

УДК 624.154

**ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАЦИИ ГЛИНИСТЫХ
ГРУНТОВ ПРИ ТРЕХОСНОМ РЕЖИМНОМ
ЧЕРЕДУЮЩЕМСЯ СТАТИЧЕСКОМ
И ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ**

Мирсяяпов И.Т., Королева И.В., Сабирзянов Д.Д.
*ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-
строительный университет», г. Казань, Россия*

В статье приведены результаты экспериментальных исследований прочности и деформации глинистых грунтов при трехосном режимном чередующемся статическом и циклическом нагружении выполненных в лаборатории кафедры «Оснований, фундаментов, динамики сооружения и инженерной геологии».

The paper presents the results of experimental studies of strength and deformation of clay soils under triaxial modal alternating static and cyclic loading performed in the laboratory of the Department "of Foundations and Structural Dynamics of Engineering Geology."

Основания зданий и сооружений в реальных условиях эксплуатации подвергаются одновременному воздействию циклических и длительных статических нагрузок. При этом такое режимное нагружение (чередование нагружений) приводит к изменению напряженно-деформированного состояния основания, и как следствие, к изменению механических характеристик грунта.

Особенно ярко эти изменения проявляются в глинистых грунтах, обладающих реологическими свойствами.

В связи с вышеизложенным проведены режимные трехосные испытания глинистых грунтов при чередующихся блоках циклического и длительного статического нагружения.

Для проведения серии экспериментов использован прибор трехосного сжатия (рис. 1), разработанный авторами, в котором давление на грунт передается при помощи механических рычагов. Все стенки камеры прибора являются жесткими и подвижными. Нагрузка передается через рычаг, что обеспечивает поддержание постоянства давления. Испытания проводятся при различных значениях среднего нормального напряжения σ_m . При этом вертикальные σ_1 и боковые $\sigma_2 = \sigma_3$ напряжения прикладывались к образцу независимо.

Для испытаний применялись искусственно приготовленные образцы глинистого грунта нарушенной структуры, имеющие форму куба с размерами 100 x 100 x 100 мм. Испытывались образцы глинистого грунта со следующими характеристиками: $W = 23\%$; $W_p = 19\%$; $W_L = 34\%$; $\rho = 1,96 \text{ г/см}^3$; $I_p = 15\%$; $I_L = 33\%$. Образцы подготавливались в соответствии с приложением «В» ГОСТ 30416-2010.

Испытания грунта при режимном длительном статическом и циклическом нагружении проводились по следующей методике (рис. 2): в начале испытания образец грунта обжимался всесторонним давлением и выдерживался до наступления условной стабилизации объемной деформации грунта. Затем к образцу ступенями прикладывалась вертикальная нагрузка. На определенном этапе вертикального нагружения, когда $\varepsilon_{\text{прод}}$ достигала определенной заданной величины, соответствующей σ_{max} , начиналась разгрузка образца до σ_{min} , а затем вновь нагружение до σ_{max} . Циклы вертикального нагружения выполнялись непрерывно, без ожидания наступления условной стабилизации относительной объемной деформации. После приложения заданного количества циклов приложения образцы выдерживались под действием длительной статической нагрузки в течении 24–168 часов. Затем проводилось по аналогичной схеме чередующиеся циклическое и длительное статическое нагружение образца грунта в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3.

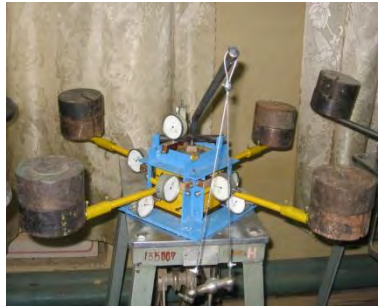


Рис. 1. Общий вид прибора трехосного сжатия

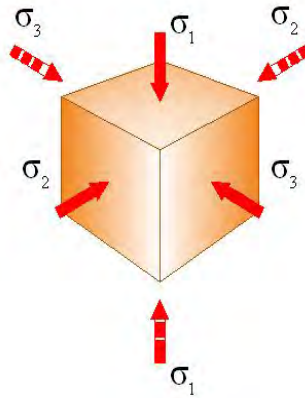


Рис. 2. Схема нагружения образца грунта

В результате проведения экспериментов получены характер изменения линейных и объемных деформаций, зависимость увеличения деформации от величины максимальных вертикальных и объемных напряжений цикла, количества циклов, времени действия и величины длительной статической нагрузки.

По результатам испытаний построены графики между средними напряжениями σ_m и объемными деформациями ε_v (рис. 5, 6), между интенсивностью деформаций γ_i (рис. 5, 9, 10) и между средними напряжениями σ_m и интенсивностью деформаций сдвига γ_i (рис. 5, 9, 10).

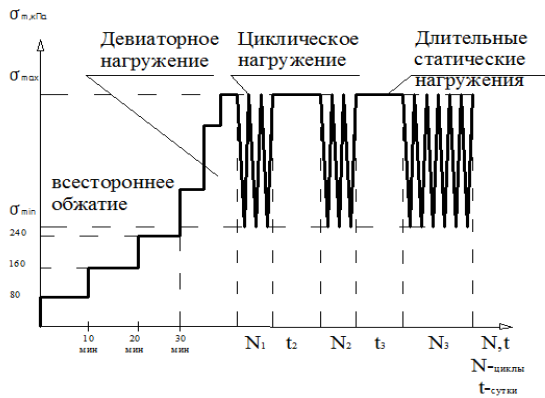


Рис. 3. Принятый режим комбинированного длительного статического и циклического нагружения

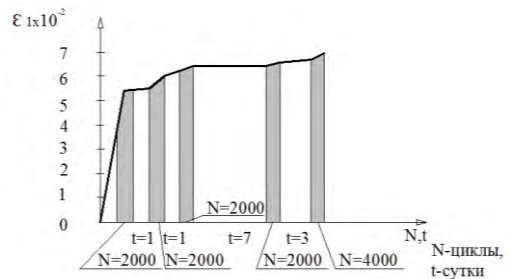


Рис. 4. Развитие относительной деформации при циклических нагружениях

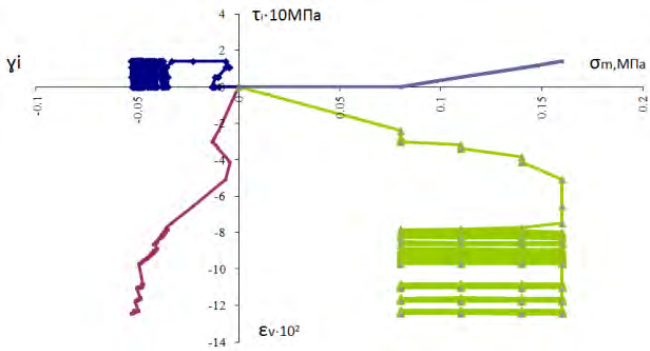


Рис. 5. Паспорт грунта



Рис. 6. Зависимость между объемными напряжениями (σ_m) и объемными деформациями ($\Delta\varepsilon_v$)

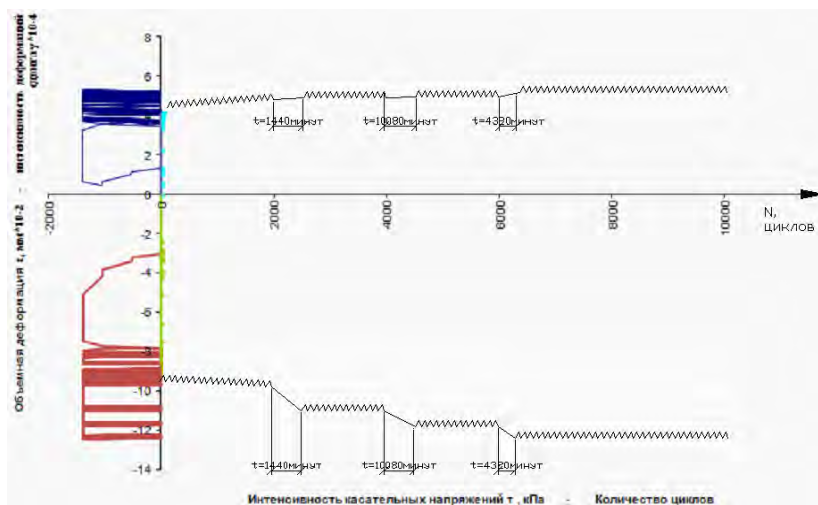


Рис. 7. Паспорт ползучести

Совместный анализ приведенных графиков показывает, что при увеличении средних напряжений и времени действия нагрузки происходит развитие деформации изменения формы (положительная дилатансия) при уплотнении грунта в пределах испытанного объема.

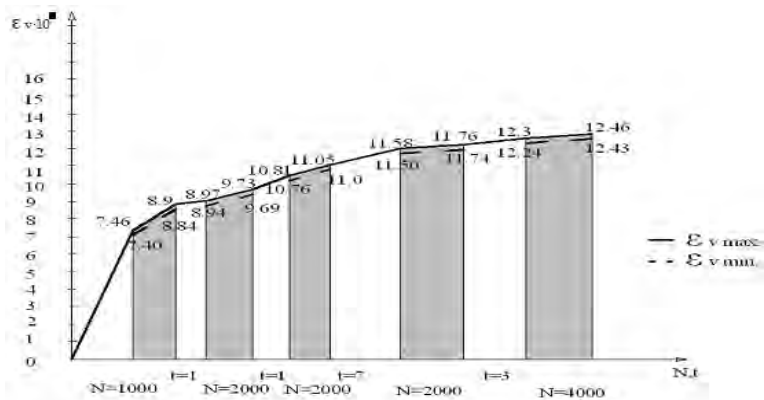


Рис. 8. Зависимость объемных деформаций от количества циклов

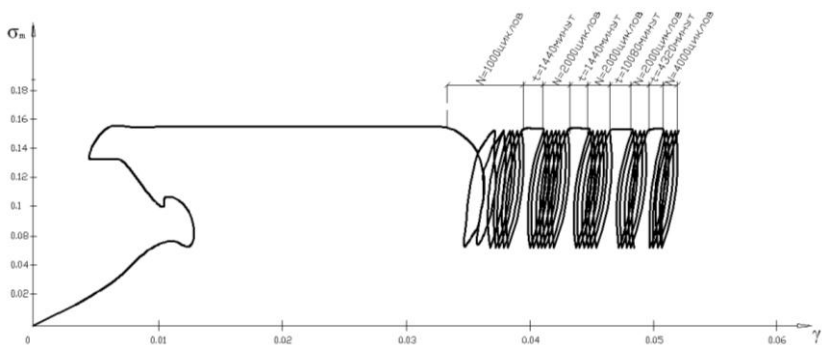


Рис. 9. Зависимость средних напряжений от интенсивности деформаций сдвига

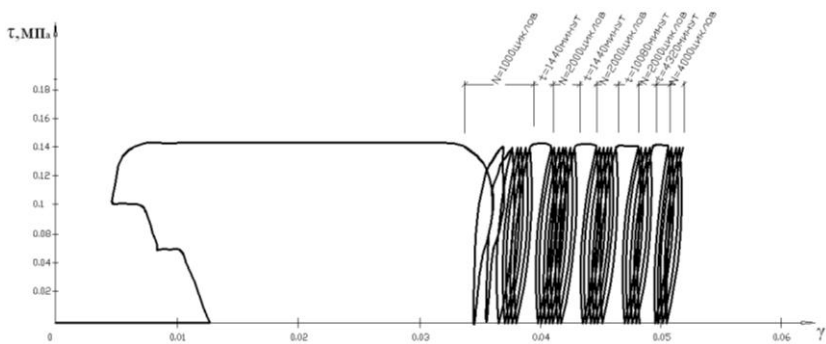


Рис. 10. Зависимость интенсивности касательных напряжений от интенсивности деформаций сдвига

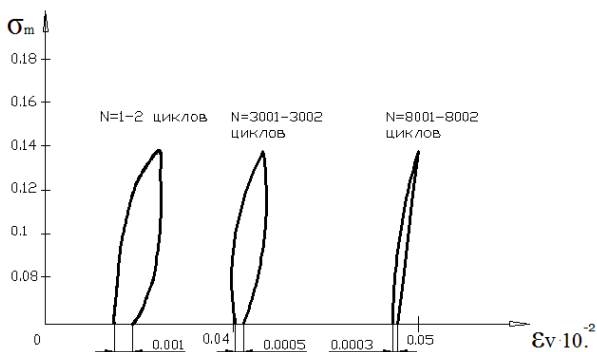


Рис. 11. Зависимость средних напряжений от относительной объемной деформации

При действии циклических нагрузок в пределах каждого блока происходило увеличение объемных (ϵ_v) и линейных деформаций (ϵ_1). Деформации с различной интенсивностью развивались на всем протяжении испытаний, причем наиболее интенсивно происходили в первом блоке на начальном этапе нагружений (до 1000 циклов) и составили ($\Delta\epsilon_v = 0.75 \cdot 10^{-2}$, $\epsilon_1 = 0.67 \cdot 10^{-2}$). При переходе в блок с длительно действующей статической нагрузкой в момент изменения режима нагружения происходит незначительное уменьшение полных деформаций за счет упругой составляющей или они стабилизируются. Затем, по мере увеличения времени выдержки под длительно действующей нагрузкой, происходит дальнейшее нарастание деформаций на величину $\Delta\epsilon_v = 0.005 - 0.01$.

Характер развития деформаций в блоках с длительно действующей статической нагрузкой зависит от продолжительности действия циклической нагрузки в предыдущем блоке и продолжительности рассматриваемого блока нагружения (см. рис. 8–11). Природа этого явления объясняется эффектом задержки развития микро- и макротрещин и эффектами самоупрочнения и самозалечивания глинистого грунта за счет восстановления структурных коагуляционных связей после перехода на блок длительно действующей статической нагрузки.

При переходе на блоки с циклическим нагружением наблюдается увеличение скорости накопления деформаций. Необходимо отметить, что накопление общих деформаций происходит в основном за счет пластической (неупругой) составляющей. Упругие деформации в пределах блоков нагружений практически не изменяются (см. рис. 8–11).

Литература

1. Вознесенский, Е.А. Поведение грунтов при динамических нагрузках / Е.А. Вознесенский // – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 286 с.
2. Зарецкий, Ю.К. Лекции по современной механике грунтов / Ю.К. Зарецкий // – Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1989. – 607 с.
3. Мирсаяпов, И.Т. Исследование прочности и деформативности глинистых грунтов при длительном трехосном сжатии / И.Т. Мирсаяпов, И.В. Королева // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – Казань, 2009. – №2(12). – С. 167–172.
4. Мирсаяпов, И.Т., Королева И.В. Особенности деформирования глинистых грунтов при циклическом трехосном сжатии / И.Т. Мирсаяпов, И.В. Королева // Международный журнал Геотехника. 2010. №6. – С. 64–67.