

Фильтрационный расчет разнородных земляных плотин на непроницаемом основании

Д.А. Шантукова, Т.А. Сасиков, А.А. Анахаев, И.М. Абазов, М.Р. Тарчоков

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, Нальчик

Аннотация: В практике гидротехнического строительства, особенно в горных и в предгорных районах, довольно часто встречаются условия, при которых водохранилище плотины экономически выгодно строить из разнородных местных материалов, имеющих различные фильтрационные характеристики. Как правило, в подобных районах вблизи створа будущей плотины не оказывается в достаточном количестве однородного, отвечающего всем требованиям, строительного грунта. Однако можно найти грунты, различные по водопроницаемости, но в достаточном количестве для возведения тела данной плотины.

Ключевые слова: водохранилище, плотина, фильтрация, грунт, створ, бьеф, противофильтрационное ядро, расход, откос.

Проектирование плотин из разнородных материалов технологически сложнее, чем из однородных грунтов. Иногда, если однородные материалы расположены далеко от створа возводимой плотины или для использования близко расположенных от плотины материалов необходимо их обогащать, приходится возводить плотину из разнородных материалов.

В горных и предгорных районах возведено несколько небольших плотин (до 12 м) из разнородных материалов. Несмотря на то, что предусматривалось строительство плотины из однородных материалов с противофильтрационными устройствами, в процессе эксплуатации построенные плотины себя оправдали. Нормы проектирования земляных и набросных плотин не рекомендуют подобные конструкции разнородных плотин, однако жизнь подсказывает необходимость таких конструкций в ряде экономически обоснованных случаев. Для дальнейшего внедрения этих конструкций в практику гидротехнического строительства, прежде всего, нужен простой и достаточно точный метод фильтрационного расчета.

В настоящей статье предлагается приближенный метод расчета разнородных плотин, проектируемых на водонепроницаемых основаниях.

Такой же расход наблюдается через более проницаемый нижний клин низового откоса. При наличии воды в нижнем бьефе расход определяется по формуле (2).

$$q = \frac{k_2 H_H^2}{L_2 + \sqrt{L_2^2 - m_2^2 H_H^2}}, \quad (2)$$

где $H_H = H_0 - H_2$; L_2 и m_2 показаны на рис. 1.

В уравнениях (1) и (2) два неизвестных q и H_0 могут быть найдены подбором или графически [3]. Однако в ряде случаев, особенно при $m_1 \leq 1,5$, эти уравнения можно решить значительно проще с помощью приближенных выражений (3).

$$\frac{q}{k_1} = \frac{H_i^2}{2(\sqrt{L_0} + \sqrt{\frac{L_2^2}{\sigma}})^2} \quad \text{или} \quad \frac{q}{k_2} = \frac{H_i^2}{2(\sqrt{\sigma L_0} + \sqrt{L_2})^2} \quad (3)$$

где $H_i = H_1 - H_2$ и $\sigma = \frac{k_2}{k_1}$.

После этого легко определить высоту начала кривой депрессии на контакте ядра и нижнего клина H_0 по любому из нижеприведенных уравнений [4]:

$$H_0 = H_1 - \sqrt{\frac{q}{k_1} + (L_0 + \sqrt{L_0^2 - m_1^2 H_i^2})} \approx H_1 - \sqrt{2 \frac{q}{k_1} L_0}, \quad (4)$$

Или:

$$H_0 = H_2 + \sqrt{\frac{q}{k_2} \left[L_2 + \sqrt{L_2^2 - m_2^2 (H_0 - H_2)^2} \right]} \approx H_2 + \sqrt{2 \frac{q}{k_2} L_2}$$

Для построения кривой депрессии в ядре плотины необходимо вычислить величину участка высачивания на отдельном откосе, для чего следует воспользоваться формулой А. Я. Олейника (5).

$$h_1 = \frac{q}{k_1} \cdot \frac{1.4}{\alpha} \left(1 - \frac{H_0}{0.1 H m_1 + 2 H_0} \right), \quad (5)$$

где $\alpha = \text{arctg} m_1$ — угол наклона отдельного откоса к горизонту, вычисленный в радианах [5].

Для облегчения вычислений высоты высачивания следует преобразовать формулу (5):

$$h_1 = \frac{q}{k_1} \beta \gamma, \quad (6)$$

где

$$\beta = \frac{1.4}{\alpha}; \quad (7)$$

$$\gamma = \left(1 - \frac{H_0}{0.1 H m_1 + 2 H_0} \right), \quad (7a)$$

Выражение (7) легко выразить графически в зависимости от коэффициента низового откоса $\beta = f(m_1)$ (рис. 2), а (7a) — в зависимости от глубины воды в нижнем бьефе и произведения напора на ядро плотины и коэффициента отдельного откоса $\gamma = \varphi(m_1, H_1, H_0)$ (рис. 3).

После вычисления h_1 легко построить кривую депрессии в ядре по известной формуле (8).

$$h_x = \sqrt{(H_0 + h_1)^2 + \frac{H_1^2 - (H_1 + h_1)^2}{L_0 - m_1(H_0 + h_1)} [x - m_1(h_1 + H_0)]}, \quad (8)$$

Для построения кривой депрессии в низовом клине плотины, если она оборудована наклонным дренажем или без дренажа, высота высачивания h_2 вычисляется по формуле (6).

Предварительно найдя по рис. 2 значение β как функцию от коэффициента низового откоса m_2 , затем по рис. 3 значение γ как функцию от глубины воды в нижнем бьефе H_2 и произведения коэффициента низового откоса m_2 на напор этого клина ($H_0 - H_2$), определим высоту участка высачивания по формуле (9):

$$h_2 = \frac{q}{k_2} \beta \gamma, \quad (9)$$

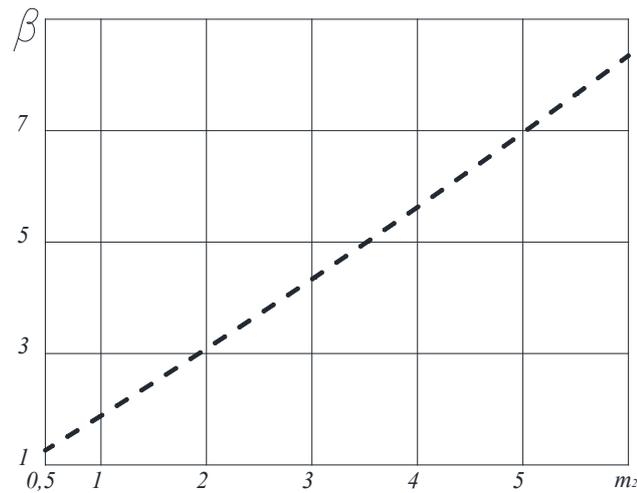


Рис. 2. – Определение значения β как функцию от коэффициента низового откоса m_2

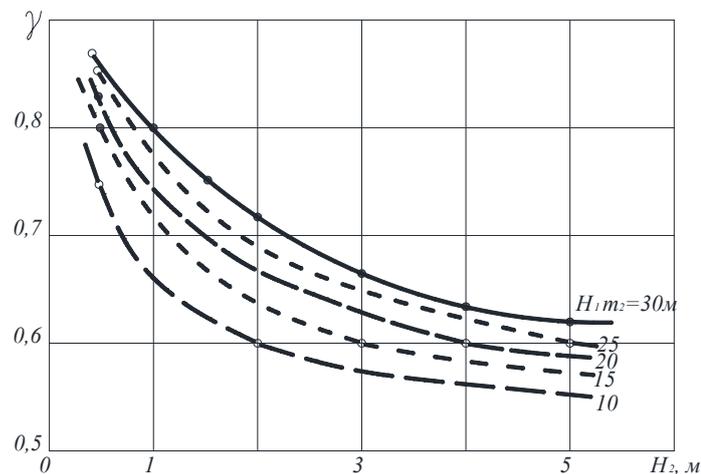


Рис. 3. – Определение значения γ как функцию от глубины воды в нижнем бьефе H_2 и произведения коэффициента низового откоса m_2 на напор этого клина ($H_0 - H_2$)

Исходя из выражения (8), положение кривой депрессии в низовом клине находим по формуле (10):

$$h'_x = \sqrt{(H_2 + h_2)^2 + \frac{H_0^2 - (H_2 + h_2)^2}{L_2 - m_2(H_2 + h_2)} [x - m_2(H_2 + h_2)]} \quad , \quad (10)$$

Расчет плотины, состоящей из ядра и низового клина, при отсутствии воды в нижнем бьефе. В этом случае расчет значительно

упростится (рис. 4). Высота начала кривой депрессии на контакте ядра и нижнего клина H_0 определится из уравнений (4):

$$H_0 = H_1 - \sqrt{\frac{q}{k_1} \left(L_0 + \sqrt{L_0^2 - m_1^2 H_1^2} \right)} \approx H_1 - \sqrt{2 \frac{q}{k_1} L_0} , \quad (11)$$

$$\text{или} \quad H_0 = H_1 \sqrt{\frac{q}{k_2} \left(L_2 + \sqrt{L_2^2 - m_2^2 H_0^2} \right)} \approx \sqrt{2 \frac{q}{k_2} L_2}$$

Здесь $\frac{q}{k_1}$ и $\frac{q}{k_2}$ вычисляются по формулам (3), где вместо H_i подставляется H_1 — глубина воды в верхнем бьефе. Все другие обозначения ясны из рис. 4.

Кривую депрессии в ядре плотины можно построить по уравнению (8). Для этого необходимо, исходя из формулы (6) и рис. 2 и 3, вычислить величину участка высачивания на раздельном откосе [6,7].

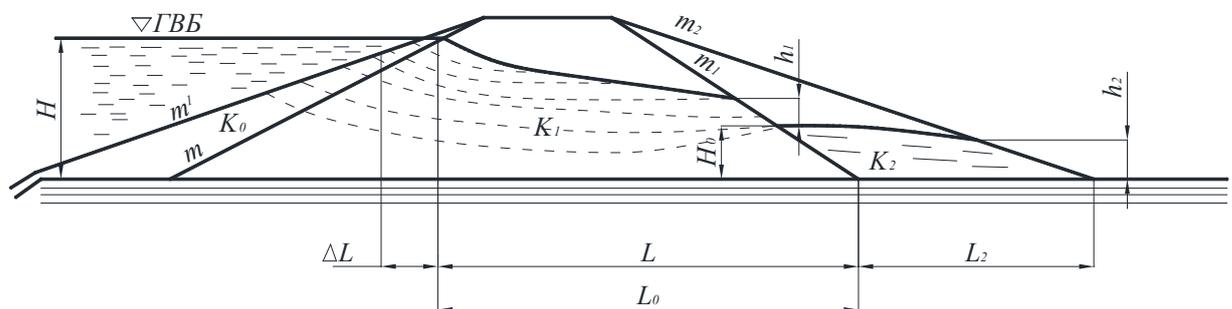


Рис. 4 – Схема построения кривой депрессии в ядре плотины

Процесс построения кривой депрессии в низовом клине плотины значительно упрощается [8,9]. Здесь высота высачивания на низовом откосе находится по формуле А. Я. Олейника (12):

$$h_2 = \frac{1.4}{\alpha} \cdot \frac{q}{k_2} = \beta \frac{q}{k_2} , \quad (12)$$

где β — определяется по кривой рис. 2.

Положение кривой депрессии в низовом клине будет определено более простым выражением (13):

$$h'_x = \sqrt{h_2^2 + \frac{H_0^2 - h_2^2}{L_2 - m_2 h_2} x} - m_2 h_2 x \quad (13)$$

При помощи приведенных методов можно получить расчет и для других таких же разнородных плотин, оборудованных дренажными призмами или иными типами дренажных устройств [10].

Литература

1. Павловский Н.Н. О фильтрации воды через земляные плотины. Изв. сектора гидротехники и гидротехнических сооружений. Научно-мелиоративный институт, 1931. в. 24. С. 1-196.
2. Мелещенко Н.Т. О расчете фильтрации через земляные плотины по методу проф. Н.Н. Павловского. //Гидротехническое строительство. №23, 1932. С. 21-24.
3. Лапшенков В. С., Богуславская Т. А. Приближенные решения некоторых задач фильтрации. Новочеркасск, НГМА, 2001. 26с.
4. Амшоков Б.Х. О водоподпорных сооружениях с грунтовыми противофильтрационными призмами. // Вопросы повышения эффективности строительства. В. 2. / КБГСХА. г. Нальчик, 2004. С. 164168.
5. Олейник А.Я. Фильтрационные расчеты вертикального дренажа. -Киев: Наукова думка, 1978, с.206.
6. Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. Изд-во МГУ, 1965. 233с.
7. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. М.: Гостехиздат, 1952. 676с.
8. Ведерников В. В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа. М.—Л.: Госстройиздат, 1939. 251с.
9. Бандурин М.А. Проблемы оценки остаточного ресурса длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений // Инженерный вестник Дона, 2012, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/891/.

10. Zhou Y., Wang Y., Gold A.J., August P.V. Modeling watershed rainfall-runoff relations using impervious surface-area data with high spatial resolution // Hydrogeology Journal. 2010. Т. 18. № 6. pp. 1413-1423.

References

1. Pavlovskij N.N. Izv. sektora gidrotehniki i gidrotehnicheskikh sooruzhenij. Nauchno-meliorativnyj institut, 1931. v. 24. pp.. 1-196.
2. Meleshhenko N.T. Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. №23, 1932. pp.. 21-24.
3. Lapshenkov V. S., Boguslavskaja T. A. Priblizhennye reshenija nekotoryh zadach filtracii [Approximate solutions of some filtration problems]. Novocherkassk, NGMA, 2001. 26p.
4. Amshokov B.H. Voprosy povyshenija jeffektivnosti stroitelstva. V. 2. KBGSHA. g. Nalchik, 2004. pp. 164-168.
5. Olejnik A.Ja. Filtracionnye raschety vertikalnogo drenazha [Filtration calculations of vertical drainage]. Kiev: Naukova dumka, 1978, s.206.
6. Shestakov V.M. Teoreticheskie osnovy ocenki podpora, vodoponizhenija i drenazha [Theoretical foundations for the assessment of backwater, water supply and drainage]. Izd-vo MGU, 1965. 233p.
7. Polubarinova-Kochina P.Ja. Teorija dvizhenija gruntovyh vod [Theory of groundwater movement]. M.: Gostehizdat, 1952. 676p.
8. Vedernikov V. V. Teorija fil'tracii i ee primenenie v oblasti irrigacii i drenazha [Filtration theory and its application in the field of irrigation and drainage]. M.—L.: Gosstrojizdat, 1939. 251p.
9. Bandurin M.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/891/.
10. Zhou Y., Wang Y., Gold A.J., August P.V. Hydrogeology Journal. 2010. Т. 18. № 6. pp. 1413-1423.

Дата поступления: 18.01.2025

Дата публикации: 25.02.2025
