

ГИДРОМЕХАНИКА

А. М. СЕНКОВ и П. Ф. ФИЛЬЧАКОВ

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО
ЭФФЕКТА ШПУНТА**

(Представлено академиком А. И. Некрасовым 31 X 1952)

В предыдущей статье (3) авторы рассмотрели новый метод определения гидромеханического эффекта шпунта для бесконечной глубины водопроницаемого слоя.

В настоящей статье рассматривается метод определения гидромеханического эффекта шпунта для конечной глубины водопроницаемого

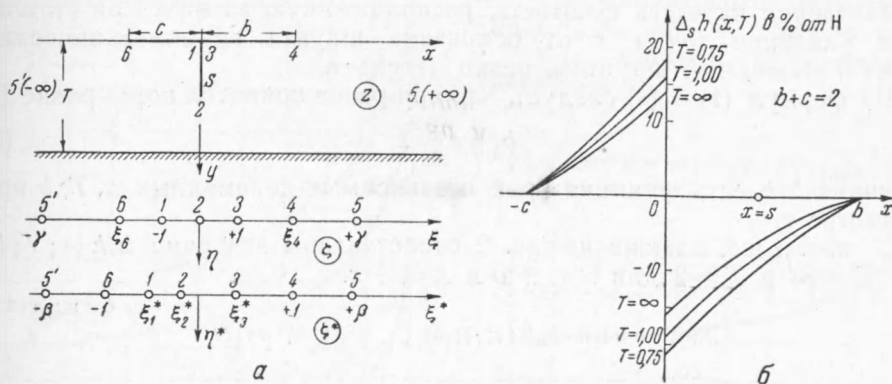


Рис. 1

слоя при следующих допущениях: а) водопроницаемый грунт в основании сооружения однородный; б) контактная фильтрация отсутствует; в) шпунт является абсолютно водонепроницаемым.

При конечной глубине водопроницаемого слоя $T < \infty$ гидромеханический эффект шпунта в смысле противодействия, который мы только и будем рассматривать в данной статье, определяется равенством, аналогичным равенству (1) при $T = \infty$, а именно

$$\Delta_s h(x; T) = h(x; T; s) - h(x; T; 0), \quad (1)$$

где $h(x; T; s)$ — противодействие в точке x для одношпунтового флютбета при глубине водопроницаемого слоя T (рис. 1а); $h(x; T; 0)$ — противодействие в той же точке x при $s=0$, т. е. для плоского флютбета той же горизонтальной длины $b+c$ при той же глубине водопроницаемого слоя T .

Значение противодействия для плоского флютбета $h(x; T; 0)$ определяем по известной формуле Н. Н. Павловского:

$$h(x; T; 0) = \frac{K(x) - F(\zeta/x; x)}{2K(x)} H, \quad (2)$$

где $\zeta = \text{th} \frac{\pi z}{2T}$; $x = \text{th} \frac{\pi b}{2T}$ и H — действующий напор.

Величину $h(x; T; s)$ вычисляем, пользуясь следующими формулами* (рис. 1а):

$$h(x; T; s) = \frac{K(x^*) - F(\zeta^*/x^*)}{2K(x^*)} H, \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} \zeta^* &= \frac{\beta}{\gamma} \frac{\xi + a\gamma}{a\xi + 1}; \quad \xi = \pm \sqrt{1 + \left(\frac{\text{th}(\pi z/2T)}{\text{tg}(\pi s/2T)}\right)^2} \quad (\xi \geq 0 \text{ при } \text{Re } z \geq 0); \\ \gamma &= \frac{1}{\sin(\pi s/2T)}; \quad \xi_0 = \xi|_{z=-c} < 0; \quad \xi_4 = \xi|_{z=+b}; \\ R_j &= \sqrt{\gamma^2 - \xi_j^2}; \quad a = \frac{R_4 R_0 - \xi_4 \xi_0 - \gamma^2}{\gamma^2 (\xi_0 + \xi_4)}; \quad \beta = \frac{\xi_0 R_4 + \xi_4 R_0}{\gamma (R_0 - R_4)}; \quad x^* = \frac{1}{\beta}. \end{aligned} \quad (4)$$

В качестве иллюстрации на рис. 1б представлены графики гидромеханического эффекта шпунта при $c = 0,75$; $b = 1,25$; $s = 0,50$ для значений $T = \infty$; 1,00; 0,75.

Таким образом, при $s < T \leq \infty$ шпунт повышает противодействие на часть флютбета, расположенную перед шпунтом, и понижает противодействие на часть флютбета, расположенную за ним. При этом по мере удаления точки x от основания шпунта гидромеханический эффект, вызванный шпунтом, резко затухает.

Из формул (1) — (4) следует, что при ранее принятой нормировке (3)

$$b + c = 2 \quad (5)$$

величина $\Delta_s h$ есть функция трех независимых переменных x, T, b при параметре s .

В табл. 1 и 2, а также на рис. 2 сопоставлены значения $\Delta_s h(x; T; b)$ при $T = \infty$ и $T = 2$ для $x = +0$ и $x = +s$.

Таблица 1

Значения $\Delta_s h(x; T; b)|_{x=+0}$ в % от H

s	T	b								
		0,0	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	1,8	1,9	2,0
0,2	∞	0,00	7,65 -23	7,74 -15	6,70 +13	6,28 +30	7,64 +20	11,40 -1	15,04 -22	27,98 -84
	2	0,00	7,42	7,59	6,83	6,58	7,84	11,39	14,82	27,14
0,6	∞	0,00	10,76 -30	13,26 -21	15,60 +29	17,20 +92	21,55 +101	28,69 +75	33,39 +50	46,58 -15
	2	0,00	10,46	13,05	15,89	18,12	22,56	29,44	33,89	46,43
1,0	∞	0,00	11,82 -21	15,38 -16	20,45 +53	25,00 +16	31,54 +225	39,60 +218	44,41 +200	57,58 +138
	2	0,00	11,61	15,22	20,98	26,66	33,79	41,78	46,41	58,96

* Решение для одношпунтового флютбета при конечной глубине водопроницаемого слоя на основании теории Н. Н. Павловского было дано впервые в замкнутом виде Е. А. Замариным (1). Мы приводим здесь решение, по форме отличное от решения Замарина, лишь потому, что оно более приспособлено для серийных вычислений, необходимых для составления таблиц гидромеханического эффекта шпунтов.

Значения $\Delta_S h(x, T; b)|_{x=+s}$ в % от H

s	T	b						
		0,2	0,5	1,0	1,5	1,8	1,9	2,0
0,2	∞	0,00	2,35 +2	2,53 +13	3,31 +12	5,27 +7	7,07 0	10,48 -11
	2	0,00	2,37	2,66	3,43	5,34	7,07	30,37
0,6	∞	—	—	5,45 +33	8,53 +7	11,87 +79	13,54 +83	15,56 +88
	2	—	—	5,78	9,17	12,66	14,37	16,44
1,0	∞	—	—	0,00	9,56 0	13,32 +123	14,78 +193	16,37 +211
	2	—	—	0,00	10,79	15,09	16,71	18,48

Анализ этих результатов показывает, что при $T \geq 2$ (в долях от полудлины флютбета $1/2(b+c) = 1$) гидромеханический эффект шпунта с точностью, приемлемой для практики, можно определять по графикам, построенным для $T = \infty$ (3).

Далее, так как вопрос эквивалентности горизонтальных и вертикальных путей фильтрации для одношпунтового флютбета при $T < \infty$, так же как и при $T = \infty$, сводится к решению уравнения

$$\int_0^b h(x; T; \Delta c) dx = \int_0^b h(x; T; s) dx \quad (6)$$

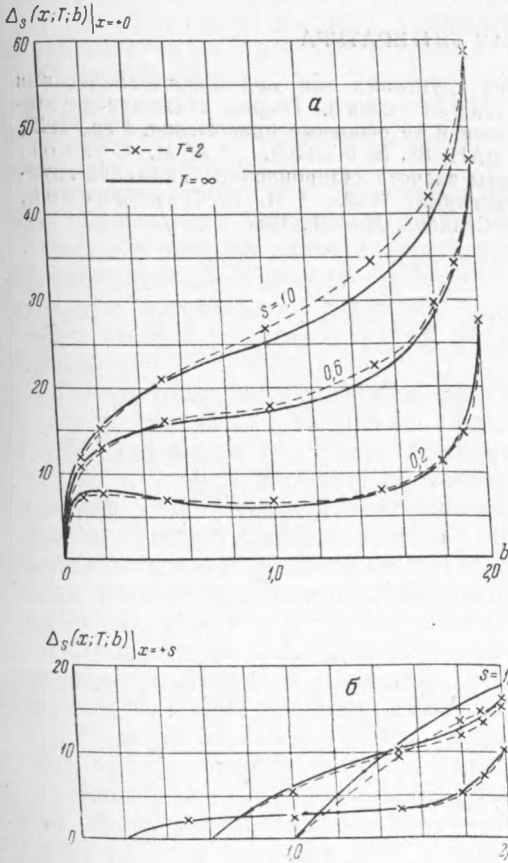


Рис. 2

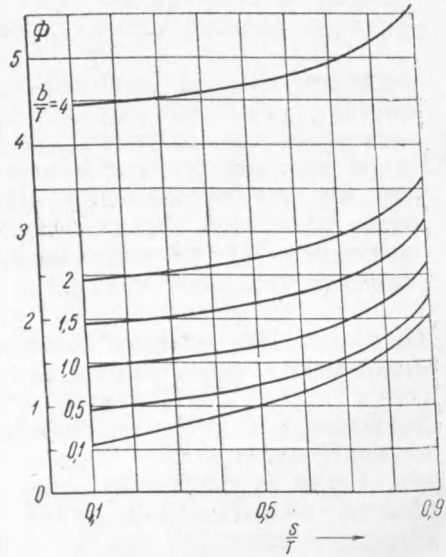


Рис. 3. $\Phi = \frac{K}{K'}$, где $K' = \frac{\cos(\pi s / 2T)}{\text{ch}(\pi b / 2T)}$

(относительно величины $\Delta c/s$), то графики*, построенные для решения этого уравнения при $T = \infty$, остаются в силе и для $T \geq 2$.

Для $T < 2$ интегралы, входящие в уравнение (6), могут быть определены численно, пользуясь равенствами (2) — (4). При этом вполне удовлетворительные результаты дает формула Симпсона с 1—2 промежуточными ординатами.

Несмотря на элементарный характер формул (4), вычисления по этим формулам довольно трудоемки. Поэтому для определения $h(x; T; s)$ при $T < 2$ целесообразно применить метод фрагментов^(5,4), точность которого увеличивается с уменьшением глубины водопроницаемого слоя T .

На рис. 3 приведены графики для определения модуля формы фрагмента типа III, которые полностью решают задачу в интересующем нас случае одношпунтового флютбета. Методика определения противодавления $h(x; T; s)$ в промежуточных точках контура фрагмента подробно изложена в работе⁽⁴⁾.

В заключение необходимо отметить, что в данной статье рассмотрены шпунты абсолютно водонепроницаемые. В реальных же условиях все шпунты в какой-то степени являются фильтрующими, и наличие сравнительно небольшой щели, как показали предварительные опыты, проведенные авторами, резко снижает эффективность шпунта в смысле противодавления.

Институт математики
Академии наук УССР

Поступило
13 X 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. А. Замагин, Расчет движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями, Ташкент, 1931. ² Н. Н. Павловский, Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями и ее основные приложения, Пгр., 1922. ³ А. М. Сенков, П. Ф. Фильчаков, ДАН, 83, № 6 (1952). ⁴ А. М. Сенков, П. Ф. Фильчаков, Приближенные методы расчета стационарного движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями, 1952. ⁵ Н. Н. Павловский, Гидромеханический расчет плотин системы Сенкова, М.—Л., 1937.

* В статье⁽³⁾ на рис. 3 имеется опечатка: пунктирные кривые должны быть обозначены цифрой II, а сплошные кривые — цифрой I.