

УДК 624.1

д.т.н., проф. Самедов А.М., Ткач Д.В.,
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»

КОНСОЛИДАЦИЯ СЛАБОГО ГРУНТОВОГО МАССИВА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ В ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ

Рассмотрены проблемы консолидации насыщенного водой грунтового массива от воздействия нагрузки от подземного сооружения и вышележащих грунтов. Предложены расчетные схемы двухслойного основания под фундаментом подземного сооружения. Определены конечные осадки при сдвиге твердых частиц глинистых грунтов, исходя из предложенной реологической модели для переувлажненных грунтов. В случае, когда второй слой основания состоит из слабого глинистого грунта, фильтрация под нагрузкой протекает согласно уравнению равновесия с учетом параметров Лямэ, что использовано при расчете консолидации насыщенного водой глинистого грунта.

Ключевые слова: консолидация, грунтовой массив, слабый глинистый грунт, подземное сооружение, двухслойное основание, модуль сдвига, изотропное полупространство.

Актуальность темы: исследования направлены на определение ключевых параметров слабых грунтовых массивов для правильной оценки деформаций оснований подземных сооружений и принятия, соответствующих мер по ограничению отрицательных явлений в грунтовых основаниях подземных сооружений.

Цель и задачи исследования. Рассмотреть проблемы консолидации двухслойного основания из слабых грунтов, предложить схему моделирования явления консолидации, определить основные параметры влияющие на состояние грунтового основания подземного сооружения

Материалы исследований. Из проанализированной литературы [5, 6, 7] в условиях осесимметричного напряженно-деформированного состояния грунта величина модуля деформации E и коэффициента Пуассона ν зависит как от величины сжимающих напряжений, так и их соотношения. Как видно, мало уделяется внимания проблемам слабых насыщенных водой грунтов, в которых, помимо данных характеристик, следует вводить дополнительные величины для более точной оценки деформированного состояния грунтового массива.

Для определения дополнительных параметров, опираясь на реологические основы механики грунтов [1, 3] и теорию консолидации [2] рассмотрим консолидацию двухслойного грунтового массива, как основания подземного сооружения в изотропном полупространстве от равномерно распределенной нагрузки q по ширине сооружения a , конечная осадка которых выражается формулой:

$$S_{\infty} = \frac{qa}{E_0} 2(1 + \mu_0)(1 - \mu_0) \quad (1)$$

где E_0 - модуль деформации; μ_0 - коэффициент Пуассона грунта.

Учитывая, что от действия нагрузки частицы грунтового основания имеют сдвиг, взамен модуля деформации E_0 необходимо поставить модуль сдвига грунта G , вытекающего из предположенной “комбинированной” модели, которую мы принимаем для глинистого грунта:

$$G = \frac{P_{as}^b}{2e_{as}^b} = \frac{E_0}{2(1 - \mu_0)} \quad (2)$$

где P_{as}^b - девиаторный компонент тензора напряжений; e_{as}^b - девиаторный компонент тензора деформаций, в соответствии с “комбинированной” моделью глинистого переувлажненного грунта. Тогда конечная осадка будет:

$$S_{\infty} = \frac{qa}{G} (1 - \mu_0) \quad (3)$$

где $a = b/2$.

Нами предложена модель для глинистого переувлажненного грунта состоит из “комбинированной” модели тел Кельвина-Фойгта (I) и Максвелла (II) [4] (рис.1), представляющей диаграмму зависимости “деформация - время”, соответствующую внезапному приложению к телу постоянной во времени нагрузки. Здесь, пружина Гука и амортизатор Ньютона соединены последовательно, поэтому нагрузка на оба элемента действует одинаково. Модель эта может быть использована как для девиаторного, так и для шарового компонентом тензора. В случае девиаторного компонента напряжений получим: $P_{as}^b = 2G(e_{as}^b)_H$, по пружинам Гука; $P_{as}^b = 2\eta^b(e_{as}^b)_H$, по амортизатору Ньютона, где η^b - вязкость глинистого грунта; e_{as}^b - тензор скорости полной деформации по Ньютону и Гуку.

Из девиаторного компонента напряжений Гука, получаем модуль сдвига G , приведенного по формуле (2).

Первая часть “комбинированной” модели для глинистого грунта состоит из модели тела Кельвина-Фойгта. Тело Кельвина-Фойгта представляет собой параллельное соединение пружины Гука и амортизатор Ньютона. Здесь полная

нагрузка распределяется на оба элемента. Девиаторные тензоры напряжений и деформаций, в этой части нашей модели, состоящей из тела Кельвина в сочетании с телом Максвелла, выражается следующим образом:

$$P_{as}^b = 2Ge_{as}^b + 2\eta^b e_{as}^b \quad (4)$$

Как видно здесь, тоже, девиаторный компонент тензора напряжений зависит от модуля сдвига G . “Комбинированная” модель для переувлажненного грунта приведена на рис.1.

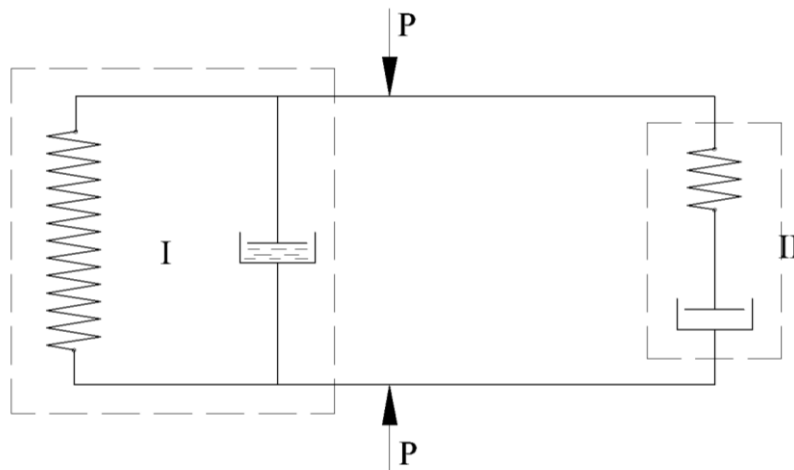


Рис.1 Комбинированная модель консолидации насыщенного водой грунта [4]: I - тело Кельвина-Фойгта; II - тело Максвелла.

Для двухслойного изотропного полупространства конечная осадка будет иметь следующий вид:

$$S_{\infty} = qa \frac{1 - \mu_{0,1}}{G_1} \Phi \quad (5)$$

где $\mu_{0,1}$ и G_1 - соответственно, коэффициент Пуассона и модуль сдвига для первого слоя насыщенного водой основания; Φ - функция, зависящая от безразмерных геометрических и упругих параметров слоев. Для определенного полупространства можно принимать $\Phi=1$, а для двухслойного полупространства функция может быть выражена в следующем виде:

$$\Phi(\omega, M, \mu_{0,1}, \mu_{0,2}) = 1 + G(\omega) \sin \omega \quad (6)$$

учитывая формулу (6) формула (5) получит вид:

$$S_{\infty} = qa \frac{1 - \mu_{0,1}}{G_1} [1 + G(\omega) \sin \omega] \quad (7)$$

где $G(\omega)$ - функция модуля сдвига, зависящая от параметров: ω ; $M=G_1/G_2$; $\mu_{0,1}$ и $\mu_{0,2}$ (рис.2).

Приведенное выражение (7) позволяет прогнозировать осадки грунтового массива в точке “А”, для подземного сооружения, передающего распределенную нагрузку q на грунт. На рис.3 дано изменение величины $M=G_1/G_2$ при различных значениях угла ω от модуля сдвига грунта G . При этом были приняты зависимость G от ω для $\mu_{0,1}, \mu_{0,2}=0,25$ (сплошные линии) и для $\mu_{0,1}=0,25, \mu_{0,5}=0,5$ (пунктирные линии).

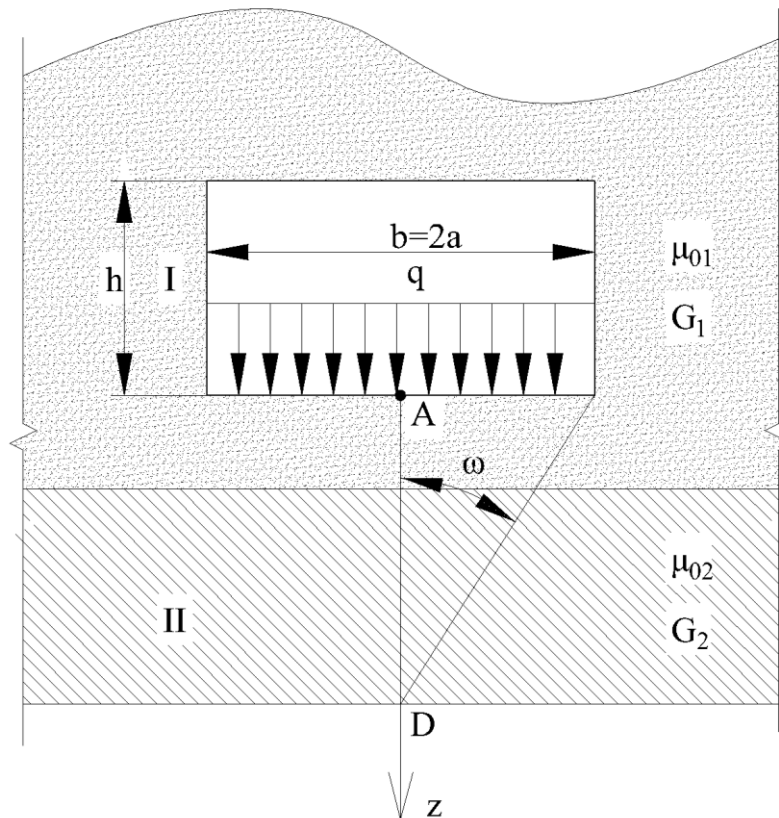


Рис.2. Двухслойное основание с нагрузкой q от сооружения и вышележащих грунтов

Если второй слой состоит из глины, тогда при учете фильтрационных сил уравнения равновесия Лямэ для слоя глины будут иметь вид:

$$\begin{aligned}
 (\lambda + 2G) \frac{\partial \varepsilon_v}{\partial a} - 2G \frac{\partial \gamma_{dz}}{\partial z} &= \frac{\partial u}{\partial a}; \\
 (\lambda + 2G) \frac{\partial \varepsilon_v}{\partial z} + 2G \left(\frac{\partial \gamma_{dz}}{\partial a} + \frac{\gamma_{dz}}{\partial a} \right) &= \frac{\partial u}{\partial z};
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_v &= \frac{\partial \xi}{\partial a} + \frac{\xi}{a} + \frac{\partial s}{\partial z}; \\
 2\gamma_{az} &= \frac{\partial s}{\partial a} - \frac{\partial \xi}{\partial z};
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

где: ζ - деформация относительно по a ; s - деформация по оси z ; λ , G - коэффициенты Лямэ. Уравнения (8) и (9) обозначают объемную деформацию и, соответственно удвоенную величину деформации сдвига, т.е. $2G$ и поровое давление по оси z в условиях равновесия системы. Уравнение (8) приводят к следующему выражению избыточных давлений:

$$\Delta u = (\lambda + 2G)\Delta \varepsilon_v \quad (10)$$

При избыточных давлениях Δu протекает объемная деформация ε_v во времени t , тогда будет этот процесс сопровождаться фильтрацией, т.е.:

$$\frac{\partial \varepsilon_v}{\partial t} = \frac{K_\phi}{\gamma_w} \Delta u \quad (11)$$

где K_ϕ - коэффициент фильтрации, м/сут; $\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$ - удельный вес воды.

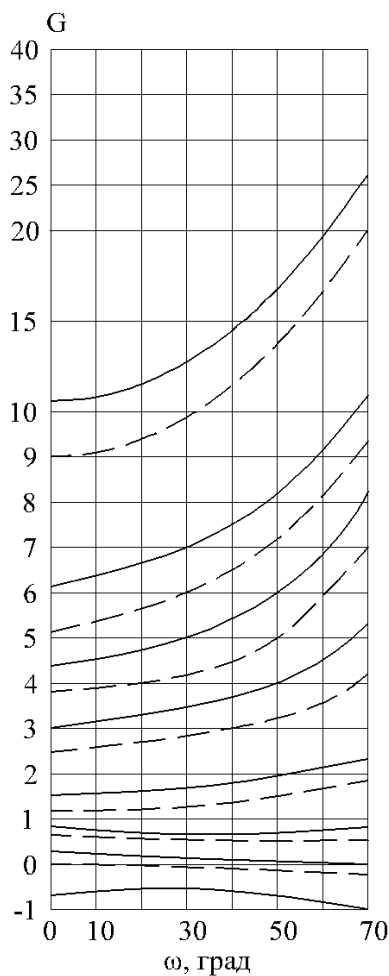


Рис. 3. Зависимость G от ω при различных величинах отношения модулей сдвига $M = G_1/G_2$ и 2-х комбинаций коэффициентов Пуассона (сплошные линии при $\mu_{0,1}, \mu_{0,2} = 0,25$; при $\mu_{0,1} = 0,25, \mu_{0,2} = 0,5$ пунктирные линии)

С другой стороны объемная деформация ε_v во времени t сопровождается с коэффициентом консолидации c'_v и приращением объемной деформации ε_v , т.е.:

$$\frac{\partial \varepsilon_v}{\partial t} = c'_v \Delta \varepsilon_v, \text{ где } c'_v = \frac{K_\phi (\lambda + 2G)}{\gamma_w} - \text{коэффициент консолидации;}$$

$\lambda = \frac{1}{2(1-\mu_{0,2})} \cdot \frac{\sqrt{c'_v t}}{D}$, здесь D - длина луча от конца распределенной нагрузки до поверхности второго слоя в точке по оси z , которые образуют угол ω .

Выводы: При строительстве подземных сооружений в грунтовых массивах, где в основания сооружений попадает слабый глинистый грунт, осадки оснований зависят не только от модуля деформации грунта, но и от модуля сдвига. От нагрузки подземного сооружения и вышележащих грунтов твердые частицы глинистого грунта сдвигаются относительно друг-друга и, поэтому лучше заменить модуль деформации грунта модулем сдвига. Модуль сдвига выражается компонентами девиаторного тензора напряжений и деформаций. Эти зависимости вытекают из реологических моделей предложенных нами для глинистых насыщенных водой грунтов.

Величина конечной осадки сооружения для двухслойного изотропного полупространства зависит от величины нагрузок, ширины фундаментной части сооружения, коэффициента Пуассона и модуля сдвига, а также соотношений модуля сдвига I-го слоя ко II-му слою (при двухслойном основании).

Осадки оснований из слабых насыщенных водой грунтов под подземными сооружениями протекают в виде консолидационного уплотнения. Под действием нагрузки в грунтовом массиве усиливается фильтрация воды и происходит сдвиг твердых частиц, происходит переупаковка частиц с уплотнением грунта.

Также можно сделать вывод, для того чтоб избежать больших осадок надо предотвратить консолидацию грунтового массива либо снизить ее до минимума путем изменения свойства грунтов в основании сооружения.

Список литературы

1. Самедов А.М. О реологических моделях лессовых просадочных грунтов // Вісник НТУУ «КПІ», серія «Гірництво», Зб.наук.праць - К. -2000г, вип.3. - С.39-44.
2. Зарецкий Ю.К. Теория консолидации грунтов. - К.: Наука, 1997, -260 с.
3. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Недра, 1978, - 196 с.
4. Самедов А.М., Асланов Л.Ф. Описание нелинейного процесса консолидации шельфовых грунтов комбинированными реологическими

моделями // Вісник НТУУ «КПІ», серія «Гірництво», Зб.наук.праць - К. -2012г, вип.22. - С.37-45.

5. Черемных В.А. В кн.: Труды к VIII Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. - М.: Стройиздат, - 1973. - С.97-104.

6. Седых Е.К. Об эпюре реактивных давлений под подошвой жесткого фундамента. // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1964.-№3.- С.8-11.

7. Николаевский В.Н. Законы упругопластического деформирования грунтов // Современные проблемы нелинейной механики грунтов: Материалы Всесоюзной конференции. Челябинск: ЧПИ, - 1987. - С.3-14.

Анотація

Розглянуто проблеми консолідації насиченого водою ґрунтового масиву від впливу навантаження від підземної споруди і вище розміщених ґрунтів. Запропоновано розрахункові схеми двошарової основи під фундаментом підземної споруди. Визначено кінцеві деформації при зсуві твердих частинок глинистих ґрунтів, виходячи із запропонованої реологічної моделі для перезволожених ґрунтів. У разі, коли другий шар основи складається зі слабого глинистого ґрунту, фільтрація під навантаженням протікає відповідно до рівняння рівноваги з урахуванням параметрів Ляме, що використано при розрахунку консолідації насиченого водою глинистого ґрунту.

Abstract

The problems of consolidation of water-saturated soil mass from the impact load of an underground structure and the overlying soils. Double-layer design schemes for foundation underground facility. Determine the final precipitation shear solids clay soils on the basis of the proposed rheological model for wetland soils. In the case where the second layer consists of a weak base clay soil, filtration under load proceeds according to the equilibrium equation given Lamé parameters that applied when calculating consolidation clay soil saturated with water.