

Расчет фильтрации через дамбу канала на косогоре и оценка риска возникновения аварийной ситуации

Бакланова Д.В.

ФГБНУ «РосНИИПМ», г. Новочеркасск, Россия

При эксплуатации крупных каналов часто возникают различные негативные процессы, связанные с прорывом дамб, образованием суффозии и сосредоточенных ходов фильтрации в дамбах каналов, значительными размывами их русел, оползнями [1, 2, 3]. Наиболее часто данные процессы происходят на участках каналов, проходящих в насыпи и на косогоре (рис. 1), и приводят к нарушению безопасности работы каналов и к невозможности их дальнейшей эксплуатации.

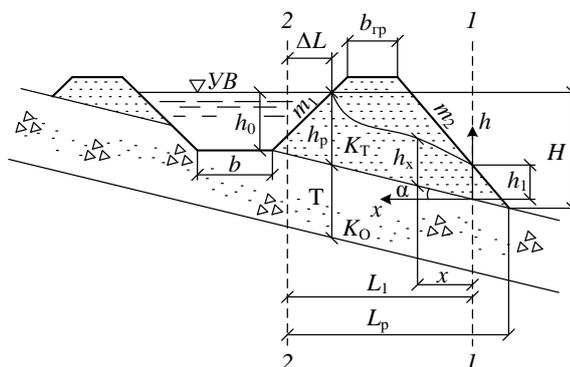


Рисунок 1 – Расчетная схема канала на косогоре

Участки каналов на косогоре встречаются реже, чем участки в насыпи, однако они не менее опасны, так как в данном случае уровень воды в канале значительно превышает отметки прилегающей территории, и фильтрация будет происходить в основном через однобортную дамбу и ее основание.

Примером таких участков может служить головной участок Большого Ставропольского канала, который практически весь (27 км) проходит по косогору, а также косогорные участки на Право-Егорлыкском канале общей протяженностью 2,4 км.

Фильтрация из канала на косогоре с водопроницаемым основанием мощностью T будет происходить, как уже говорилось, через нижнюю однобортную дамбу и ее основание, имеющее наклон поверхности под углом α . Величиной фильтрации через верхнюю дамбу, как правило, малой высоты, из-за наклона поверхности косогора можно пренебречь.

Для расчета фильтрации в теле и основании дамбы используем приближенное решение В. П. Недриги [4] для двух фрагментов, разделенных сечением 1-1. Сечение 2-2 принимается на расстоянии ΔL от уреза воды.

Суммарный удельный фильтрационный расход через тело и основание дамбы канала на косогоре определяем по формулам:

$$q_T = K_T \left(\frac{h_p^2 - h_1^2}{2L_1} + i \frac{h_p + h_1}{2} + T \frac{K_O}{K_T} \frac{h_p + i \cdot L_1 - h_1}{L_1 + \Delta L_K} \right) \cos \alpha, \quad (1)$$

$$q_O = A \cdot h_1 + K_O \cdot T \left(i + \frac{h_1}{B \cdot h_1 + D} \right), \quad (2)$$

где K_T, K_O – коэффициенты фильтрации грунта тела и основания дамбы канала; h_p – расстояние от уреза воды до подошвы дамбы; h_1 – высота выхода депрессионной кривой на низовой откос; $L_1 = L_p - \frac{m_2}{1-i \cdot m_2} h_p$; $i = \operatorname{tg} \alpha$; $L_p = \Delta L + L$;

$$\Delta L = \frac{m_1}{1+2m_1} \cdot h_p; \Delta L_K = h_0 \cdot \Phi_1; \Phi_1 = \frac{2}{\pi} \ln \frac{4 \cdot h_0}{\pi \cdot e}; A = K_T(i + \operatorname{tg} \beta); B = \frac{m_2}{(1-i \cdot m_2) \cdot \cos \alpha} + \sin \alpha;$$

$$D = T(0,5 - \operatorname{tg} \alpha); \beta = \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{m_2} \right) - \alpha.$$

Решение двух уравнений (1) и (2) находится путем подбора или графически путем пересечения двух кривых, вычисляемых при различных значениях h_1 . Отличием данных формул от известного решения В. П. Недриги является то, что в уравнении (1) учитывается дополнительное фильтрационное сопротивление канала ΔL_K .

В случае водонепроницаемого основания под дамбой канала, когда грунты основания представляют маловодонепроницаемые глинистые грунты или скальные нетрещиноватые породы, расчетные формулы будут иметь вид:

$$q_T = K_T \cdot \left(\frac{h_p^2 - h_1^2}{2L_1} + i \frac{h_p + h_1}{2} \right) \cos \alpha.$$

Действующий средний градиент напора в теле дамбы для оценки возможности образования общих фильтрационных деформаций в виде сосредоточенных ходов фильтрации найдем по формуле Р. Р. Чугаева [5]:

$$J_{\text{est,m}}^T = \frac{H}{L_p - \Delta L + 0,4H},$$

где $H = h_p + i(L_p - \Delta L)$.

Действующий средний градиент напора в основании дамбы канала можно найти по формуле с учетом дополнительных фильтрационных сопротивлений канала ограниченной ширины b :

$$J_{\text{est,m}}^O = \frac{H}{h_0 \cdot \Phi_1 + 0,88 \cdot T + L_O},$$

где $L_O = b_{\text{гр}} + (h_0 + d) \cdot m_1 + (H + d) \cdot m_2$.

Максимальный выходной градиент напора при выходе потока на низовой откос дамбы определим по формуле:

$$J_{\text{est,max}}^T = \frac{\left[\sqrt{\left(h_1 + T \frac{K_O}{K_T} - i \frac{0,1(L_1 - \Delta L)}{2} \right)^2 + \frac{0,2(L_1 - \Delta L)}{\cos \alpha} \cdot \frac{q}{K_T} - T \frac{K_O}{K_T} + i \frac{0,1(L_1 - \Delta L)}{2}} \right]}{0,1(L_1 - \Delta L)}.$$

Максимальный выходной градиент напора в основании при выходе потока за дамбой вычислим по зависимости:

$$J_{\text{est,max}}^O = \frac{H}{0,05\pi L_O}.$$

Оценка риска возникновения аварийной ситуации, связанной с разрушением нижней дамбы канала вследствие фильтрационных воздействий на косогоре, проводится по формулам:

$$\lambda_T = \frac{\gamma_n}{K_{H_{J_{est,m}^T}}^{гар}} \cdot \lambda_n, \quad \lambda_O = \frac{\gamma_n}{K_{H_{J_{est,m}^O}}^{гар}} \lambda_n,$$

где λ_T, λ_O – риски разрушения тела и основания дамбы канала, γ_n – коэффициент надежности; λ_n – нормативный риск, определяемый в зависимости от класса сооружения для основного вида нагрузок по [6], $K_{H_{J_{est,m}^T}}^{гар}, K_{H_{J_{est,m}^O}}^{гар}$ – гарантированный коэффициент надежности для тела и основания дамбы.

$$K_{H_{J_{est,m}^T}}^{гар} = \frac{J_{cr,m}^T - m_{J_{cr,m}^T}}{J_{est,m}^T + m_{J_{est,m}^T}}, \quad K_{H_{J_{est,m}^O}}^{гар} = \frac{J_{cr,m}^O - m_{J_{cr,m}^O}}{J_{est,m}^O + m_{J_{est,m}^O}},$$

$$m_{J_{cr,m}^T} = \sigma_{J_{cr,m}^T} \cdot t_\alpha, \quad m_{J_{est,m}^T} = \sigma_{J_{est,m}^T} \cdot t_\alpha,$$

где $\sigma_{J_{cr,m}}, \sigma_{J_{est,m}}$ – среднеквадратическое отклонение соответственно критического и среднего градиентов; t_α – коэффициент Стьюдента.

Величина общего риска разрушения дамбы канала на косогоре составляет сумму рисков разрушения его тела и основания: $\lambda = \lambda_T + \lambda_O$.

Пример расчета риска разрушения дамбы крупного канала на косогоре приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета риска разрушения дамбы крупного канала на косогоре

Исходные данные	$m_1 = 2, m_2 = 3, d = 1 \text{ м}, b_{гр} = 7 \text{ м}, K_T = 1 \text{ м/сут.}, K_O = 0,3 \text{ м/сут.}, h_0 = 5 \text{ м}, b = 6 \text{ м}, \alpha = 20^\circ, T = 15 \text{ м}$
Общий удельный фильтрационный расход q , $\text{м}^2/\text{сут.}$	4,46
Действующий средний градиент напора в теле дамбы канала $J_{est,m}^T$	0,37
Действующий средний градиент напора в основании дамбы канала $J_{est,m}^O$	0,24
Максимальный выходной градиент напора при выходе потока на низовой откос дамбы $J_{est,max}^T$	0,59
Максимальный выходной градиент напора в основании при выходе потока за дамбой $J_{est,max}^O$	1,72
Общий риск разрушения дамбы канала, $\lambda \times 10^{-3}$, 1/год	3,37
Нормативный риск, $\lambda_n \times 10^{-3}$, 1/год	5,00

На основании анализа результатов расчета для участка канала на косогоре с водопроницаемым основанием расчеты показали превышение максимального выходного градиента напора в основании при выходе потока за дамбой. Это свидетельствует о возможности появления локальных разрушений грунта основания за дамбой, однако в целом риск разрушения дамбы на косогоре не превышает нормативный, что исключает вероятность возникновения аварийной ситуации.

Литература

1. Алтунин, В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах / В. С. Алтунин. – М.: Колос, 1979. – 255 с.
2. Косиченко, Ю. М. Каналы переброски стока России / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 470 с.
3. Мирцхулава, Ц. Е. О надежности крупных каналов/Ц. Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1981. – 318с.
4. Гидротехнические сооружения: справочник проектировщика / под ред. В. П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.
5. Чугаев, Р. Р. Земляные гидротехнические сооружения/ Р. Р. Чугаев. – Л.: Энергия, 1967. – 460 с.
6. СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения. – Введ. 01.01.2004. – М.: ЦПП, 2004. – 30 с.