



УДК 624.154

Мирсаяпов И.Т. – доктор технических наук, профессор

E-mail: mirsayapov@kgasu.ru

Брехман А.И. – доктор технических наук, профессор

E-mail: brechman@kgasu.ru

Королева И.В. – старший преподаватель

E-mail: koroleva@kgasu.ru

Иванова О.А. – магистрант

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Прочность и деформации песчаных грунтов при трехосном циклическом нагружении

Аннотация

В статье приведены результаты экспериментальных исследований деформаций и прочности песчаных грунтов при циклических нагружениях, проведенных в лаборатории грунтоведения кафедры оснований и фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии КазГАСУ. Получены новые экспериментальные данные о закономерностях изменения деформаций и прочностных показателей песчаных грунтов в условиях циклического трехосного сжатия. Выполнен анализ результатов исследований и установлены аналитические зависимости поведения песчаных грунтов при циклических нагружениях.

Ключевые слова: циклическое нагружение, песок, трехосное сжатие, объемные деформации, модуль деформации.

Грунтовые основания фундаментов зданий и сооружений, а также автомобильных и железных дорог, кроме статических, подвергаются воздействию различных циклических нагрузок, требующих особого внимания при расчетах и проектировании (рис. 1).

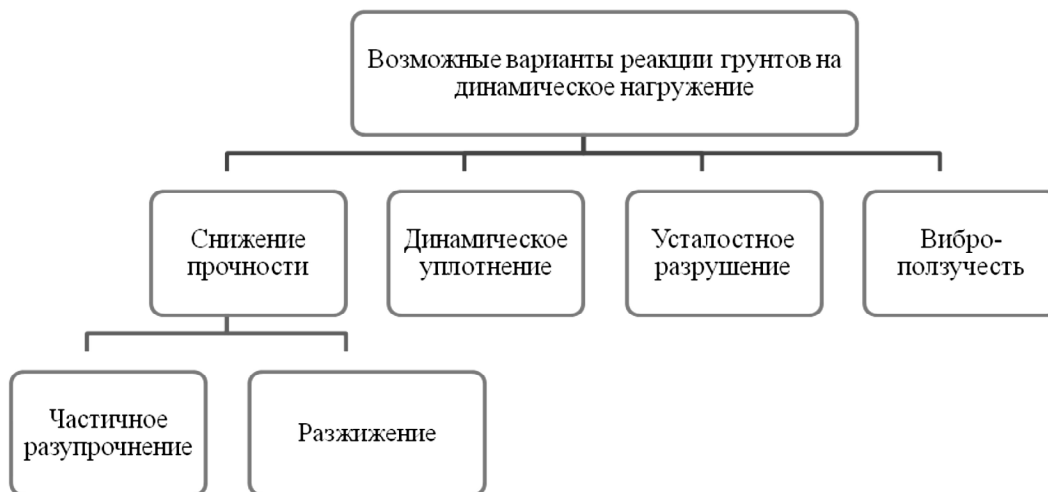


Рис. 1. Реакция грунтов на динамические воздействия

В связи с этим возникает необходимость в проведении экспериментальных и теоретических исследований прочности и деформируемости песчаных грунтов при циклических нагружениях.

В целях экспериментального изучения деформируемости и прочности песчаного грунта при воздействиях на него циклических нагрузок и установления некоторых закономерностей в лаборатории грунтоведения кафедры оснований фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии КазГАСУ была проведена серия испытаний в пневматическом стабилометре системы «АСИС».

В качестве испытуемого грунта был принят песок со следующими физическими характеристиками: $r = 2,0 \frac{г}{см^3}$; $r_s = 2,65 \frac{г}{см^3}$; $W = 24 \%$; $j = 35^0$; $e = 0,325$. Образцы грунтов изготавливались в соответствии с приложением «В» ГОСТ 30416-96. «Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения». Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 12248-2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости» по неконсолидированно-недренированной схеме трехосного сжатия.

Для исследования деформационных свойств песчаных грунтов были использованы искусственно приготовленные грунты. Для установления предела прочности грунта при однократном статическом нагружении проведены статические испытания образцов грунта при девиаторном нагружении по схеме «раздавливание» при заданном значении бокового давления.

Циклические испытания грунта проводились по следующей методике: испытуемый образец подвергался всестороннему обжатию в течение 30 минут, затем к образцу прикладывалась вертикальная нагрузка ступенями по 10 %. После достижения заданной величины относительной вертикальной деформации ($e_{цик}$) начиналось циклическое воздействие с амплитудой разгрузки 80 %, при этом циклы вертикального нагружения прикладывались непрерывно без ожидания условной стабилизации относительных деформаций N раз. Если образец выдерживал N циклов, то прибор доводил его до разрушения ступенчато по схеме раздавливания. Все параметры нагружения принимались по ГОСТ 12248-2010 для схемы неконсолидированно-недренированных испытаний.

При проведении испытаний были приняты следующие параметры нагружения: величина всестороннего обжатия $s_2 = s_3 = 100, 200, 300, 400 \text{ кПа}$, время выдержки образцов в эксикаторе после изготовления образца $t_1 = 1$ час и $t_2 = 73$ часа, степень вертикального нагружения – 10 % величины всестороннего обжатия, предельная деформация при разрушении – 15 % (11 мм), интервал времени между ступенями нагружения – 15 сек, амплитуда нагружения – 80 % от максимального значения девиатора напряжений.

На рис. 2 представлен график изменения вертикальных деформаций при циклическом нагружении.

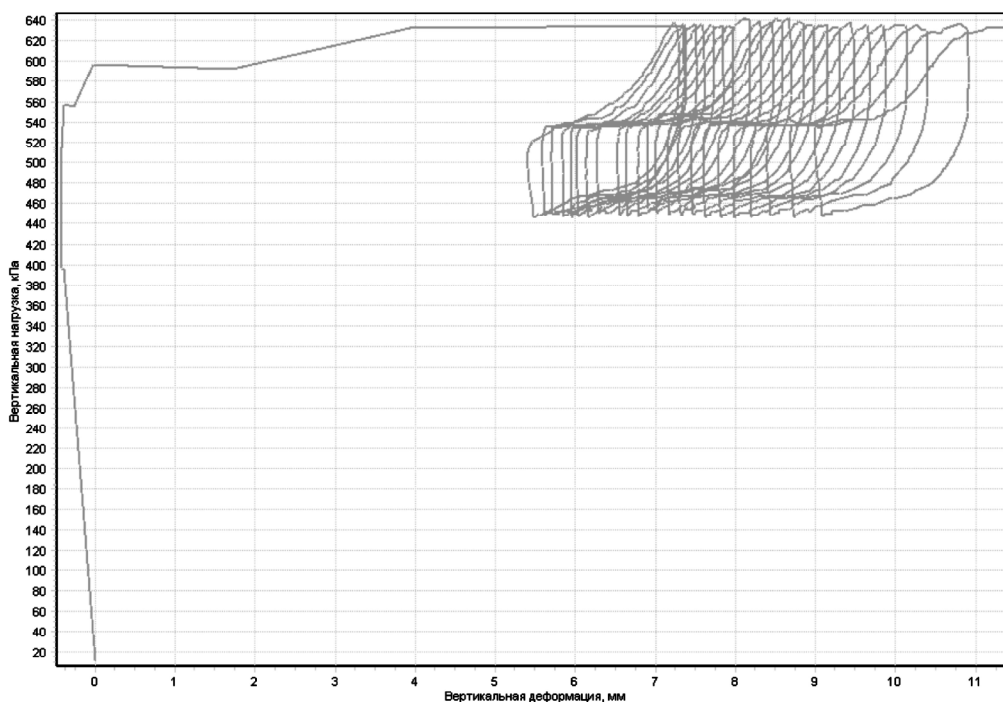


Рис. 2. Зависимость продольных деформаций от вертикального напряжения при циклическом испытании песка в стабилометре

По результатам циклических испытаний в приборе трехосного сжатия стабилометрического типа получены графические зависимости относительных вертикальных деформаций, объемных деформаций, линейного и объемного модулей деформации от количества циклов нагружения (рис. 3-6).

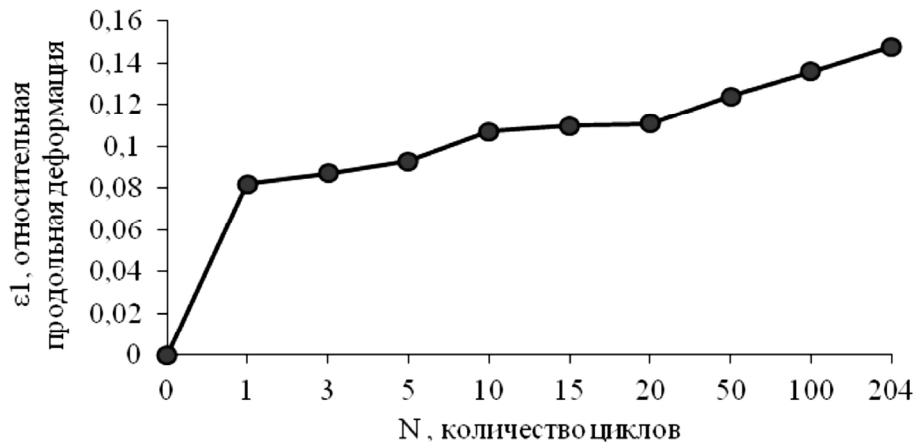


Рис. 3. Влияние числа циклов на изменение значений максимальных относительных продольных деформаций при циклическом испытании песка в стабилометре

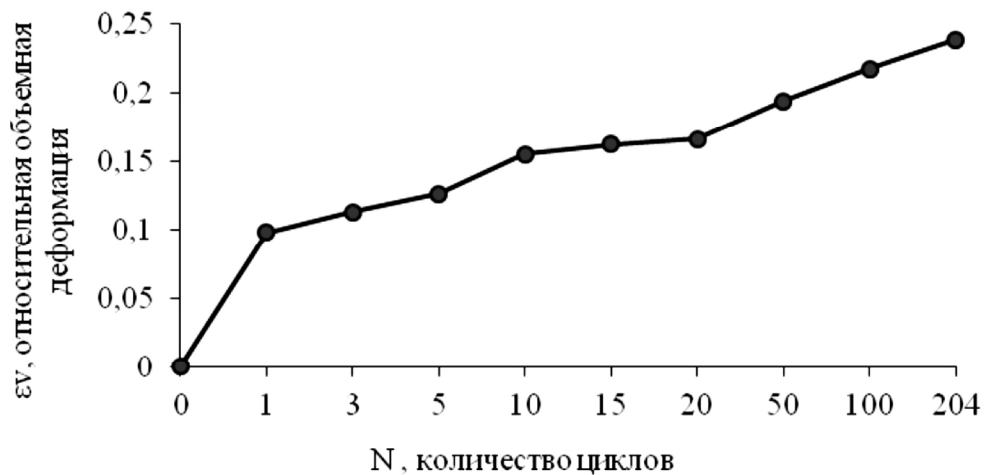


Рис. 4. Влияние числа циклов на изменение значений максимальных относительных объемных деформаций при циклическом испытании песка в стабилометре

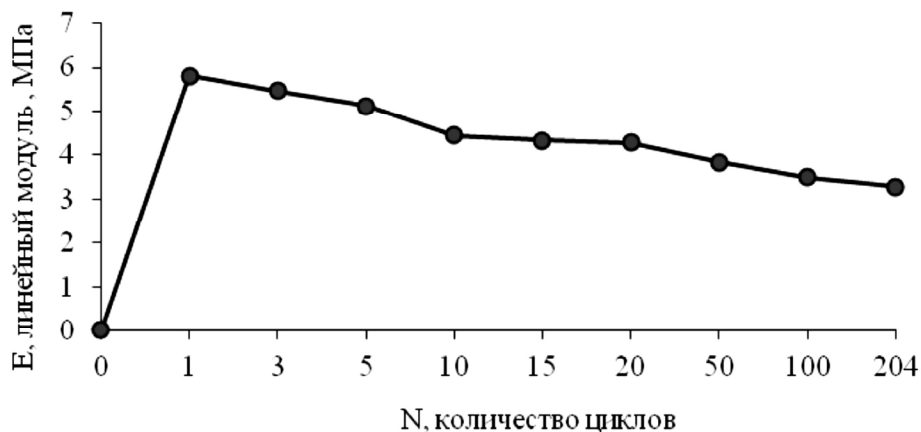


Рис. 5. Влияние числа циклов на изменение линейного модуля деформаций при циклическом испытании песка в стабилометре

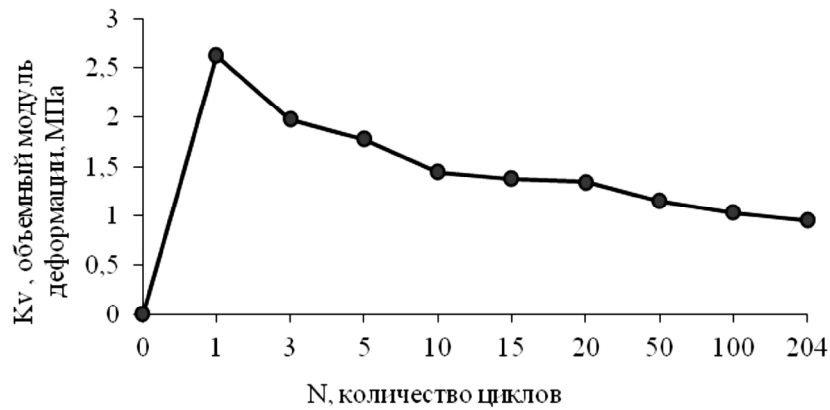


Рис. 6. Влияние числа циклов на изменение объемного модуля деформаций при циклическом испытании песка в стабилометре

По результатам серии испытаний установлена зависимость прочности образцов песчаного грунта при циклическом трехосном нагружении от количества циклов до разрушения (рис. 7).

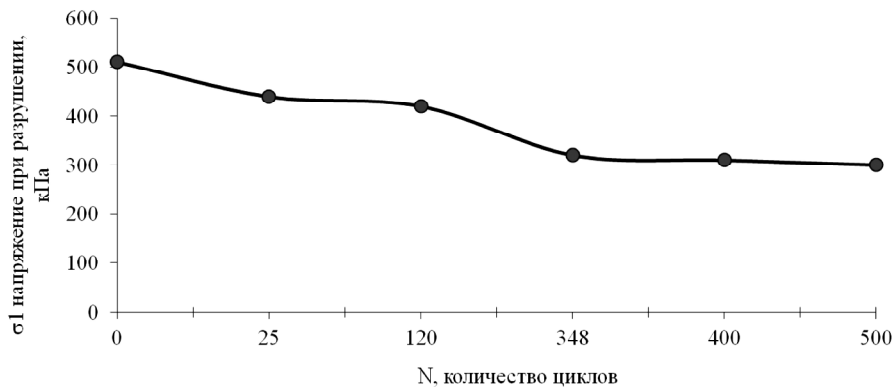


Рис. 7. Кривая Веллера, полученная при циклическом нагружении песка в стабилометре с боковым обжатием $s_3 = s_2 = 100$ кПа

По результатам серии циклических нагружений с различной величиной бокового давления построены графики зависимости относительных продольных деформаций образца от величины вертикальных напряжений (рис. 8).

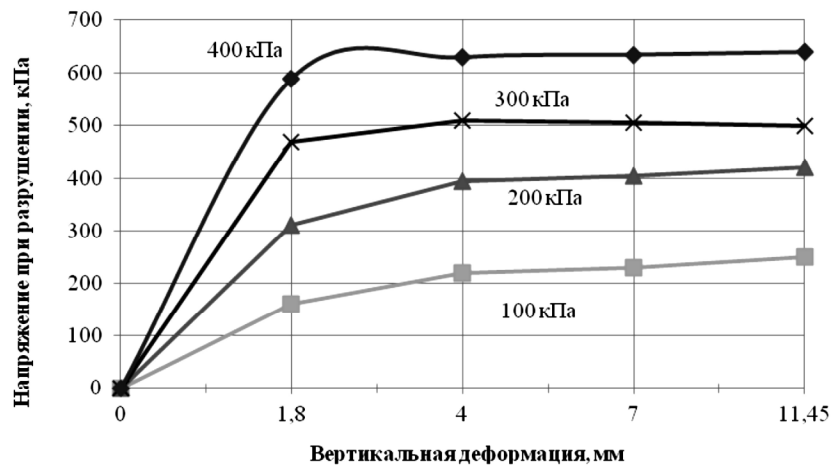


Рис. 8. Зависимость относительных продольных деформаций от вертикального напряжения для различных боковых обжатий при циклическом испытании песка в стабилометре

Обработка результатов проведенных экспериментальных исследований и их анализ позволили предложить следующие уравнения для оценки изменения основных механических характеристик грунта при трехосном циклическом нагружении:

- объемный модуль деформации от количества циклов:

$$K_v(N) = \lg(N) \cdot k - N^{\frac{2}{l}} + m, \quad (1)$$

- линейный модуль деформации от количества циклов:

$$E(N) = \lg(N) \cdot a - N^{\frac{2}{b}} + c, \quad (2)$$

- относительная продольная деформация от количества циклов:

$$e_1 = e^{\frac{N}{r}} + \frac{N}{s} - 1, \quad (3)$$

- относительная объемная деформация от количества циклов:

$$e_v = e^{\frac{N}{z}} + \frac{N}{y} - 1, \quad (4)$$

где $k, l, m, a, b, c, r, s, z, y$ – коэффициенты, получаемые опытным путем, для песчаного грунта они зависят от времени выдержки грунта, его влажности и значения всестороннего давления обжатия образца в стабилометре ($S_2 = S_3$).

Таким образом, на основании анализа результатов, полученных при проведении экспериментальных исследований деформируемости и прочности песчаного грунта при циклических нагружениях, и уравнений изменения механических свойств, можно сделать следующие выводы:

– циклическая прочность образцов на базе 500 циклов уменьшается на 11 % по сравнению со статической прочностью образцов при аналогичных параметрах нагружения;

– в образцах песчаного грунта, не разрушившихся в процессе циклического нагружения, установлено увеличение прочности на 9 % по сравнению с образцами, не подвергавшимися циклическому нагружению;

– деформации и напряжения грунта при различных значениях бокового давления имеют различные соотношения между деформациями и прочностью в одинаковый момент времени нагружения. Изменение величины бокового давления $S_2 = S_3$ от 100 кПа до 400 кПа приводит к изменению циклической прочности от 1,8 и до 2,8 раз.

Список литературы

1. Вознесенский Е.А. Поведение грунтов при динамических нагрузках: учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 288 с.
2. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
3. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
4. ГОСТ 30416-96. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения.

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

E-mail: mirsayapov@kgasu.ru

Brechman A.I. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: brechman@kgasu.ru

Koroleva I.V. – senior lecturer

E-mail: koroleva@kgasu.ru

Ivanova O.A. – graduate student

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Strength and deformation of sandy soils under triaxial cyclic loading

Resume

Ground base foundations of buildings and structures, as well as roads and railways also are exposed to different static cyclic loading. For the experimental study of the deformability and strength of sandy soil when subjected to cyclic loads and to establish some regularities in the laboratory of the Department of Soil base of foundations, structural dynamics and engineering geology of KSUAE a series of tests in the pneumatic system stabilometr «ACIS» were held. According to the results of cyclic tests in a triaxial test camera stabilometr type graphic dependences of the relative vertical deformation, volume strain, linear and volumetric deformation of the modules on the number of loading cycles were obtained. The obtained results of experimental studies have established the basic laws of linear and volumetric strain of soil units of linear and volumetric strain changes in the strength of sandy soil in different modes of triaxial cyclic loading. The analysis of the results of a series of tests allowed to establish the dependence of the strength of samples of sandy soil under cyclic triaxial loading on the number of cycles to failure.

Keywords: cyclic loading, sand, triaxial compression, volumetric strain, modulus of deformation.

References

1. Voznesensky E.A. The behavior of soils under dynamic loads: a tutorial. – M.: Publishers MSU, 1997. – 288 p.
2. Tsytoich N.A. Soil mechanics. – M.: Publishers «Higher school», 1983. – 288 p.
3. GOST 12248-2010. Soils. Laboratory methods for determining the characteristics of strength and deformability.
4. GOST 30416-96. Soils. Laboratory tests. The general provisions.