

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ГРУНТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Якшина А. А., Кирилов К. В., Похабов В. И.,
научный руководитель д-р техн. наук, проф. Похабов В. И.
Сибирский федеральный университет

На территории Красноярского края располагаются 1108 гидротехнических сооружений, 252 из которых относятся к аварийным. Среди них имеются и грунтовые сооружения.

Исследования проводились в С. Ф. ВНИИГ по руководством Похабова В. И. в связи с новой схемой крепления, которая представляет собой пространственную рамно-балочную конструкцию, заполненную крупногабаритным камнем.

Целью исследования является подбор оптимальной по стоимости и объемам строительного-монтажных работ конструкции крепления при условиях полной сборности (без применения монолитного бетона), которая обеспечивала бы надежность при пропуске расчетного паводка с уклоном низового откоса круче, чем 1:3. (рис. 1).

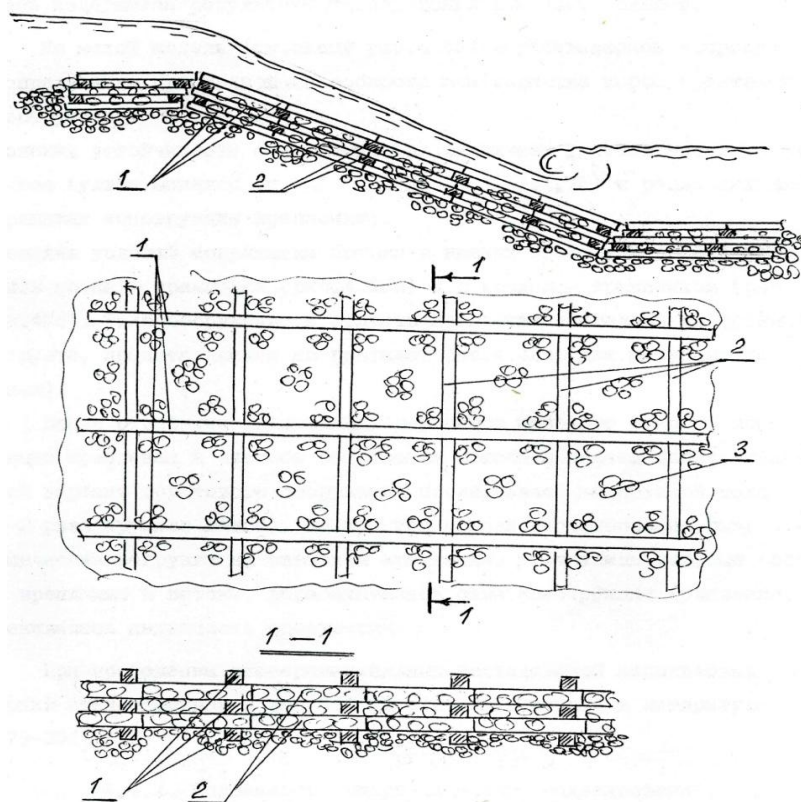


Рис. 1. Рамно-балочная конструкция крепления. 1 – продольные элементы. 2 – поперечные элементы. 3 – каменная загрузка.

После отработки оптимальных вариантов низового откоса, конструкции крепления и способа сопряжения потока в нижнем бьефе, основной вариант будет исследован на крупной модели (в 2 раза крупнее малой). На данном этапе работ уточняются условия работы крепления в потоке, гидродинамические нагрузки на элементы покрытия, дорабатывается конструкция крепления с оценкой надежности сооружения.

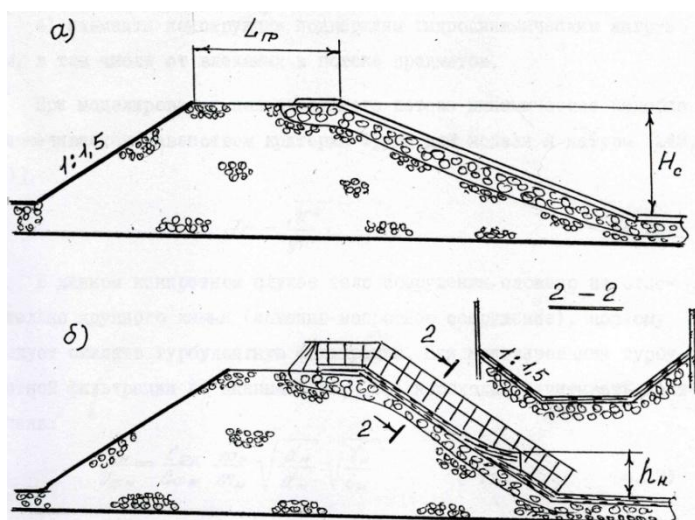
При моделировании пропуска воды через грунтовое сооружение необходимо учитывать следующие условия:

Исследования проводятся на моделях различного масштаба, в предполагаемом количестве трех штук. На малой модели отрабатываются вопросы:

— определение пропускной способности при переливе через грунтовое сооружение;

— оценка устойчивости сооружения при различных уклонах низового откоса (от 1:5 до 1:1,75) и различных вариантах конструкции крепления;

— оценка условий сопряжения потока в нижнем бьефе для сооружения без носка-трамплина и с носком-трамплином (рис. 2).



- на модельной установке водонепроницаемый экран установлен на верхнем откосе сооружения;
- поток, пропускаемый через сооружение, разделяется на поверхностный и фильтрационный;
- происходит вынос каменной загрузки из клеток конструкции;
- элементы конструкции подвержены гидродинамическим нагрузкам, в том числе влекаемых в потоке предметов.

Рис. 2. Исследование схемы грунтового сооружения. а) без носка трамплина; б) с носком трамплина.

При моделировании поверхностного потока динамическое подобие обеспечивается равенством критерия Фруда для модели и натуре.

В данном конкретном случае тело сооружения сложено из относительно крупного камня, поэтому следует ожидать турбулентную фильтрацию.

Когда имеет место одновременно поверхностный поток и турбулентная фильтрация, пересчет средних гидравлических характеристик можно производить по закону Фруда

$$\frac{v_n}{v_m} = \sqrt{\alpha_e}; \quad \frac{C_{фн} m_n}{C_{фм} m_m} \sqrt{\frac{d_n}{d_m}} = \sqrt{\alpha_e} \quad \text{или} \quad \frac{C_{фн} m_n}{C_{фм} m_m} = 1, \text{ где}$$

$v_{фн}, v_{фм}$ – скорости фильтрации в натуральных условиях и на модели;

$C_{фн}, C_{фм}$ – коэффициенты, характеризующие турбулентную фильтрацию на модели и в натуре;

m_n, m_m – коэффициент пористости грунта для натуре и для модели.

В этом случае с учетом соотношения $C_{фн}/C_{фм}$ возможно отступление от геометрического подобия крупнозернистого материала модели и натуре.

При моделировании турбулентной фильтрации диаметр крупнозернистого материала необходимо подбирать с учетом формулы Кребера для $1/m$

$$v_{ф} = K_T i^{\frac{1}{m}}; \quad \frac{1}{m} = \frac{0,8+d}{0,8+2d}, \text{ где}$$

d – эквивалентный диаметр крупнозернистого материала.

Отсюда следует, что при $\frac{1}{m} \rightarrow 1$ соблюдается ламинарный закон фильтрации Дарси-Дюкюн, а при $\frac{1}{m} \rightarrow \frac{1}{2}$ имеет место закон турбулентной фильтрации и имеет вид формулы Шези.

Что же касается вопросов моделирования аэрации поверхностного потока, то здесь имеется следующее. Аэрация потока является следствием совместного проявления сил тяжести воды и воздуха, вязкости воды, скорости потока, сил поверхностного натяжения, гидравлической крупности пузырьков, возмущения свободной поверхности при обтекании плохообтекаемых конструкций. Поэтому при моделировании аэрированных

потоков, вообще говоря, требуется соблюдение равенства модели и в натуре критериев Фуды $F_r = \frac{v^2}{gl}$; Вебера $W_l = \frac{\rho lv^2}{\sigma}$; Рейнольдса $Re = \frac{vl}{\nu}$.

Соотношение масштабов переходных коэффициентов, обусловленных указанными критериями подобия, исключают возможность достижения полного подобия при моделировании захвата потоком воздуха и начала аэрации. Например, на модели в n раз меньше натуре размеры пузырьков воздуха и капель воды не будут в n раз меньшими. Влияние химического состава воды не позволяет говорить о подобии величин на модели и в натуре. Поэтому даже качественное моделирование аэрации потока на моделях малого масштаба затруднительно.

При выборе первоначального шага (по течению) поперечных элементов 1 конструкции крепления учитываются данные по расположению усиленной шероховатости и при обтекании плохообтекаемых конструкций. Условия, при которых следующий по течению элемент находится в следе впереди стоящего, обеспечиваются, когда расстояние между элементами находится в диапазоне

$$\bar{e} = \frac{l_k}{h_0} \leq 3,5, \text{ где}$$

\bar{e} – относительное расстояние между элементами,

l_k – расстояние между элементами,

h_0 – высота поперечного элемента, обтекаемого потоком.

Высота h_0 – поперечного элемента и расстояние между ними по высоте принимается равными эквивалентному диаметру расчетной отдельности загрузки и переходного слоя.

Для определения гидродинамических нагрузок на поперечные элементы – балочки верхнего яруса в трех створах на низовом откосе плотины были установлены тензометрированные балочки, с помощью которых определяются нагрузки на поперечные элементы конструкции как потока, так и от влекаемых потоком камней.

Проведенные комплексные гидравлические испытания показали высокую надежность новой конструкции в условиях высокоскоростного потока с уклоном низового откоса до 1:2,5. Устойчивость камня, загружаемого в клетки конструкции, обеспечивается за счет гашения скорости потока при обтекании поперечных элементов и за счет формирования пограничного слоя около поперечных элементов.

Экспериментальные данные позволяют задавать основные габариты конструкции крепления. Для предотвращения выноса заполнения из клеток конструкции можно перекрывать клетки плитами, решетками и т.п. Установка на верхнем ярусе крепления поперечных элементов в виде прорезных балок позволит существенно увеличить расстояние между элементами и снизить нагрузки на поперечные элементы в области влияния прорезных балок.