

На основании расчетов можно сделать вывод о том, что благодаря использованию предложенного варианта виброизоляции основные критические величины, такие как скорость и ускорение вертикального перемещения, значительно меньше, по сравнению с первоначальным вариантом, а именно:

- снижение максимальной скорости вертикальных перемещений в 1,87 раза;
- снижение максимальной скорости вертикальных перемещений в 2 раза;
- снижение максимального ускорения вертикальных перемещений в 1,26 раза.

УДК 627.8.034

Определение границ затопления нижнего бьефа гидроузла при пропуске расходов половодья

Немеровец О. В., Ивашечкин В. В., Веременик В. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

С помощью разработанной методики можно определить границы затопления территории нижнего бьефа гидроузла при пропуске паводков и половодий через водосбросные сооружения гидроузла, а также при разрушении грунтовой плотины.

Аварийность низконапорных гидротехнических сооружений (плотины IV класса с напором до 15 м и объемом водохранилища до 50 млн. м³) выше, чем у высоконапорных и средненапорных. За последние пять лет в России имели место более 300 аварий ГТС IV класса. Это объясняется неудовлетворительным уровнем их технического обслуживания, отсутствием или недостаточным штатом эксплуатационного персонала, а в ряде случаев - потерей собственника и эксплуатирующей организации [1]. В Республике Беларусь все земляные плотины согласно [2] относятся к низконапорным плотинам (плотины IV класса). В настоящее время в Республике Беларусь эксплуатируется более 150 водохранилищ с объемом более 1 млн. м³ [3]. На наиболее крупных водохранилищах требования к обеспечению безопасности удовлетворяются в полной мере, чего нельзя сказать о многочисленной группе менее крупных водохранилищ водохозяйственного комплекса, которые эксплуатируются более 40–50 лет и нуждаются в выделении необходимых средств для выполнения ремонтных работ.

Во время пропуска паводков и половодья помимо опасности превышения расчетных расходов через водосбросные сооружения и принятых при обосновании конструкций сооружений других природных нагрузок и воздействий, необходимо уделить внимание и возможным последствиям, и ущерб при аварии ГТС и затоплении территорий.

Для моделирования течения в нижнем бьефе, которое формируется при появлении расхода в результате разрушения плотины, используем модель Сен-Венана для течения воды в открытом русле произвольного профиля, описанной в работах [4–6]:

$$\begin{cases} \alpha \cdot \left[\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{W} \right) \right] + gW \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f - i_p \right) = 0, \\ \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

где x – протяженность по водотоку; t – время; $W(x, t)$ – площадь живого сечения; $Q(x, t)$ – расход воды; $h(x, t)$ – глубина; $S_f(x, t)$ – уклон трения потока; i_p – уклон дна в нижнем бьефе.

Коэффициент α учитывает неравномерное распределение скоростей по живому сечению потока. В [4] отмечается, что имеется достаточно удовлетворительная связь α с коэффициентом шероховатости по Маннингу $\alpha = 14,8n + 0,884$, причем, если по этой формуле оказывается $\alpha > 2$, рекомендуются принимать $\alpha = 2$.

Обозначим скорость потока как

$$v(x, t) = \frac{Q(x, t)}{W(x, t)} \quad (2)$$

Для расчета величины уклона трения потока используют формулу (далее R – гидравлический радиус; C – коэффициент Шези, вычисленный по формуле Маннинга; n – коэффициент шероховатости дна)

$$S_f = \frac{Q^2}{W^2 C^2 R} = \frac{v^2 n^2}{R^{4/3}}. \quad (3)$$

Учитывая (2) и (3), система (1) преобразуется к виду

$$\begin{cases} \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial(v \cdot W)}{\partial x} = 0, \\ \alpha \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} \right) + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \left(\frac{v^2 n^2}{R^{4/3}} - i_p \right) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Используемый способ описания поверхности в нижнем бьефе.

Чтобы система (4) была замкнутой, необходимо знать зависимость площади живого сечения W от глубины h . Это предполагает знание геометрии поверхности в нижнем бьефе. Следуя работе [7] сделаем определенные предположения об этой поверхности:

1) можно выделить какое-то прямоугольное русло предполагаемого потока, т.е. указать средние значения его ширины B_p , высоты берега h_B , уклона дна i_p , шероховатости n (здесь отличие от [7], т.к. там речь идет о пойме конкретной реки, т.е. все эти параметры известны);

2) считаем, что поверхность долины вне этого русла является кусочно-линейной. Это означает: что на каждой стороне долины (левой и правой) относительно выбранного русла можно выделить n линий $L_0^{l(n)}, \dots, L_n^{l(n)}$ (индекс сверху указывает на сторону – левую или правую), образованных точками с равными отметками высот $h_B = h_0 < h_1 < \dots < h_n$ относительно дна предполагаемого русла (это – *линии уровня*, каждая линия $L_k^{l(n)}$ соответствует высоте h_k , а линии $L_0^{l(n)}$ – линии берега); на каждом из участков между соседними линиями $L_k^{l(n)}$ и $L_{k+1}^{l(n)}$ берег является кусочно-линейной поверхностью, направляющими линиями которой служат ограничивающие этот участок линии уровня, а образующие – это прямые, соединяющие точки линий уровня, которые лежат в плоскости $s = s_0$, где здесь и далее параметр s – расстояние вдоль русла потока до плотины (эта плоскость перпендикулярна руслу и находится на расстоянии s_0 от плотины). Вышесказанное предположение поясняется ниже на рис. 1, а и 1, б.

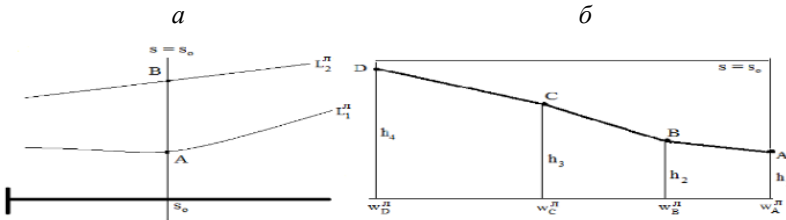


Рис. 1. Схема участка (левого) долины:
а – план; б – поперечный разрез

Пример задания линий уровня одного из берегов для пяти высот через 500 м по руслу реки Нища ниже створа Клястицкого водохранилища показан на рис. 2.

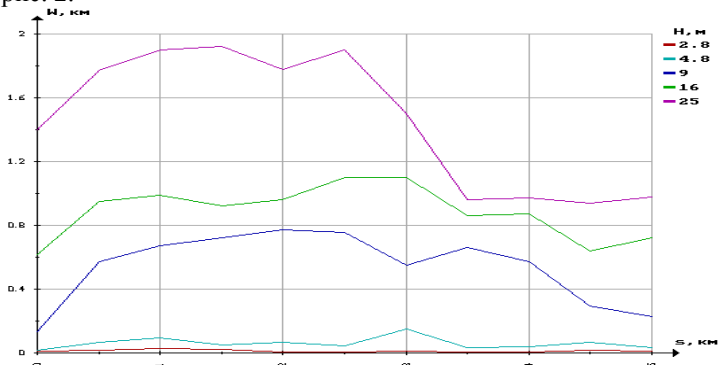


Рис. 2. Линии уровня берега, заданные таблично через 500 м

Далее определяется площадь живого сечения потока и задаются начальные и граничные условия для решения системы (4).

В качестве исходных данных приняты расход при разрушении грунтовой плотины в следствие перелива через гребень $Q = 174 \text{ м}^3/\text{с}$, ширина гребня плотины 6 м, ширина русла у основания плотины $B = 15 \text{ м}$, шероховатость русла $n = 0,03$, средний уклон $i = 0,0004$.

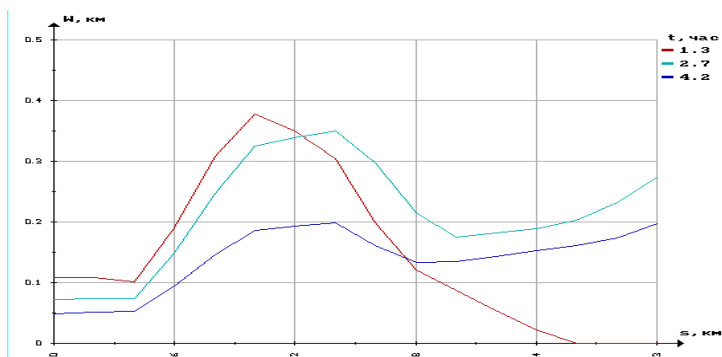


Рис. 3. Изменение ширины (зоны) затопления левой поймы w в разные моменты времени в разных створах русла при убывании расхода Q

После проведения ряда комплексных вычислений получены графики (рис. 3) с границами затопления территории ниже гидроузла для левого и правого берега в различные моменты времени при нарастании и спаде расхода (в зависимости от гидрографа паводковых расходов рассматриваемой реки).

Литература

1. Щедрин, В. Н. Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланов, О. А. Баев, Е. Д. Михайлов // Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 283 с.
2. ТКП 45-3.04-169-2009 (02250). Гидротехнические сооружения. Строительные нормы проектирования // Министерство строительства и архитектуры Республики Беларусь.– Мн, 2011 – 74 с.
3. Калинин, М. Ю. Водохранилища Беларуси: Справочник / М. Ю. Калинин [и др.]. – Минск, 2005. – 183 с.
4. Грушевский, М. С. Волны попусков и паводков в реках. // Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 336 с.
5. Klohn-Crippen. Red River one-dimensional unsteady flow model: final report submitted to International Joint Commission // Richmond (British Columbia), 1999. May. – 88 pp.
6. Ahmad S., Simonovic S.P. Comparison of One-Dimensional and Two-Dimensional Hydrodynamic Modeling Approaches for Red River Basin, final report to International Joint Commission // Winnipeg: University of Manitoba, 1999. December. – 52 pp.
7. Веремеюк, В. В. Приближенная методика расчета затопления поймы реки при экстремальных попусках из водохранилища в период половодья / В. В. Веремеюк, В. В. Ивашечкин, Я. А. Семенова, О. В. Немеровец // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 1. – с. 67–74.

УДК 628.1

Методика расчета снижения энергопотребления на водозаборах подземных вод в результате регенерации скважин и замены закольматированных трубопроводов

Крицкая В. И.¹, Ивашечкин В. В.¹, Шейко А. М.², Назаров И. И.¹

¹Белорусский национальный технический университет,

²ОАО «Белгорхимпром»

Минск, Республика Беларусь