



УДК 624.131

Мирсаяпов И.Т. – доктор технических наук, профессор

E-mail: mirsayapov@kgasu.ru

Королева И.В. – старший преподаватель

E-mail: koroleva@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Особенности деформирования глинистых грунтов при режимном нагружении

Аннотация

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований прочности и деформируемости глинистых грунтов в условиях трехосного сжатия при режимном статическом нагружении. Режимы нагружения включали чередование блоков повышающимися и понижающимися напряжениями. Получены новые данные о развитии объемных деформаций в зависимости от увеличения времени всестороннего обжатия и при изменении девиатора напряжений в образце. Выполнен анализ результатов исследований и установлены некоторые закономерности поведения глинистых грунтов при режимных трехосных нагружениях.

Ключевые слова: глинистый грунт, режимное нагружение, трехосное сжатие, объемная деформация, модуль деформации.

Модели механического поведения грунта, используемые в настоящее время, требуют определения параметров, получаемых из трудоемких опытов на приборах трехосного сжатия. Они позволяют моделировать напряженно-деформированное состояние грунта под фундаментом: результаты испытаний малых образцов переносят на прогноз конечной величины и длительности осадок зданий и сооружений в реальных условиях. При деформации глинистых грунтов ощутимы временные эффекты: релаксация, ползучесть и снижение прочности при длительном воздействии нагрузки, т.е. они способны изменять свое напряженно-деформированное состояние во времени [1-3].

Одним из основных вопросов проектирования оснований фундаментов является правильный прогноз развития длительных деформаций (осадок) оснований фундаментов. Как показывают результаты сопоставления проектных значений осадок с результатами фактических осадок, наблюдается существенное расхождение между этими величинами ($\pm 50\%$ и более).

Среди основных факторов, приводящих к такому отклонению, можно выделить неучет изменения реологических параметров грунта во времени и пренебрежение режимом нагружения (этапностью нагружения в процессе строительства).

В реальных условиях строительства и эксплуатации нагрузки на грунтовое основание фундаментов прикладываются поэтапно по мере возведения здания или сооружения. В действующих нормах проектирования при расчете осадок и несущей способности этапность нагружения основания не учитывается. В основаниях, сложенных глинистыми грунтами, напряженно-деформированные характеристики меняются и зависят от истории предыдущего нагружения [1, 3].

Учет особенностей деформирования глинистых грунтов при режимном нагружении дает возможность более точно приблизить теоретические прогнозы к реальному поведению грунтов оснований фундаментов. В связи с этим экспериментальное изучение напряженно-деформированного состояния глинистых грунтов в условиях трехосного режимного нагружения является актуальной задачей.

Испытывались образцы глинистого грунта нарушенной структуры со следующими характеристиками:

$$W = 26,6\%; W_p = 19\%; W_L = 34\%; \rho = 1,96 \text{ г/см}^3.$$

После изготовления образца были отобраны пробы грунта и определены его прочностные характеристики: $\phi = 18^\circ$, $c = 63 \text{ кПа}$. Отклонения по плотности и влажности в пределах высоты образца составили менее 1% от заданных величин, что позволило считать образец однородным.

Испытания проводились в приборе трехосного сжатия (рис. 1) в условиях трехосного режимного статического нагружения. Проведено три серии экспериментальных исследований (рис. 2-5). Первая серия экспериментов проведена с целью установления влияния величины среднего нормального напряжения на прочность и деформируемость образцов глинистого грунта при режимном нагружении. Было рассмотрено ступенчатое девиаторное нагружение при величине всестороннего обжатия 80 кПа (режим 1.1), 160 кПа (режим 1.2) и 240 кПа (режим 1.3). Вторая серия экспериментальных исследований позволила установить влияние разгрузки на этапе всестороннего обжатия при $\sigma_m = 80 \text{ кПа}$ (режим 2.1), $\sigma_m = 160 \text{ кПа}$ (режим 2.2) и $\sigma_m = 240 \text{ кПа}$ (режим 2.3) на объемное деформирование образца. При проведении третьей серии экспериментальных исследований образец подвергался всестороннему обжатию при $\sigma_m = 160 \text{ кПа}$, затем к боковым граням прикладывалась еще одна ступень нагружения, после чего образец подвергался режимному девиаторному нагружению.

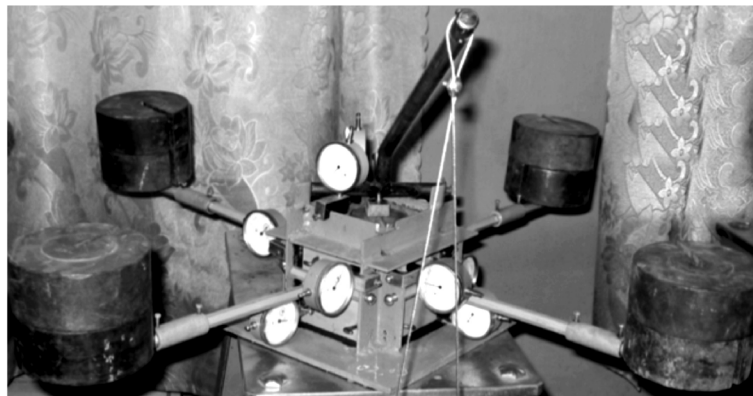


Рис. 1. Внешний вид прибора трехосного сжатия



Рис. 2. Режимы нагружения. Первая серия испытаний

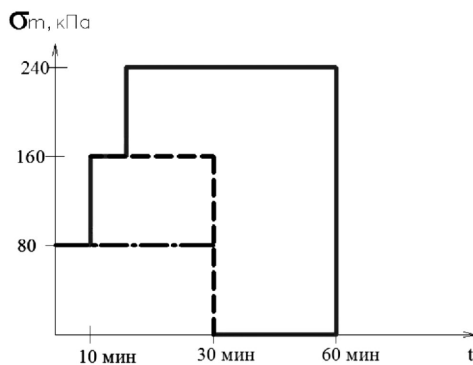


Рис. 3. Режимы нагружения. Вторая серия испытаний

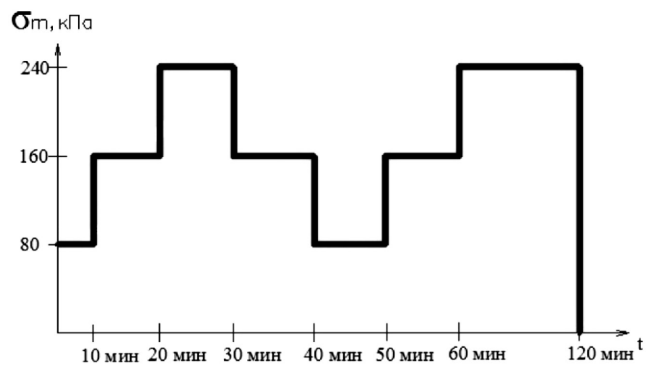


Рис. 4. Режимы нагружения. Третья серия испытаний. Режим 3.1

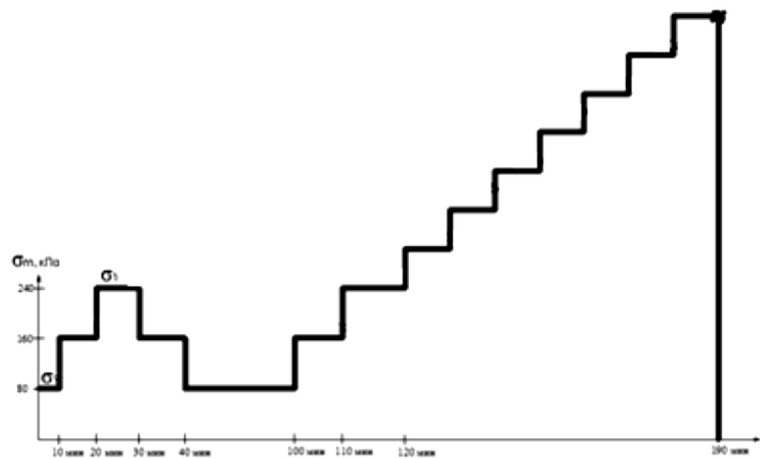


Рис. 5. Режимы нагружения. Третья серия испытаний. Режим 3.2

По результатам экспериментальных исследований построены графики развития объемных деформаций во времени (рис. 6), графики зависимости роста объемных деформаций от величины средних нормальных напряжений, паспорт грунта и паспорт ползучести (рис. 7).

Экспериментальные исследования показывают, что деформации образца развиваются на всем протяжении испытаний, при этом на этапе разгрузки объемные деформации растут с меньшей интенсивностью. Установлено, что при увеличении величины всестороннего обжатия в 2 раза объемные деформации увеличиваются на 26 %, а при увеличении средних нормальных напряжений на этапе всестороннего обжатия в 3 раза объемные деформации увеличиваются на 41 %, изменение объемных деформаций при понижающемся режиме нагружения составляет от 11 % до 14 %. По результатам второй серии экспериментальных исследований установлено, что на этапе всестороннего обжатия при выдержке образца под нагрузкой приращение объемных деформаций составило от 2 % до 12 % в зависимости от режима нагружения, после полной разгрузки образца объемные деформации уменьшились на 39 %, 23 % и 36 % при $\sigma_m = 80 \text{ кПа}$, $\sigma_m = 160 \text{ кПа}$, $\sigma_m = 240 \text{ кПа}$ соответственно.

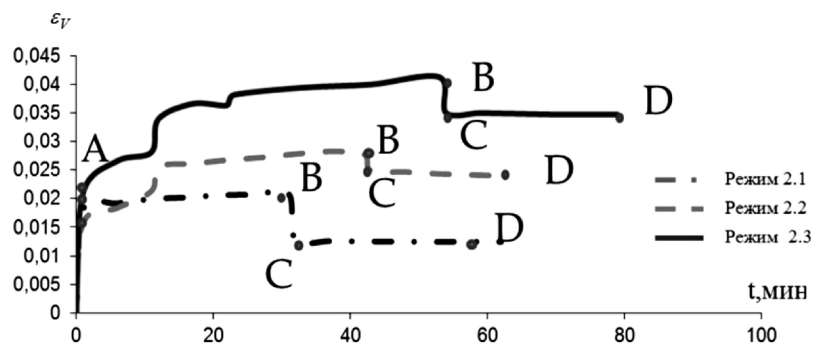


Рис. 6. Развитие объемных деформаций во времени:
 АВ – блок повышающегося нагружения; ВС – блок понижающегося нагружения;
 CD – наблюдение после разгрузки

Проведенные экспериментальные исследования показали: линейный модуль деформации E_v , модуль сдвига G не являются постоянными на протяжении всего испытания. Их величина зависит от вида напряженного состояния, от уровня действующих компонентов напряжений, от режима нагружения.

Анализ выше приведенных результатов экспериментальных исследований позволяет раскрыть закономерности развития деформаций грунта при режимном трехосном нагружении.

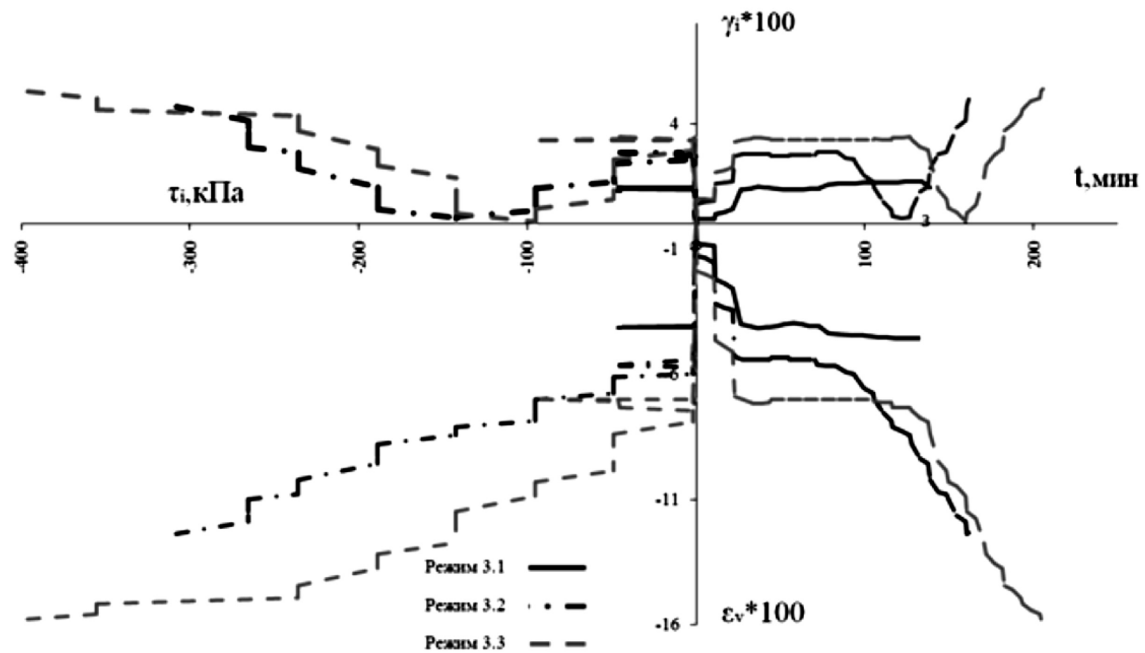


Рис. 7. Паспорт ползучести

Сначала рассмотрим образцы, испытанные повышающим режимом блочного режимного нагружения (рис. 6, 7), когда уровень нагрузки повышается ступенями при переходе от одного блока к другому.

При действии статической нагрузки в пределах каждого блока во всех испытанных образцах происходило увеличение деформаций грунта (объемных, линейных и сдвига). Деформации с различной интенсивностью развивались на всем протяжении испытаний. Наиболее интенсивное развитие деформаций происходило в первом блоке в начальный период нагружения (до 20 минут), и закономерности развития деформаций в этом блоке были такие же, как и при стационарном режиме. При переходе на более высокий уровень нагрузки наблюдался скачок полных деформаций грунта. Затем внутри второго блока начинается плавное развитие деформаций по мере увеличения времени действия нагрузки, аналогично развитию деформаций на второй стадии первого блока нагружения. Однако скорость развития этих деформаций была больше, чем на первом блоке нагружения. При переходе к другим блокам вышеописанные закономерности повторялись, но в каждом последующем блоке скорость развития деформаций увеличивалась. На последнем блоке перед разрушением происходило резкое увеличение деформаций грунта. Разрушение образца грунта происходило после достижения вертикальными деформациями предельных значений, равных 10 %.

Рассмотрим развитие деформаций при последовательно понижающемся режиме блочного нагружения, когда нагрузка уменьшается от блока к блоку ступенями.

При действии нагрузок в пределах каждого блока во всех испытанных образцах происходило изменение деформаций грунта (объемных, линейных, сдвиговых). Деформации с различной интенсивностью развивались на всем протяжении испытаний. Характер изменения деформаций грунта по мере увеличения времени действия нагрузки представлен на рис. 6 и 7. В пределах каждого блока нагружения закономерности развития деформаций в зависимости от уровня напряжений и времени действия нагрузки были такие же, как и при стационарном нагружении. При переходе в блок с более низким уровнем напряжений в момент уменьшения напряжений происходит скачкообразное уменьшение полных деформаций за счет упругой составляющей. Затем какое-то время происходит или дальнейшее уменьшение деформаций, или деформации стабилизируются. Продолжительность этого периода и характер развития деформаций после уменьшения напряжений зависят от величины перепада напряжений и времени действия нагрузки в рассматриваемом блоке: чем больше перепад напряжений, тем больше продолжительность этого периода и степень уменьшения деформаций. При

небольших перепадах напряжений продолжительность этого периода невелика, а деформации в этот период практически не меняются (сначала происходит незначительное уменьшение, затем стабилизация, потом незначительное увеличение). Природа этого явления объясняется эффектом задержки развития микро- и макротрещин после перехода на более низкий уровень напряжений. При действии нагрузки последовательно понижающегося режима происходит также качественное изменение диаграмм $\sigma_i - \varepsilon_i$, $\tau_i - \gamma_i$, характеризующих структурные изменения в грунте.

В тех случаях режим нагружения включает чередование блоков повышающимися и понижающимися напряжениями, вышеописанные закономерности повторяются.

По результатам испытаний получены аналитические зависимости, описывающие деформационные показатели глинистых грунтов при трехосном режимном нагружении:

– объемные деформации:

$$\varepsilon_v = a_1 \cdot \sigma_m^2 + a_2 \cdot \sigma_m + a_3 \cdot \sigma_2^2 + a_4 \cdot \sigma_2 + a_5 \cdot t_m + a_6 \cdot t_{раз} + a_7 \cdot t_{повт} + \beta; \quad (1)$$

– модуль объемных деформаций:

$$E_v = b_1 \cdot \sigma_m^2 + b_2 \cdot \sigma_m + b_3 \cdot \sigma_2^2 + b_4 \cdot t_m + b_5 \cdot t_{раз} + b_6 \cdot t_{повт} + n; \quad (2)$$

где σ_m – величина средних напряжений;

$\sigma_2 = \sigma_3$ – величина бокового давления при девиаторном нагружении;

t_m – время всестороннего обжатия;

$t_{раз}$ – время разгрузки;

$t_{повт}$ – время всестороннего обжатия при повторном нагружении;

$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, \beta, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, n$ – коэффициенты, полученные экспериментальным путем.

Список литературы

1. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов / Уч. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1978. – 447 с.
2. Мирсайпов И.Т., Королева И.В. Исследование прочности и деформативности глинистых грунтов при длительном трехосном сжатии. // Известия КазГАСУ, 2009, № 2 (12). – С. 167-172.
3. Мирсайпов И.Т., Королева И.В. Прогнозирование деформаций оснований фундаментов с учетом длительного нелинейного деформирования грунтов. // Научно-технический журнал «Основания, фундаменты и механика грунтов», 2011, № 4. – С. 16-23.

Mirsayapov I.T. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: mirsayapov@kgasu.ru

Koroleva I.V. – senior lecturer

E-mail: koroleva@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Features of deformation of clay soils during regime loading

Resume

Soil bases foundations of buildings and structures are exposed to different static loads. In the real world of construction and maintenance loads on soil bases foundations are applied in stages as the construction of a building or structure. In the current design standards in the calculation of the bearing capacity and sediment loading phasing base not included. At the bottom, composed of clayey soils of the stress-strain characteristics vary and depend on the previous history of loading.

For the experimental study of the deformability and strength of clay soil when subjected to a load of the regime and the establishment of certain laws in the Soil Laboratory of Department of bases, foundations, dynamics of buildings and engineering geology KSUAE a series of tests in the triaxial compression. Loading conditions included alternating blocks of raising and lowering stresses. According to test results obtained graphic dependence of volume strain, linear, and the bulk modulus of deformation at different loading conditions. The obtained experimental results have established the basic laws of volume strain soil modules linear and volumetric strain changes in the strength of clay soil in the various modes of triaxial static loading.

Keywords: clay soil, modal loading, triaxial compression, volumetric deformation, deformation modulus.

References

1. Vyalov S.S. Rheological principles of soil mechanics. – M.: HSPH, 1978. – 447 p.
2. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Study of strong and deformability clay soil for long triaxial compression. // News of the KSUAE, 2009, № 2 (12). – P. 167-172.
3. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Prediction of deformation of the foundation with the long-term non-linear deformation of soil. // Scientific and technical magazine «OFMG», 2011, № 4. – P. 16-23.