

ДЕЙСТВИЕ ПОЛОСОВОЙ МГНОВЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДОНАСЫЩЕННОЕ ОСНОВАНИЕ ПРИ ДВУХ СЛУЧАЯХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

При определении гидродинамических напряжений в массиве водонасыщенного грунта, возникающих вследствие приложения к его поверхности какой-либо нагрузки, пользуются решениями теории линейно деформируемой среды.

Напряжения, действующие в любой точке грунтовой массы, находятся в предположении наличия как внешней заданной нагрузки P , так и объемных сил S от фильтрационного потока, составляющие которых [1] :

$$S_x = \gamma_{взв} - \gamma_0 \frac{\partial H}{\partial x} ; \quad (1)$$

$$S_y = -\gamma_0 \frac{\partial H}{\partial y} ; \quad (2)$$

$$S = \gamma_{взв} - \gamma_0 \text{grad } H , \quad (3)$$

где H — напор в какой-либо точке; γ_0 — удельный вес воды; S_x, S_y — составляющие объемной силы, которые определяются формулами (1–3); $\gamma_{взв}$ — объемный вес грунта с учетом взвешивания.

Таким образом, выражая уравнения равновесия в напряжениях и добавляя соответствующие уравнения совместности, в случае плоской деформации получим для определения напряжений в скелете грунта следующие уравнения:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} - \gamma_{взв} + \gamma_0 \frac{\partial H}{\partial x} = 0 ;$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \gamma_0 \frac{\partial H}{\partial y} = 0 ;$$

$$\nabla^2 (\sigma_x + \sigma_y) = - \frac{1}{1-\nu} \nabla^2 H ,$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ — компоненты напряжения; ν — коэффициент Пуассона.

Приложение мгновенной нагрузки в каком-либо месте поверхности грунтовой массы вызывает появление в последней поля напоров [2] .

Под быстрым нагружением водонасыщенных оснований следует понимать не только мгновенное приложение нагрузки, но и ее действие даже в течение значительного промежутка времени, исчисляемого днями, неделями, даже месяцами. Это относится к слабофильтрующим грунтам, в которых процесс передачи нагрузки на грунтовую воду происходит весьма медленно [1] .

В начальный момент приложения мгновенной нагрузки напорная функция должна удовлетворять уравнению Лапласа:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = 0, \quad (4)$$

где $H = \frac{P_0}{\gamma_0}$; P_0 — мгновенно приложенная нагрузка.

Для определения функции напора H полагаем, что изменение водосодержания некоторого элементарного объема в течение бесконечно малого промежутка времени dt равно уменьшению объема элемента $dx \cdot dy \cdot dz$ и пренебрежимо мало.

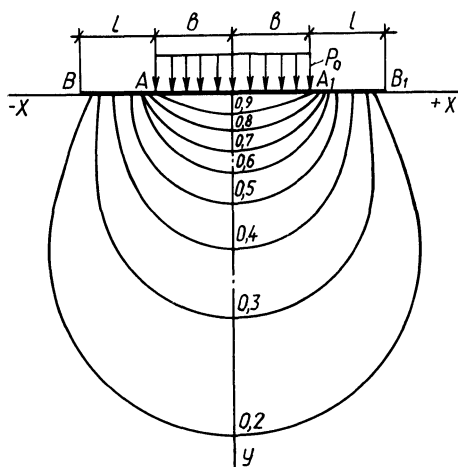


Рис. 1. Распределение избыточных напоров в начальный момент приложения равномерно распределенной нагрузки (при учете водонепроницаемых участков).

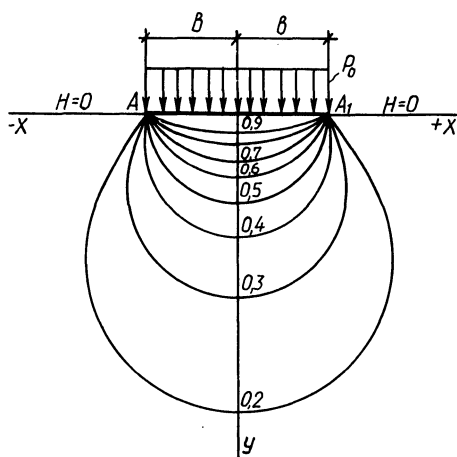


Рис. 2. Распределение избыточных напоров в начальный момент приложения равномерно распределенной нагрузки.

Решение уравнения (4) зависит от предполагаемых граничных условий и его можно находить как аналитически, так и экспериментально — по методу электрогидродинамической аналогии (ЭГДА) [3]. Чтобы обосновать применение метода ЭГДА для условий, где нет аналитического решения (рис. 1), и установить необходимые и достаточные размеры модели, была проведена серия опытов, решавших экспериментально уравнение (4), которое имеет точное аналитическое решение со следующими граничными условиями (рис. 2).

Во всех точках при $y = 0$

- 1) внутри участка AA_1 функция напора принимает значение P_0/γ_0 ;
- 2) вне участка AA_1 $H = 0$;

В бесконечно удаленных точках функция H и ее производная обращаются в нуль.

Была составлена модель размером $15b \times 15b$ (где $2b$ – ширина полосы равномерно распределенной нагрузки) и произведено сравнение полученной ЭГДА картины распределения избыточных напоров с результатами, полученными по формуле Н.М.Герсеванова [2]:

$$\frac{H\gamma_0}{P_0} = \frac{1}{\pi} \left[\arctg \left(\frac{y}{x-b} \right) - \arctg \left(\frac{y}{x+b} \right) \right].$$

В табл. 1 приведены экспериментальные и теоретические значения избыточных начальных напоров внутри полуплоскости при $x = 0$. Погрешность составляет не более 5 %. Это позволяет утверждать, что выбранные размеры модели можно применять для инженерных расчетов с достаточной степенью точности. Уменьшение размеров модели резко влияет на распределение напоров. Следовательно, рекомендуемые нами размеры модели должны быть не менее $15b \times 15b$.

В инженерной практике встречаются случаи, когда поверхность основания покрыта глиной, твердой и полутвердой, тяжелыми суглинками, которые считаются водонепроницаемыми. В этой связи рассмотрим случай, когда поверхность грунта на отдельных участках BA, B_1A_1 водонепроницаема (рис. 1). Для нахождения избыточных напоров мы составили модель из электропроводной бумаги размерами $15(b+1) \times 15(b+1)$ с рядом граничных условий. Во всех точках при $y = 0$

- 1) внутри участка AA_1 функция напора принимает значение P_0/γ_0 ;
- 2) внутри участков BA, A_1B_1 $\partial H/\partial y = 0$;
- 3) вне участка BB_1 $H = 0$.

В бесконечно удаленных точках производная функции H обращается в нуль.

Полученные на ЭГДА линии равных избыточных напоров (рис. 1) сравнили с данными рис. 2 (когда вся поверхность грунта водопроницаема) с целью выявления влияния водонепроницаемых участков BA, A_1B_1 на характер распределения начальных избыточных напоров.

Т а б л и ц а 1

Распределение избыточных начальных напоров
под центром равномерно распределенной полосовой нагрузки

у, см	у/б	$H\gamma_0/P_0$ теор.	$H\gamma_0/P_0$ на ЭГДА	Погрешность, %
0,3	0,15	0,9050	0,9	0,55
0,6	0,3	0,8145	0,8	1,81
1,0	0,5	0,7048	0,7	0,68
1,4	0,7	0,6112	0,6	1,86
1,9	0,95	0,5163	0,5	3,25
2,7	1,35	0,4058	0,4	1,45
3,9	1,95	0,30166	0,3	0,55
6,5	3,25	0,1900	0,2	4,9

Распределение равных избыточных напоров при двух случаях

$\frac{h\gamma_0}{P_0}$	Координаты равных избыточных напоров, у/в		Приращение, %
	вся поверхность водопроницаема	часть поверхности водонепроницаема	
0,9	0,15	0,25	66,66
0,8	0,3	0,5	66,66
0,7	0,5	0,8	60,0
0,6	0,7	1,1	57,14
0,5	0,95	1,45	52,63
0,4	1,35	2,05	51,85
0,3	1,95	2,95	51,28
0,2	3,25	4,45	36,92

Из рис. 1 установлено:

область распространения напоров расширяется по сравнению с первым случаем (см. рис. 2);

особые точки A, A_1 на рис. 1 превращаются в отрезки прямых;

глубина распределения избыточных напоров увеличивается по мере возрастания длины водонепроницаемых участков BA, A_1B_1 .

При сравнении первого и второго случая обнаружено, что глубина распределения одинаковых избыточных напоров отличается на 50 % и более (табл. 2).

В таблице приведены данные для сравнения глубины распределения равных напоров для двух рассматриваемых случаев при $x = 0$. Установлено, что значения эти разные.

Из всего вышесказанного следует необходимость учета влияния водонепроницаемых участков на характер распределения начальных избыточных напоров и в конечном счете — на определение напряжений, протекание осадок и устойчивость оснований.

ЛИТЕРАТУРА

1. С о б о л е в с к и й Ю.А. Водонасыщенные откосы и основания. — Минск, 1975. — 400 с.
2. Г е р с е в а н о в Н.М. Собр. соч. Т. II. — М., 1948. — 376 с.
3. Д р у ж и н и н Н.И. Метод электрогидродинамической аналогии и его применение при исследовании фильтрации. — М.-Л., 1956. — 346 с.