

и технология машиностроения: труды Американского общества инженеров-механиков. – 1969. – № 2. – С. 80–86.

5. Шарков В. П. Некоторые вопросы сейсмостойкости ячеистых гидротехнических сооружений на скальном основании:

автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГМИ, 1982.

Материал поступил в редакцию 20.03.10.

Шарков Вячеслав Петрович, кандидат технических наук, доцент

Тел. 8 (499) 976-24-60

УДК 502/504:626

И. Ж. АТАБИЕВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ N-СЛОЙНОГО РАССЕИВАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ПОДЗЕМНОГО КОНТУРА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрен принцип действия рассеивающего выходного элемента многослойной конструкции из n слоев (n > 2).

Коэффициент фильтрационного сопротивления, проницаемость, пьезометрические напоры, многослойная конструкция, проницаемая геомембрана.

The action of the scattering output element of the multilayer structure consisting of n number of layers (n > 2) is considered.

Coefficient of filtration resistance, permeability, hydraulic heads, multilayer structure, permeable geomembrane.

Принцип действия рассеивающего выходного элемента ступенчатой проницаемости (РВЭ-Ст) и способ расчета частного случая, когда он состоит из двух слоев дискретно проницаемых геомембран, изложен автором в работах [1, 2]. Многослойная конструкция из n (n > 2) слоев требует специального рассмотрения в силу трудностей составления системы n + 1 числа уравнений и сложностей ее дальнейшего разрешения (рисунок).

Искомыми следует считать следующие параметры: длины участков $\Delta l_1, \Delta l_2, \dots, \Delta l_i, \dots, \Delta l_n$, каждый из которых имеет постоянную проницаемость; коэффициенты их фильтрационного сопротивления транзитному потоку по длине $\Delta \zeta_1, \Delta \zeta_2, \dots, \Delta \zeta_i, \dots, \Delta \zeta_n$; пьезометрические напоры в начале каждого участка $H_1,$

$H_2, \dots, H_i, \dots, H_{n-1}$. Значения суммарного коэффициента сопротивления элемента ζ_p , коэффициента сопротивления, возникающего в конце элемента на выходе в нижний бьеф $\zeta_{\text{ВЫХ}}$, пьезометрических напоров в начале $H_n = H_n$ и в конце $H_k = h_{\text{ВЫХ}}$ определяются как в [2, 3]. Толщина грунтовых слоев t и $\Delta t = \text{const}$ принимается конструктивно, с учетом технологических особенностей, а расстояние между центрами отверстий (ширина фрагмента с одним отверстием) каждой геомембраны $l_\phi = \text{const}$ и размер отверстия δ определяются отдельно из условия сохранения местной фильтрационной прочности (рисунок):

$$I_1 = I_2 = \dots = I_i = \dots I_n \leq I_{\text{ен}}. \quad (1)$$

Считая, что вдоль каждого участка падение пьезометрического напора происходит линейно, можно записать:

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= h_{\text{ВЫХ}} + (H_{\text{Н}} - h_{\text{ВЫХ}})\Delta l_1/l; \\ H_2 &= h_{\text{ВЫХ}} + (H_{\text{Н}} - h_{\text{ВЫХ}})\Delta l_2/l; \\ &\dots\dots\dots \\ H_n &= h_{\text{ВЫХ}} + (H_{\text{Н}} - h_{\text{ВЫХ}})\Delta l_n/l, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где l – длина всего РВЭ-Ст; $l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \dots + \Delta l_i + \dots + \Delta l_n$.

С другой стороны, пьезометрические напоры в начале участков должны соответствовать проницаемости слоев, но так, чтобы соблюдалось условие (1), поэтому

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= I_{\text{cr}}t\zeta_A; \\ H_2 &= I_{\text{cr}}t(\zeta_A + \zeta_B); \\ &\dots\dots\dots \\ H_n &= I_{\text{cr}}t[\zeta_A + (n-1)\zeta_B], \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где ζ_A – фильтрационное сопротивление, оказываемое потоку при сквозной фильтрации воды в нижний бьеф через верхнюю геомембрану фрагмента РВЭ-Ст длиной $\zeta_{\text{Ф}}$ с одним отверстием; ζ_B – фильтрационное сопротивление, которое испытывает поток, проходящий в грунтовой прослойке между двумя слоями геомембран того же фрагмента [2].

После приравнивания правых частей соответствующих уравнений систем (2) и (3) удается исключить из решения значения промежуточных напоров H_i , тогда

$$\left. \begin{aligned} \Delta l_1 &= l(I_{\text{cr}}t\zeta_A - h_{\text{ВЫХ}})/(H_{\text{Н}} - h_{\text{ВЫХ}}); \\ \Delta l_1 &= l(I_{\text{cr}}t(\zeta_A + \zeta_B) - h_{\text{ВЫХ}})/(H_{\text{Н}} - h_{\text{ВЫХ}}); \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta l_n &= l(I_{\text{cr}}t[\zeta_A + (n-1)\zeta_B] - h_{\text{ВЫХ}})/(H_{\text{Н}} - h_{\text{ВЫХ}}). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Система (4) содержит $n + 1$ неизвестное: $\Delta l_1, \Delta l_2 \dots \Delta l_n$ и l . Однако каждое значение $\Delta \zeta_i$ может быть определено по формуле [3]. С учетом этого возможна другая система:

$$\left. \begin{aligned} \Delta l_1 &= \sqrt{t_{\text{np1}}} \cdot T \operatorname{arsh} \frac{\sqrt{(c_1 + 1)^2 + d_1^2 - 1} - (c_1 + 1)d_1}{1 - d_1^2}; \\ \Delta l_2 &= \sqrt{t_{\text{np2}}} \cdot T \operatorname{arsh} \frac{\sqrt{(c_2 + 1)^2 + d_2^2 - 1} - (c_2 + 1)d_2}{1 - d_2^2}; \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta l_n &= \sqrt{t_{\text{np n}}} \cdot T \operatorname{arsh} \frac{\sqrt{(c_n + 1)^2 + d_n^2 - 1} - (c_n + 1)d_n}{1 - d_n^2}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} c_1 &= \Delta \zeta_1 / \zeta_{\text{ВЫХ}}; d_1 = \sqrt{t_{\text{np.1}} / T_1} / \zeta_{\text{ВЫХ}}; \\ c_2 &= \Delta \zeta_2 / \zeta_{\text{ВЫХ}}; d_2 = \sqrt{t_{\text{np.2}} / T_2} / \zeta_{\text{ВЫХ.1}}; \\ &\dots\dots\dots \\ c_n &= \Delta \zeta_n / \zeta_{\text{ВЫХ,n-1}}; d_n = \sqrt{t_{\text{np.n}} / T_n} / \zeta_{\text{ВЫХ,n-1}}, \end{aligned}$$

где $t_{\text{np.1}} = t\zeta_A k_0/k_p, t_{\text{np.2}} = t(\zeta_A + \zeta_B)k_0/k_p \dots;$
 $t_{\text{np,n}} = t[\zeta_A + (n-1)\zeta_B]k_0/k_p$ – приведенная толщина каждого участка РВЭ [2, 3]; k_0 и k_p – коэффициенты фильтрации соответственно грунта основания и грунта верхней пригрузки и прослоек геомембран РВЭ-Ст; $\zeta_{\text{ВЫХ.1}} = \zeta_A, \zeta_{\text{ВЫХ,n-1}} = \zeta_A + (n-2)\zeta_B$ – коэффициент сопротивления при выходе фильтрационного потока в нижний бьеф в конце каждого участка РВЭ-Ст.

Если уравнение системы (5) записать сокращенно $\Delta l_i = f(\Delta \zeta_i)$, а затем рассмотреть совместно с (4), то новая система уравнений примет следующий вид (значения Δl_i удалось исключить):

$$\left. \begin{aligned} f(\Delta \zeta_1) + (\varepsilon \zeta_A - v)l &= 0; \\ f(\Delta \zeta_2) + [\varepsilon(\zeta_A + \zeta_B) - v]l &= 0; \\ &\dots\dots\dots \\ f(\Delta \zeta_n) + [\varepsilon(\zeta_A + (n-1)\zeta_B) - v]l &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Последняя система также включает n уравнений и $n + 1$ неизвестных: $\Delta \zeta_1, \Delta \zeta_2 \dots \Delta \zeta_n$ и l_p . Для ее разрешения можно принять дополнительное условие:

$$(\Delta \zeta_1 + \Delta \zeta_2 + \dots + \Delta \zeta_n) = \zeta_p. \quad (7)$$

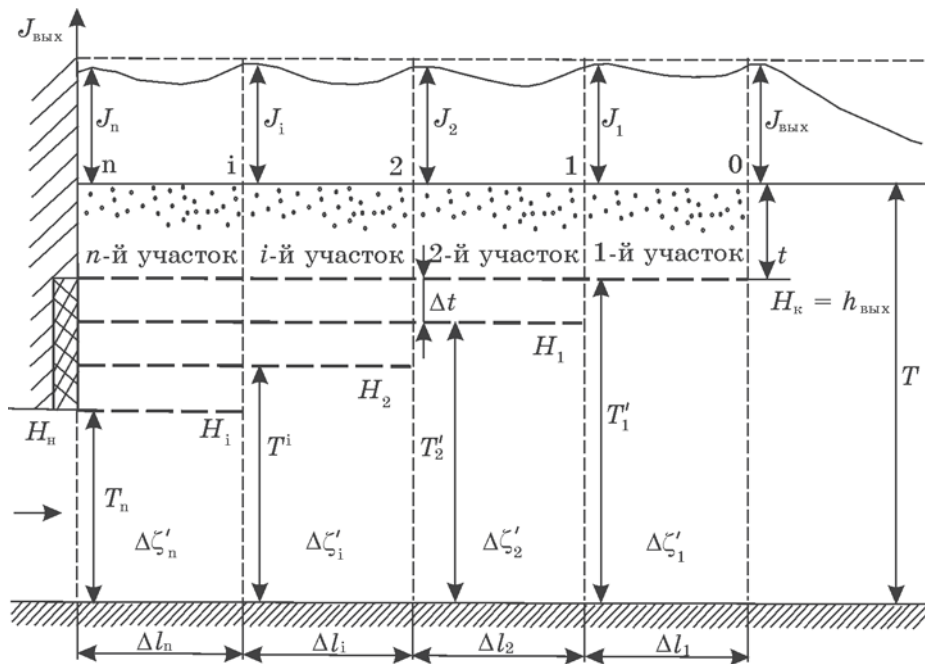
Решения (6)...(7) можно добиться, воспользовавшись одним из численных методов [4]. Укажем один из наиболее простых путей. Для этого необходимо в качестве начального условия принять $\Delta \zeta_1 = \Delta \zeta_2 = \dots = \Delta \zeta_n = \zeta_{\text{p/n}}$. Затем по (5) определить длины $\Delta l_1', \Delta l_2', \Delta l_n'$, которые не должны быть меньше значений (4) для удовлетворения условия (1). Если одно или несколько $\Delta l_i'$ будет меньше Δl_i , его необходимо увеличить. Далее по зависимостям, обратным (5),

$$\Delta \zeta_i' = \sqrt{\frac{t_{\text{np.i}}}{T_i}} \operatorname{sh} \frac{\Delta l_i}{\sqrt{t_{\text{np.i}} T_i}} + \left(\operatorname{ch} \frac{\Delta l_i}{\sqrt{t_{\text{np.i}} T_i}} - 1 \right) \zeta_{\text{ВЫХ.1}}, \quad (8)$$

можно вычислить величины $\Delta \zeta_1'; \Delta \zeta_2'; \dots, \Delta \zeta_n'$. Допускается, что при этом их сумма ζ_p' может превысить ζ_p . Расчет повторяется следующим шагом итераций.

Объем вычислений можно уменьшить, если использовать прием, применяемый в работах [5, 2]. В правой части уравнений системы (4) отношение $l/(H_{\text{Н}} - h_{\text{ВЫХ}})$ можно записать следующим образом:

$$(H_{\text{Н}} - h_{\text{ВЫХ}})/l = I_{\text{est,m}} \leq I_{\text{cr,m}}/\gamma_n, \quad (9)$$



Расчетная схема многослойного рассеивающего элемента ступенчатой проницаемости (РВЭ-Ст)

где $I_{est,m}$ – средний градиент напора в РВЭ-Ст; $I_{cr,m}$ – критический средний градиент напора, соответствующий грунту основания; γ_n – коэффициент надежности сооружения.

Тогда длина любого участка, удовлетворяющего одновременно общей и местной фильтрационной прочности, может быть определена непосредственно из следующего выражения:

$$\Delta L_i \geq \gamma_n \{ I_{cr} t [\zeta_A - (i - 1)\zeta_B] - h_{вых} \} / I_{cr,m}. \quad (10)$$

В силу свойств полимерного материала геомембран, позволяющих им деформироваться, сохраняя полный контакт с грунтом при его просадках, коэффициент надежности в (10) γ_n может быть принят равным единице.

1. **Атабиев И. Ж.** Совершенствование конструкций и методов расчетного обоснования рассеивающих выходных элементов подземного контура водоподпорных гидротехнических сооружений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2000.

2. **Атабиев И. Ж.** Расчет фильтрации через двухслойный выходной

рассеивающий элемент флютбента ступенчатой проницаемости: сб. науч. трудов. – Нальчик: КБГСХА, 1996. – С. 123–129.

3. **Бурдинский В. Н., Атабиев И. Ж.** Расчет рассеивающего выходного элемента постоянной проницаемости подземного контура гидротехнических сооружений / Вопросы повышения эффективности строительства: сб. науч. трудов КБГСХА. – Нальчик, 1998. – Вып. 1. – С. 56–59.

4. **Демидович Б. П., Марон И. А.** Основы вычислительной математики. – М.: Наука, 1970. – 67 с.

5. **Бурдинский В. Н., Атабиев И. Ж.** Фильтрация сквозь рассеивающий выходной элемент подземного контура оптимальной проницаемости / Вопросы повышения эффективности строительства: сб. науч. трудов. – Нальчик: КБГСХА, 1998. – Вып. 1. – С. 60–63.

Материал поступил в редакцию 06.10.10.
Атабиев Исхак Жафарович, кандидат технических наук, проректор по административно-хозяйственной работе
 Тел. 8 (495) 976-08-75