

лей Республики Беларусь и Республики Таджикистан, оценить условия расположения и определить общие проблемы эксплуатации сооружений, находящихся в различных зонах водоисточников – водохранилищ с целью их предупреждения и ликвидации.

Литература

1. Левкевич, В. Е. Динамика формирования берегов малых равнинных водохранилищ / В. Е. Левкевич // Riga: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. – 149 с.

2. Михневич, Э. И. Устойчивость берегов водохранилищ при формировании профиля динамического равновесия в несвязных грунтах / Э. И. Михневич, В. Е. Левкевич, // Мелиорация. – 2016. – № 4 (78). – С.18–23.

3. Образовский, А. С., Ереснов, Н. В., Ереснов, В. Н., Казанский, М. А. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников / А. С. Образовский, Н. В. Ереснов, В. Н. Ереснов, М. А. Казанский [под ред. К. А Михайлова, А. С.Образовского] // М.: Стройиздат, 1976. – 368 с.

4. Петров, Г. Н. Комплексное использование водно-энергетических ресурсов трансграничных рек Центральной Азии. Современное состояние, проблемы и пути решения / Г. Н. Петров, Х. М. Ахмедов // Душанбе: Дониш, 2011. – 234 с.

УДК 626.3:627.41

Расчет водопроницаемой подпорной стенки для крепления фильтрующих откосов

Михневич Э. И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Особенностью работы водопроницаемых конструкций креплений откосов, устраиваемых по типу подпорной стенки, является то, что они не создают подпора грунтовым водам и не испытывают гидростатического давления, но подвержены действию активного давления грунта и гидродинамических сил, создаваемых фильтрационным потоком. Разработаны формулы, которые позволяют рассчитать активное давление грунта и гидродинамическое давление фильтрационного потока на водопроницаемые конструкции креплений для оценки их устойчивости.

Откосы мелиоративных каналов подвержены действию фильтрационного потока. Для их защиты в зоне высачивания грунтовых вод применяют

крепления в виде пригрузки из фильтрующих материалов, которые укладывают на пологие откосы с коэффициентом заложения $m \geq 1/f$. Толщину фильтрующей пригрузки можно определять по ранее разработанной автором методике [1]. Однако во многих случаях, при небольших меженных расходах воды, для увеличения скоростей течения и предотвращения заиления каналов, уменьшают нижнюю меженную часть русла устройством более крутых откосов ($m < 1/f$) с креплением их в виде водопроницаемой подпорной стенки (блоки из пористого бетона, фильтрующие плиты с упорами, перфорированная пластмассовая лента с опорными элементами, плетневые стенки и др.). В этих случаях, кроме гидродинамического давления Φ фильтрационного потока, на крепление воздействует активное давление грунта E_a , учет которого для таких конструкций требует разработки новой методики расчета. Методика расчета фильтрующих подпорных конструкций в литературе не приводится.

В теории сыпучей среды известен ряд методов определения активного давления грунта на водонепроницаемые подпорные стенки. В инженерных расчетах таких стенок при плоской наклонной поверхности засыпки чаще всего используют аналитическое выражение (1) [2, 3]:

$$E_a = \frac{\gamma h_k^2}{2} \lambda_a, \quad (1)$$

где E_a – активное давление грунта, Па; γ – удельный вес грунта засыпки, Н/м³; h_k – высота стенки крепления, м; λ_a – коэффициент активного давления грунта, определяемый по формуле

$$\lambda_a = \frac{\cos^2(\varphi - \beta)}{\left[1 + \frac{\sin(\varphi + \varphi_0) \cdot \sin(\varphi - \alpha_1)}{\cos(\beta + \varphi_0) \cdot \cos(\beta - \alpha_1)} \right]^2 \cos^2 \beta \cdot \cos(\beta + \varphi_0)}, \quad (2)$$

где φ – угол внутреннего трения грунта в воде; φ_0 – угол трения по стенке; остальные обозначения приведены на рис. 1, причем угол β принимают отрицательным при наклоне стенки в сторону засыпки.

При гладкой поверхности стенки и водонасыщенных грунтах обычно полагают $\varphi_0 = 0$. Тогда формула (2) принимает вид

$$\lambda_a = \frac{\cos^2(\varphi - \beta)}{\left[1 + \frac{\sin \varphi \cdot \sin(\varphi - \alpha_1)}{\cos \beta \cdot \cos(\beta - \alpha_1)} \right]^2 \cos^3 \beta}. \quad (3)$$

Для вертикальной стенки ($\beta = 0$)

$$\lambda_a = \frac{\cos^2 \varphi}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin \varphi \cdot \sin(\varphi - \alpha_1)}{\cos \alpha_1}} \right]^2}. \quad (4)$$

Если откос, сложенный несвязным грунтом, выше вертикального крепления находится в предельном равновесии при $\alpha_1 = \varphi$, то

$$\lambda_a = \cos^2 \varphi. \quad (5)$$

Из формулы (4) нетрудно видеть, что при $\alpha_1 = 0$

$$\lambda_a = \lambda_0 = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = (-f + \sqrt{1 + f^2})^2. \quad (6)$$

При наличии за водонепроницаемой подпорной стенкой грунтовых вод со свободной горизонтальной поверхностью на уровне верхней грани стенки (линия А – А₁ на рис. 1) суммарное давление (с учетом взвешивающего действия и гидростатического давления воды) Н. К. Снитко [3] выразил следующей зависимостью

$$E = \frac{\gamma h_K^2}{2} \lambda_a + \frac{\gamma_B h_K^2}{2} \left(\frac{1}{\cos \beta} - V_c \lambda_1 \right), \quad (7)$$

где V_c – относительный объем твердой части грунта; λ_1 – коэффициент активного давления грунта при $\alpha_1 = 0$, т.е.

$$\lambda_1 = \frac{\cos^2(\varphi - \beta)}{\left(1 + \frac{\sin \varphi}{\cos \beta} \right)^2 \cos^3 \beta}. \quad (8)$$

При $\beta = 0$, $\lambda_1 = \lambda_0$ по формуле (6).

Для облегчения практических расчетов нами составлены по формуле (3) графики (рис. 2) $\lambda_a = f(\varphi)$ при $\alpha_1 = 20-35^\circ$ ($m_1 = 1,43 - 2,75$).

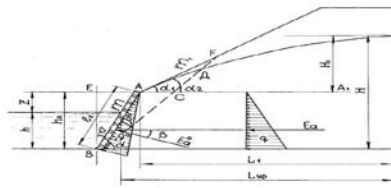


Рис. 1. Схема к расчету давления грунта на водопроницаемую подпорную стенку

Рассмотрим работу водопроницаемой подпорной стенки в качестве крепления откоса мелиоративного канала. За расчетную примем такую схему (рис. 1), когда линия высачивания грунтовых вод совпадает с верхней гранью крепления. Кривую депрессии осредним прямой с уклоном $I_{\Phi} = H_0 / L_1 = \text{tg}\alpha_2$.

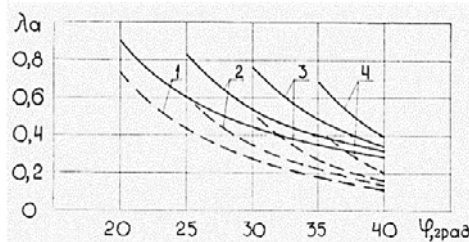


Рис. 2. График для определения активного давления грунта:
 1 – $\alpha_1 = 20^\circ$; 2 – $\alpha_1 = 25^\circ$; 3 – $\alpha_1 = 30^\circ$; 4 – $\alpha_1 = 35^\circ$; – $\beta = 0^\circ$; - - - $\beta = 20^\circ$

В силу водопроницаемости (более высокой, чем у грунта) фильтрующее крепление не создает подпора грунтовым водам и не испытывает гидростатического давления. Таким образом, суммарное давление на водопроницаемую стенку будет состоять из активного давления грунта естественной влажности выше поверхности депрессии (в расчетах принимаем невыгодный случай, когда грунт находится в насыщенном состоянии от дождевых осадков и имеет удельный вес γ_n), взвешенного водой грунта ниже поверхности и гидродинамического давления грунтового потока Φ в призме обрушения. Выражая влияние гидродинамического взвешивания по аналогии с формулой (7) и учитывая, что $\gamma_n = \gamma + \gamma_b n$, получим

$$E = \frac{\gamma_n h_k^2}{2} \lambda_a - \frac{\gamma_b h_k^2}{2} (V_c \lambda_1 + n_s \lambda_1) + \Phi. \quad (9)$$

Определяя удельную фильтрационную силу по формуле $f_\phi = \gamma_B I_\phi$ и суммируя выражение в скобках, имеем

$$E = \frac{h_k^2}{2} (\gamma_H \lambda_a - \gamma_B \lambda_1) + \gamma_B I_\phi \omega', \quad (10)$$

где

$$\lambda_1 = \frac{\cos^2(\varphi - \beta)}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin\varphi \cdot \sin(\varphi - \alpha_2)}{\cos\beta \cdot \cos(\beta - \alpha_2)}} \right]^2 \cos^3\beta}; \quad (11)$$

где ω' – площадь зоны грунта, взвешенного водой (ниже кривой депрессии) в призме обрушения.

Из рис. 1 видно, что $\omega' = \omega'_{ABC} + \omega'_{ACD}$, т.е.

$$\omega' = \frac{h_k^2}{2} \left[\operatorname{tg}(\beta + \rho^\circ) - \operatorname{tg}\beta + \frac{\sin^2 \rho^\circ \cdot \sin \alpha_2}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\rho^\circ + \beta) \cos(\alpha_2 + \rho^\circ + \beta)} \right], \quad (12)$$

здесь ρ° – угол, образуемый плоскостью сдвига с задней гранью стенки.

Максимальное значение угла ρ° определяется из выражения

$$\operatorname{tg}\rho^\circ = -\operatorname{tg}\varphi + \sqrt{\left(1 + \operatorname{tg}^2\varphi\right) \left(1 + \frac{A}{\operatorname{tg}\varphi}\right)} = -f + \sqrt{(1 + f^2) \left(1 + \frac{A}{f}\right)}, \quad (13)$$

где

$$A = \operatorname{tg}\beta + \frac{(H_1 m_1 - H_1 \operatorname{tg}\beta) H_1}{(h_k + H_1)^2} = \operatorname{tg}\beta + \frac{H_1^2 (m_1 - \operatorname{tg}\beta)}{H^2} \quad (14)$$

Для вертикальной стенки ($\beta = 0$)

$$A = \frac{m_1 H_1^2}{H^2}. \quad (15)$$

Осредненный гидравлический градиент I_ϕ можно представить приближенно следующим образом

$$I_\phi = \frac{H_0}{L_1} \approx \frac{2h_k}{H(1,1m_1 + 0,5)}. \quad (16)$$

Упростим (11) и (12), положив $\alpha_2 = 0$ на том основании, что уменьшение активного давления за счет учета взвешивания грунта в призме ACD примерно равно гидродинамическому давлению в этой призме. Тогда

$$\omega' = \frac{h_k^2}{2} [\operatorname{tg}(\beta + \rho^\circ) - \operatorname{tg}\beta]. \quad (17)$$

Коэффициент λ_1 (при $\alpha_2 = 0$) определяется по формуле (8) или по (6) при $\beta = 0$.

Принимая I_Φ по (16) и ω' по (17), окончательно получим

$$\Phi = \frac{\gamma_B h_k^3}{H(1,1m_1 + 0,5)\cos^2\beta(\operatorname{ctgr}\rho^\circ - \operatorname{tg}\beta)}, \quad (18)$$

где $\operatorname{ctgr}\rho^\circ$ можно определить, используя формулу (13).

Для вертикальной подпорной стенки ($\beta = 0$)

$$\Phi = \frac{\gamma_B h_k^3}{H(1,1m_1 + 0,5)} \left[-f + \sqrt{(1 + f^2) \left(1 + \frac{m_1 H_1^2}{fH^2}\right)} \right]. \quad (19)$$

Расчеты показывают, что для конструкций креплений меженного русла (высотой 0,2–0,4 м) величины Φ и $\frac{\gamma_B h_k^2}{2} n_s \lambda_1$ в (9) численно примерно одинаковы и для практических расчетов интенсивности давления q можно использовать следующую простую зависимость:

$$q = h_k (\gamma_H \lambda_a - \gamma_B V_c \lambda_1), \quad (20)$$

где λ_a определяют по (2) или (3), а λ_1 – по (8) или (6).

Для грунтов, обладающих связностью ($C_c \neq 0$), уменьшение интенсивности бокового давления грунта за счет сил сцепления можно определить по формуле А. Како [3, 4]

$$q_{\text{сц}} = -\frac{C_c}{f} \left[1 - \lambda_a \frac{\cos\beta}{\cos(\beta - \alpha_1)} \right]. \quad (21)$$

Суммарная интенсивность давления на стенку при наличии сил трения и сцепления равна

$$q = h_k (\gamma_H \lambda_a - \gamma_B V_c \lambda_1) - \frac{C_c}{f} \left[1 - \lambda_a \frac{\cos\beta}{\cos(\beta - \alpha_1)} \right]. \quad (22)$$

Полное активное давление грунта E_a равно площади эпюры интенсивности давления (рис.1)

$$E_a = \frac{1}{2} h_k q. \quad (23)$$

Приведенная методика определения активного давления грунта на водопроницаемые подпорные стенки может использоваться для расчета устойчивости креплений нижней зоны откосов осушительных каналов, выполненных по типу подпорной стенки ($\alpha < \varphi$), таких как блоки и плиты из пористого бетона, конструкции из перфорированной пластмассовой ленты и пр.

Литература

1. Михневич, Э. И. Методика расчетов каналов и коллекторов / Э. И. Михневич, Н. Н. Линкевич. – Минск: БНТУ, 2021. – 126 с.
2. Иванов, П. Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений / П. Л. Иванов. – М.: Высшая школа, 1985. – 352 с.
3. Снитко, Н. К. Статическое и динамическое давление грунтов и расчет подпорных стенок / Н. К. Снитко. – Л.: Госстройиздат, 1970. – 207 с.
4. Долматов, Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Долматов. – Л.: Стройиздат, 1988. – 415 с.

УДК 628.16

Особенности методов обработки поверхностных вод озонированием и активированным углем

Волкова Г. А., Ануфриев В. Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Проведен анализ данных изменения показателей качества и состава воды поверхностных водных источников, поступающей на сооружения очистной водопроводной станции, и питьевой воды, поступающей в водораспределительную сеть города. При наличии в воде, поступающей на водоочистные сооружения, запахов 3 балла и выше для снижения их интенсивности рекомендуется применять окислительно-сорбционный метод обработки воды.

Сезонные колебания показателей качества воды в поверхностных источниках водоснабжения характеризуются следующими значениями: тем-