина русла, образовавшегося перед проходом вследствие промывки (рис. 3).

Естественно, величина b формируется потоком, движущимся плавно-изменяющейся формой (угол расширения линий токов не более $\beta = 8 - 12^\circ$). Исходя из этого, для определения этой ширины можно написать следующую связь (рис. 3):

$$b = b_{np} + 2S \cdot \operatorname{tg} 10^\circ, \quad (9)$$

где b_{np} - ширина прохода промывки. В створе плотины ($S = 0$) имеем $b = b_{np}$.

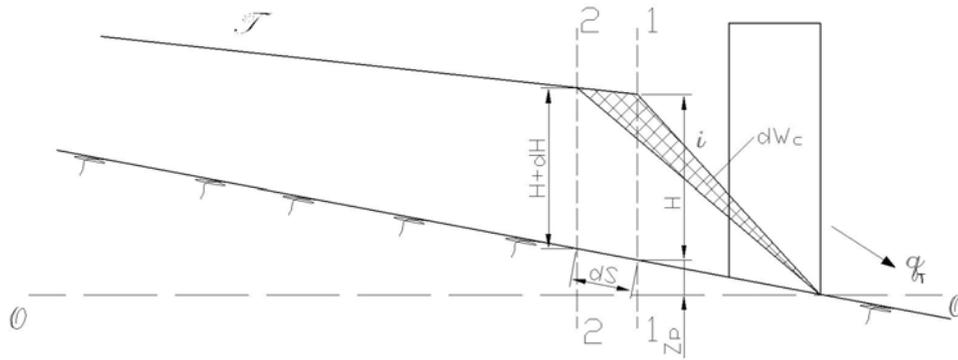


Рис.2. Профильная схема промывного процесса

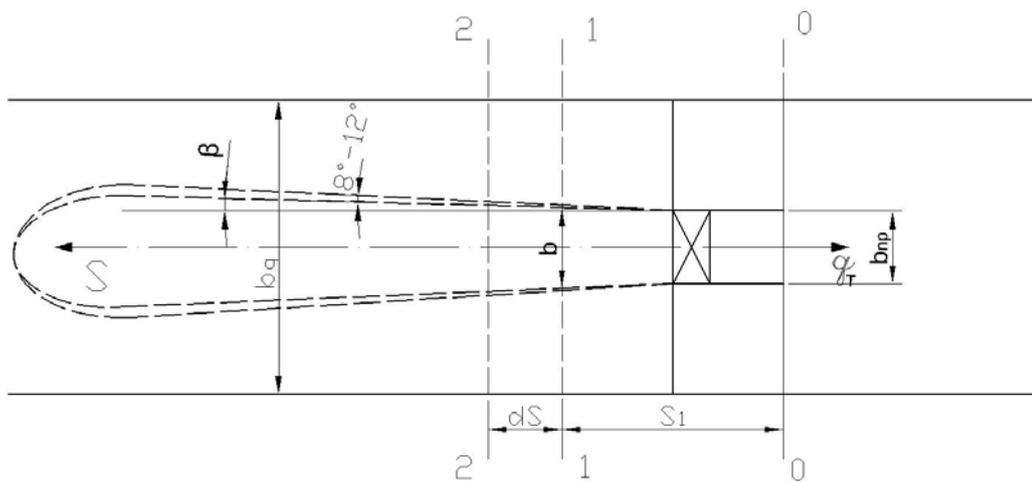


Рис.3. Плановая схема промывного процесса

С учетом связи (9) зависимость (8) запишется так:

$$dW_C = \frac{H + z_P}{i_P} (b_{np} + 2 \cdot S \cdot \operatorname{tg} 10^\circ) dH. \quad (10)$$

Учитывая, что объемный расход наносов, выходящий из прохода, обозначен через q_T , для элементарного промежутка времени промывки dt можно написать уравнение баланса наносов в виде:

$$dW_C = q_T \cdot dt. \quad (11)$$

Приравняв правые части уравнений (10) и (11), получаем

$$q_T \cdot dt = (b_{np} + 2 \cdot S \cdot \operatorname{tg} 10^\circ) dH, \quad (12)$$

или

$$dt = \frac{H + z_P}{i_P \cdot q_T} (b_{np} + 2 \cdot S \cdot \operatorname{tg} 10^\circ) dH. \quad (13)$$

Из полученного дифференциального уравнения путем интегрирования устанавливаем зависимость между положением промывного фронта (координата S) и промежутком времени, в течение которого промыт объем наносов, находящихся между водозабором и данным створом.

Краевыми условиями интегрирования являются:

при $t=0$ $S=0$ и $H=H_M$;

при $t=T_{np}$ $S=S_T$, $H=0$, где T_{np} - продолжительность полной промывки верхнего бьефа.

В уравнении (13) величины z_p , i_p и b_{np} являются исходными и легко устанавливаются. Что касается величины q_b , то для ее определения можно использовать какой-либо известный метод, или же для проверки- несколько методов (М.А.Мостков [3], Graf W. [4], П.О.Балджян [2] и т.д.).

Таким образом, для расчета промежутков времени полной или частичной промывки верхнего бьефа водозаборных сооружений корректно использование предлагаемого уравнения (13).

ЛИТЕРАТУРА

1. Флейшман С.М. Сели. Л.: Гидрометеиздат. 1978.
2. Балджян П.О. Разработка методов расчета противоселевых сооружений и проблемы эксплуатации. Автореф. докт. дис. Ереван. 2008.
3. Мостков М.А. Расчетная формула для горных потоков, находящихся в естественном состоянии // Метеорология и гидрология. 1938.
4. Graf W.H. Hydraulics of sediment transport. New York: Mc. Craw – Hill Inc. 1971.

ЛЕВОН ТОКМАДЖЯН
tokmajyan@ysuac.am