

ВЛИЯНИЕ ПОНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД НА ДЕФОРМАЦИЮ ГРУНТОВ

© 1998 г. С. Ш. Нуриджанян, В. С. Саркисян,
Г. Т. Хачатурян, А. Р. Бабаян

Ереванский архитектурно-строительный институт РА
375009, Теряна 105, ЕрАСИ, Республика Армения
Поступила в редакцию 16.06.97.

Интенсивная эксплуатация природных запасов нефти, газа и воды, проводящаяся все более интенсивными темпами, приводит ко многим негативным явлениям. Самым существенным из них является прогрессирующее оседание земной поверхности, что приводит к подтоплению больших территорий, разрушению зданий, сооружений, коммуникаций, наступлению моря на сушу, изменению высотного положения реперов государственных нивелирных сетей. Ярким примером в этом отношении является г. Мехико, где осадки поверхности земли местами достигли 11 м, при скорости оседания 5...10 см в год. Построенные в лаборатории механики грунтов университета г. Мехико графики водопотребления и величин оседания во времени показали, что они имеют одинаковый вид.

В Республике Армения подобные явления имеют место в Араратской равнине, где производится интенсивная откачка как грунтовых, так и глубоких напорных вод, которые гидравлически связаны. Изменения поля давлений и скоростей в одном из них приводит к аналогичным явлениям в другом. Из-за этого, во многих местах Араратской равнины строительство осуществляется на свайных фундаментах или фундамент делают в виде сплошной плиты под зданием.

Учитывая вышеизложенное, рассмотрим одномерную задачу по прогнозу оседания слоя грунта толщиной H в результате водопонижения. Допустим уровень грунтовых вод в естественных условиях находился на глубине h_0 от поверхности земли, а после водопонижения опустился до глубины h_f (рис. 1). В результате этого в пределах от начального до конечного положения уровня грунтовых вод удельный вес грунта изменился на величину $\Delta\gamma = \gamma_1 - \gamma_2$, где γ_1 — удельный вес грунта выше уровня грунтовых вод, γ_2 — то же ниже уровня грунтовых вод (удельный вес взвешенного в воде грунта). Под воздействием этой дополнительной массовой нагрузки произойдет оседание поверхности грунта.

При учете нелинейной деформируемости грунта обязательно необходимо учитывать исходное природное напряженно-деформированное состояние (НДС) грунта. Для прогнозирования величины оседания определим перемещение произвольной точки в грунте под действием его собственного веса, когда уровень грунтовых вод (УГВ) находится на глубине h . Перемещение точек, расположенных выше УГВ, обозначим W_1 , а ниже — W_2 . Величины этих перемещений могут быть найдены путем интегрирования системы уравнений равновесия в перемещениях

$$\frac{d}{dz} \left[(\lambda + 2G) \frac{dW_i}{dz} \right] = \gamma_i, \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

где $\lambda = (K - 2G) / 3$ – коэффициент Ламе; G – модуль сдвига; K – модуль объемной деформации.

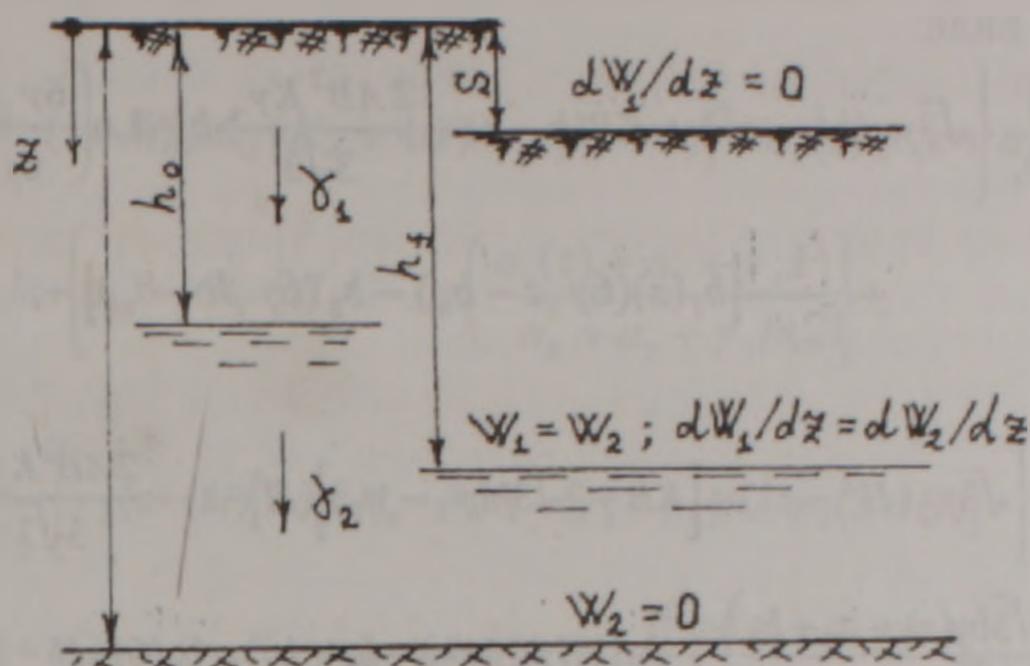


Рис. 1. Расчетная схема.

Для решения системы (1) необходимо иметь конкретный вид зависимостей G и K от инвариантов напряжений и деформаций. Модуль сдвига G примем в виде зависимости, аналогичной принятой А.И. Боткиным [1]

$$G = A\sigma_m / (B + \epsilon_1), \quad (2)$$

где A и B – константы; σ_m – среднее напряжение; ϵ_1 – интенсивность деформации сдвига. Как подтверждают эксперименты, эта зависимость характерна для песчаных грунтов. Зависимость между средним напряжением σ_m и средней деформацией ϵ_m примем линейной в виде:

$$\sigma_m = K\epsilon_m, \quad (3)$$

где $K = \text{const}$ – модуль объемной деформации.

В условиях одномерной задачи имеем:

$$\sigma_m = \frac{K}{3} \cdot \frac{dW}{dz}; \quad \epsilon_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{dW}{dz}. \quad (4)$$

Подставляя (3)-(4) в (2), получим:

$$G = AK \frac{dW}{dz} / \left(3B + 2\sqrt{3} \frac{dW}{dz} \right). \quad (5)$$

Тогда система (1) запишется так:

$$\frac{d^2 W_i}{dz^2} \left\{ \frac{K}{3} + \frac{4AK}{3B + 2\sqrt{3} dW_i / dz} \left[\frac{1}{3} \frac{dW_i}{dz} + \frac{B}{3B + 2\sqrt{3} dW_i / dz} \frac{d^2 W_i}{dz^2} \right] \right\} = \gamma_i; \quad i = 1, 2. \quad (6)$$

Решение системы (6) при краевых условиях

$$\frac{dW_1(0)}{dz} = 0; \quad W_1(h_f) = W_2(h_f);$$

$$\frac{dW_1(h_f)}{dz} = \frac{dW_2(h_f)}{dz}; \quad W_2(H) = 0$$

получено в виде:

$$W_1 = W_2 + \frac{3}{4b_5} \left\{ \sqrt{3}\gamma_1(h^2 - z^2) + KB(h - z) + \frac{2AB^2K\gamma_1}{3\sqrt{3}} b_5 \cdot \text{Ln} \left(\frac{6\gamma_1 z - \sqrt{3}b_1(z) - b_6}{6\gamma_1 h - \sqrt{3}b_2 - b_6} \right) + \frac{1}{12\gamma_1} [b_1(z)(6\gamma_1 z - b_6) - b_2(6\gamma_1 h - b_6)] \right\}; \quad (7)$$

$$W_2 = \frac{3}{4b_5} \left\{ \sqrt{3}\gamma_2(H^2 - z^2) + [KB + 2\sqrt{3}h(\gamma_1 - \gamma_2)](H - z) + \frac{2AB^2K\gamma_2}{3\sqrt{3}} b_5 \times \right. \\ \left. \times \text{Ln} \left(\frac{6\gamma_2 z - \sqrt{3}b_3(z) - b_6 + b_7}{6\gamma_2 H - \sqrt{3}b_4 - b_6 + b_7} \right) + \frac{1}{12} [b_3(z)(6\gamma_2 z - b_6 + b_7) - b_4(6\gamma_2 H - b_6 + b_7)] \right\}, \quad (8)$$

где $b_1(z) = (12\gamma_1^2 z^2 - 4\gamma_1 b_6 z + K^2 B^2)^{1/2}$;

$b_2 = (12\gamma_1^2 h^2 - 4\gamma_1 b_6 h + K^2 B^2)^{1/2}$;

$b_3(z) = \left\{ (12\gamma_1^2 z^2 - 4\gamma_2 b_6 z - 16ABKh(\gamma_1 - \gamma_2) + [KB - 2\sqrt{3}h(\gamma_1 - \gamma_2)]^2) \right\}^{1/2}$;

$b_4 = \left\{ (12\gamma_2^2 H^2 - 4\gamma_2 b_6 H - 16ABKh(\gamma_1 - \gamma_2) + [KB - 2\sqrt{3}h(\gamma_1 - \gamma_2)]^2) \right\}^{1/2}$;

$b_5 = K(2A + \sqrt{3}); b_6 = KB(4A + \sqrt{3}); b_7 = 6h(\gamma_1 - \gamma_2)$.

Для нахождения величины перемещений в результате понижения уровня грунтовых вод с глубины h_0 до глубины h_f необходимо рассчитать W_1 или W_2 при значениях $h = h_0$ и $h = h_f$. Разность между ними и будет перемещение от понижения уровня грунтовых вод. Для определения величины осадки поверхности земли необходимо найти разность между значениями W_1 при $h = h_f$ и $h = h_0$, приняв $z = 0$, т.е.

$$S = W_1(0; h_f) - W_1(0; h_0). \quad (9)$$

Рассмотрим ту же задачу, предполагая, что модуль сдвига $G = \text{const}$, а модуль объемной деформации примем в виде:

$$K = K_0 \varepsilon_s / (\varepsilon_s - \varepsilon_m), \quad (10)$$

где $K_0 = \text{const}$ – начальный модуль объемной деформации ($\varepsilon_m \rightarrow 0$); ε_s – предельное значение средней объемной деформации ($\varepsilon_m \rightarrow \infty$).

Подставив (10) в уравнение равновесия (1), с учетом того, что $\varepsilon_m = \frac{1}{3} \frac{dW}{dz}$, получим:

$$\frac{d}{dz} \left[\left(\frac{K_0 \varepsilon_s}{3\varepsilon_s - dW_i/dz} + \frac{4}{3} G \right) \frac{dW_i}{dz} \right] = \gamma_i, \quad i = 1, 2. \quad (11)$$

Решение системы (11) при краевых условиях

$$dW_1(0)/dz = 0; W_1(h_f) = W_2(h_f); W_1(h_f)/dz = dW_2(h_f)/dz; W_2(H) = 0$$

получено в виде

$$W_1 = W_2 + \frac{3}{16G\gamma_1} \left\{ \gamma_1(z-h)[2\varepsilon_s(K_0 + 4G) + \gamma_1(z+h)] - a_1(z)(\gamma_1 z + a_5) + \right. \\ \left. + a_2(\gamma_1 h + a_5) - 64\varepsilon_s^2 K_0 G \cdot \text{Ln} \left(\frac{a_1(z) + a_5 + \gamma_1 z}{a_2 + a_5 + \gamma_1 h} \right) \right\}, \quad (12)$$

$$W_2 = \frac{3}{16G\gamma_2} \left\{ \gamma_2(z-H)[2\varepsilon_s(K_0 + 4G) + (\gamma_1 - \gamma_2)h + \gamma_2(z+H)] - \right. \\ \left. - a_3(z)(\gamma_2 z + a_6) + a_4(\gamma_2 H + a_6) - 64\varepsilon_s^2 K_0 G \cdot \text{Ln} \left(\frac{a_3(z) + a_6 + \gamma_2 z}{a_4 + a_6 + \gamma_2 H} \right) \right\}, \quad (13)$$

здесь $a_1(z) = [\gamma_1 z(\gamma_1 z + 2a_5) + a_7]^{1/2}$;

$a_2 = [\gamma_1 h(\gamma_1 h + 2a_5) + a_7]^{1/2}$;

$a_3(z) = [\gamma_2 z(\gamma_2 z + 2(a_5 + (\gamma_1 - \gamma_2)h)) + a_7 + 2ha_5(\gamma_1 - \gamma_2) + (\gamma_1 - \gamma_2)^2 h^2]^{1/2}$;

$a_4 = [\gamma_2 H(\gamma_2 H + 2(a_5 + (\gamma_1 - \gamma_2)h)) + a_7 + 2ha_5(\gamma_1 - \gamma_2) + (\gamma_1 - \gamma_2)^2 h^2]^{1/2}$;

$a_5 = \varepsilon_s(K_0 - 4G)$; $a_6 = a_5 + (\gamma_1 - \gamma_2)h$; $a_7 = \varepsilon_s^2(K_0 + 4G)^2$.

Величину осадки поверхности земли можно получить, используя выражение (9).

В качестве примера были произведены расчеты по формуле (7) и (8) при следующих исходных данных: $A = 0,96$, $B = 0,0075$, $K = 30 \text{ МПа}$, $\gamma_1 = 18 \text{ кН/м}^3$, $\gamma_2 = 10 \text{ кН/м}^3$, $h_0 = 2 \text{ м}$, $h_f = 6 \text{ м}$, $H = 80 \text{ м}$. Результаты вычислений приведены в таблице.

Величины перемещения на глубинах при $h = h_0$ и $h = h_f$.

z, м	Величины перемещений, см		Величины перемещений в результате снижения УГВ с глубины $h_0 = 2 \text{ м}$ до глубины $h_f = 6 \text{ м}$
	$h = h_f$	$h = h_0$	
0	205,3	182,9	22,4
20	184,6	167,2	17,4
40	142,4	130,9	11,5
60	80,8	75,1	5,7
80	0	0	0

Как видно из таблицы, величина осадки поверхности земли при снижении УГВ с 2 до 6 м от поверхности составила 22,4 см.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боткин А.И. Исследование напряженного состояния в сыпучих и связных грунтах. Изв. ВНИИГ, т. 24, 1939, с. 153-170.
2. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа, 1978, 447 с.