

УДК 624.159.4

Мирсаяпов И.Т. – доктор технических наук, профессор

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

Шараф Хани М.А. – аспирант

E-mail: hani_2012@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Прочность и деформации глинистых грунтов в условиях трехосного сжатия при блочных режимных циклических нагружениях

Аннотация

Постановка задачи. Основной целью выполненных исследований является изучение параметров прочности и деформирования глинистого грунта в условиях трехосного сжатия, при блочных режимных циклических нагружениях. На сегодняшний день данные о результатах исследований при указанном режиме нагружения отсутствуют.

Результаты. Проведены экспериментальные исследования прочности и деформируемости глинистых грунтов трехосного сжатия $\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$ при блочных режимных циклических нагружениях. Отличительной особенностью экспериментальных исследований является то, что они проведены в приборах трехосного сжатия призматической формы с соотношением сторон 100×100×200 мм. Установлены закономерности изменения основных характеристик грунта при переходах на блоки высоким и низким уровнем напряжений. Получены новые данные о закономерностях деформирования глинистых грунтов при режимных блочных циклических нагружениях.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в исследовании деформаций виброползучести и изменений усталостного сопротивления разрушению глинистых грунтов при трехосном режимном блочном циклическом нагружении. Установлено, что напряженно-деформированное состояние, деформации и усталостная прочность грунтов меняются в зависимости от последовательности чередования блоков с различными значениями максимальной нагрузки цикла.

Ключевые слова: блочное режимное циклическое нагружение, глинистый грунт, трехосное сжатие.

Введение

В современных условиях фундаменты зданий и сооружений различного назначения и их грунтовые основания наряду со статическими подвергаются воздействию циклических нагрузок стационарного и нестационарного режима. Эти нагрузки в ряде случаев являются основными, определяющими безопасность зданий и сооружений в целом. При этом вопрос влияния циклических нагрузок нестационарного режима на поведение грунтовых оснований исследован недостаточно [2, 4, 5]. В связи с этим проведены экспериментальные исследования грунтов основания фундаментов при блочных режимах циклического нагружения. Моделирование сложного напряженно-деформированного состояния грунтов основания фундаментов производится в приборе трехосного сжатия, с учетом изменения режима циклического нагружения, напряженно-деформированного состояния в различных точках основания и физико-механических характеристик грунтов [6, 7, 8, 11].

Основная часть

Для проведения экспериментов использовали прибор трехосного сжатия призматической формы с размерами 100×100×200 мм, в котором давление передается с помощью механических рычагов. Все стенки камеры прибора являются жесткими и подвижными. Нагрузка передается через рычаг, что обеспечивает постоянство давления. Испытание проводится при различных величинах напряжения σ_m . При этом вертикальные σ_1 и боковые $\sigma_2 = \sigma_3$ напряжения ($\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$) прикладываются к образцу независимо [3, 5, 7]. Опыты проводились с образцами искусственно приготовленного грунта нарушенной структуры со

следующими характеристиками: $I_p=0,17$, относится к глине, $\rho=1,9 \text{ г/см}^3$; $W=23 \%$; $W_L=38 \%$; $W_p=21 \%$; $I_L=0,117$ – показатель текучести характеризует грунт как полутвердую глину.

Испытания грунта при режимных блочных циклических нагружениях проводились по ниже описанной методике. Испытание образца в условиях трехосного сжатия разделяется на 4 этапа: 1 – этап всестороннего обжатия, 2 – этап девиаторного нагружения, 3 – этап циклического нагружения, 4 – этап длительной выдержки образца под нагрузкой. На начальном этапе испытания образец подвергался всестороннему обжатию при $\sigma_m=\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3$, в течение 30 минут. Затем, на втором этапе, испытания подвергались ступенчатому девиаторному нагружению. Каждая ступень нагружения выдерживалась, в течение 15 минут согласно программе нагружения. На данном этапе вертикального нагружения, когда σ_m достигло заданного значения, соответствующей σ_{max} , начинается третий этап испытания. Блочное циклическое нагружение, состоящее из нескольких повышающих и понижающих блоков нагружений. В каждом блоке прокладывается определенное количество циклов, соответствующих режимных нагружений. Четвертый этап заключается в том, что образцы выдерживаются под действием длительной статической нагрузки в течение 18-22 часов после приложения заданного количества циклов нагружений.

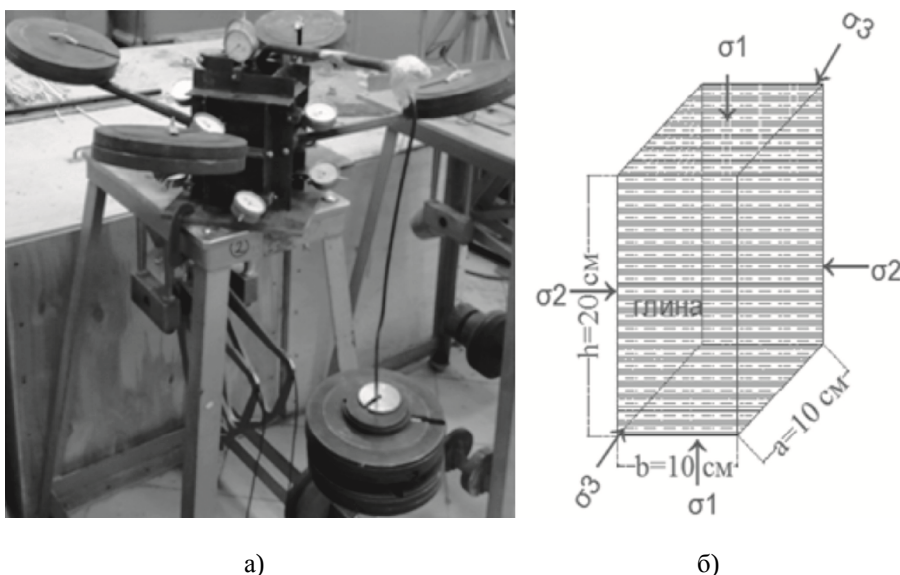


Рис. 1. Прибор трехосного сжатия: а) Общий вид прибора трехосного сжатия; б) Схема нагружения образца грунта

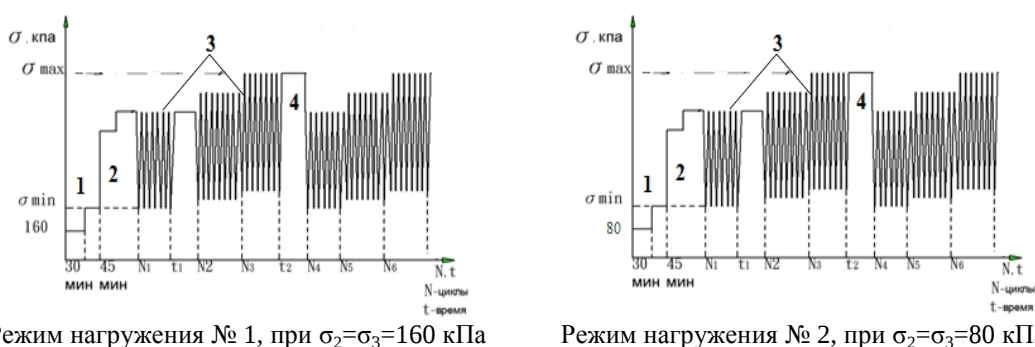


Рис. 2. Режимы нагружений: 1 – этап всестороннего обжатия; 2 – этап девиаторного нагружения; 3 – этап циклического нагружения; 4 – этап длительной выдержки под нагрузкой

В результате проведения экспериментов получены характер изменения объемных деформаций в зависимости от величины максимальных нормальных напряжений, количество циклов, время выдержки. По результатам экспериментальных исследований

построены графические зависимости изменения прочностных и деформационных характеристик грунта в процессе режимного блочного циклического нагружения.

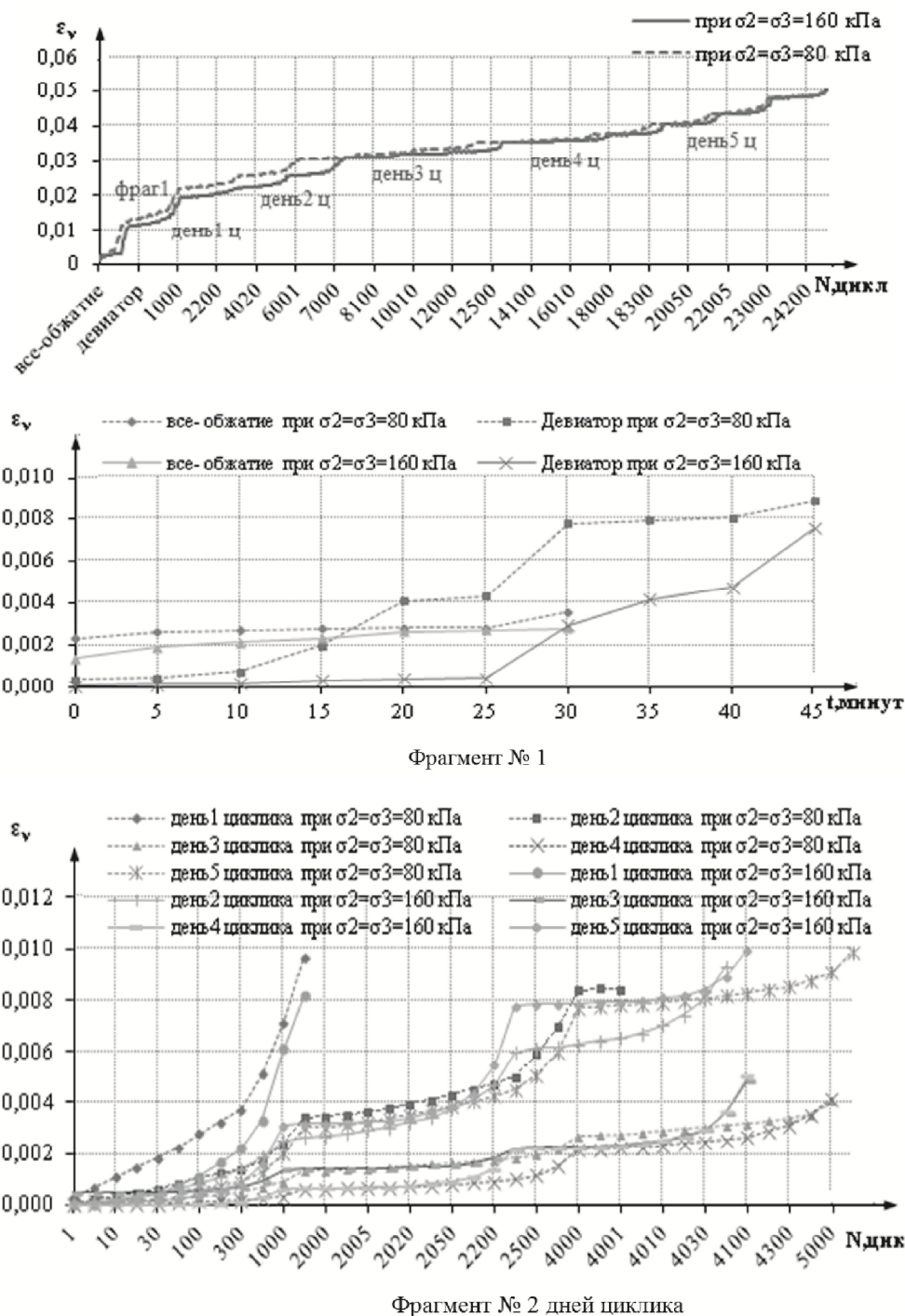
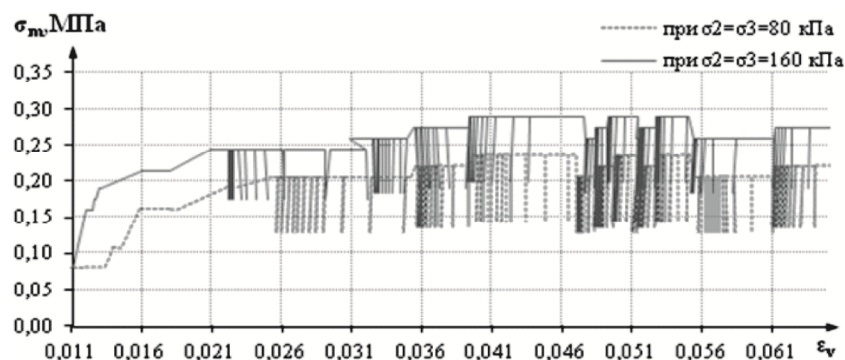


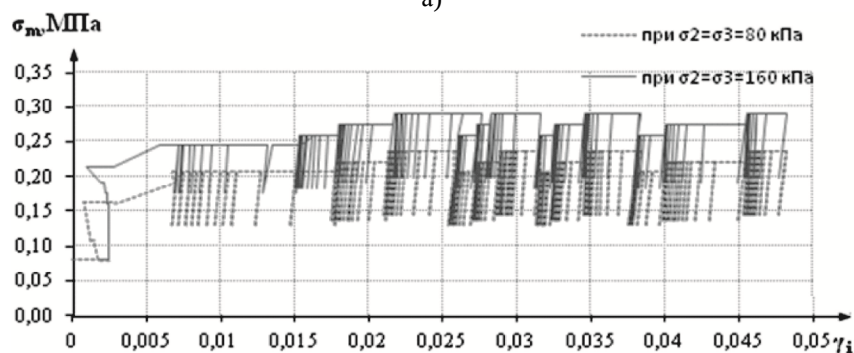
Рис. 3. Зависимость объемных деформаций от режима нагружения

Как видно из диаграммы деформирования (рис. 3-4 а, б), наблюдается увеличение объемных деформаций на всех этапах нагружений. В процессе всестороннего обжатия величина объемных деформаций увеличивались на 19,84 % при $\sigma_m=160$ кПа и 18,51 % при $\sigma_m=80$ кПа от общих значений деформаций. При этом величина объемных деформаций на стадии девиаторного нагружения увеличивались на 14,30 % при $\sigma_m=160$ кПа и 17,78 % при $\sigma_m=80$ кПа от общих величин деформаций. В проведенных режимах циклического нагружения, на стадии всестороннего обжатия, интенсивность деформаций сдвига увеличивались на 4,93 % при $\sigma_m=160$ кПа и на 3,57 % при $\sigma_m=80$ кПа от общих значений деформаций. В стадии девиаторного нагружения происходило увеличение

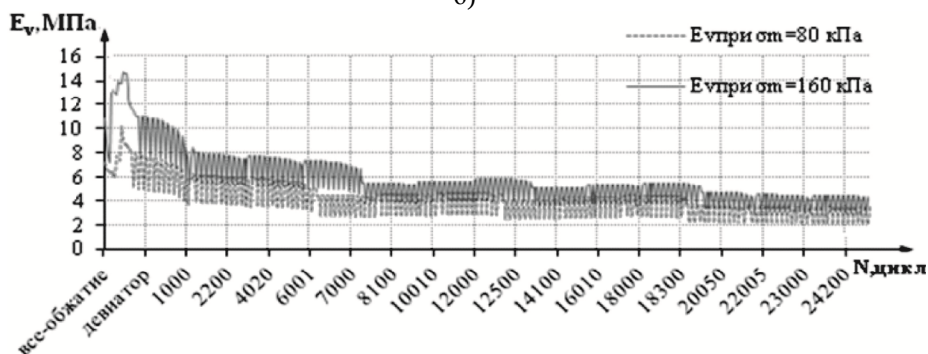
интенсивности деформаций сдвига на 9,75 % при $\sigma_m=160$ кПа и 10,34 % при $\sigma_m=80$ кПа от общих величин деформаций и происходило приращение деформаций сдвига, и составила 0,00097 до 0,00166 (рис. 4 а, б). При действии циклических нагрузок в пределах каждого блока нагружения происходило увеличение величины объемных деформации ϵ_v (рис. 3-4 а, б). Деформации виброползучести (линейные и сдвиговые), с различной интенсивностью развивались на всем протяжении блочного режимного циклического нагружения, причем наиболее интенсивное развитие происходило на первом блоке нагружений до 1000 циклов, и увеличение ϵ_v составляло 13,93 %, $\gamma_i=23,51$ % при $\sigma_m=80$ кПа, ϵ_v на 14,56 %, $\gamma_i=17,43$ % при $\sigma_m=160$ кПа от общей деформации (рис. 3-4 а, б). При переходе на этап с длительно действующей статической нагрузкой (время выдержки), происходило дальнейшее нарастание деформаций на величину $\epsilon_v=0,00005-0,0001$. Затем, в момент изменения режима нагружения, в зависимости от последовательности чередования блоков с различной величиной максимальной нагрузки (понижающиеся и повышающиеся блоки), происходило незначительное уменьшение или увеличение полных деформаций. Изменение деформации при понижающемся блоке нагружения составляло от 0,5 % до 1 %.



а)



б)



в)

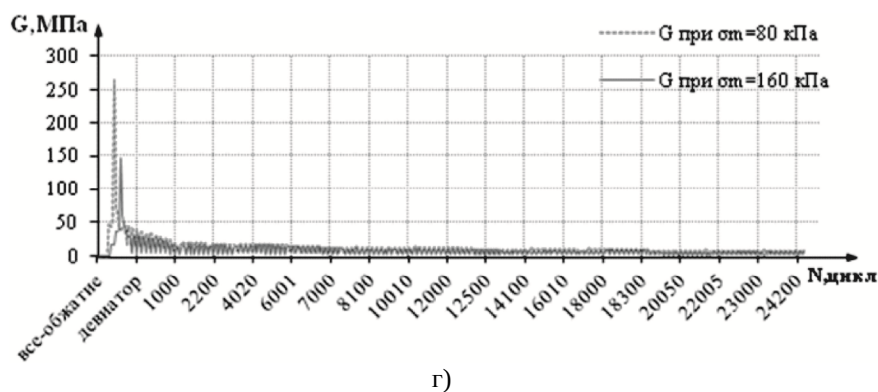


Рис. 4. Зависимость изменения деформации и модуля деформации от режима нагружения:

- а) зависимость между объемными напряжениями σ_m и объемными деформациями ε_v ;
- б) зависимость средних напряжений от интенсивности деформаций сдвига;
- в) зависимость модуля объемных деформаций от режима нагружения;
- г) зависимость модуля сдвига от режима нагружения

Необходимо уточнить, что развитие общих деформаций происходит, в основном, за счет деформации виброползучести. В то же время, упругие деформации в пределах блоков нагружений практически не изменяются. Природа этого явления объясняется эффектом задержки развития микро- и макротрещин и эффектами самоупрочнения и самозалечивания глинистого грунта за счет восстановления структурных и коагуляционных связей, после перехода на следующий цикл нагружения [1, 8, 9, 10]. При режимных нагружениях происходит уменьшение модуля линейных и объемных деформаций, а так же модуля сдвига (рис. 4 в, г). Изменение модулей деформаций происходит на всем протяжении испытаний, а наибольшие изменения происходят в начальной стадии, в пределах первого блока циклического нагружения. В дальнейшем интенсивность изменения уменьшается, но полной стабилизации не происходит [7, 8].

Заключение

Опираясь на результаты экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Развитие деформаций виброползучести и изменение усталостного сопротивления разрушению глинистых грунтов, при трехосном режимном блочном циклическом нагружении, существенно отличаются от изменения этих механических характеристик при стационарных циклических нагружениях.
2. Напряженно-деформированное состояние, деформации и модули деформации меняются в зависимости от последовательности чередования блоков с различными значениями максимальной нагрузки цикла.
3. Развитие общих деформаций грунта, при режимных блочных циклических нагружениях, происходит за счет деформаций виброползучести в зависимости от чередования блоков с различной интенсивностью в каждом блоке. Наиболее интенсивное увеличение деформаций виброползучести грунта при трехосном циклическом нагружении наблюдается на начальной стадии первого блока ($N \approx 200$ циклов нагружений), затем происходит снижение интенсивности развития деформаций.
4. При режимных блочных циклических нагружениях происходит снижение модулей линейных сдвиговых и объемных деформаций, особенно в начальной стадии нагружения ($N \approx 200$ циклов нагружений), после 200 циклов нагружений интенсивность снижения модулей деформаций уменьшается, но полная стабилизация параметров деформируемости не происходит.

Список библиографических ссылок

1. Месчан С. Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов. М. : Недра, 1985. 342 с.

2. Hoe I. L., luigi C., Junichi K. Soil stress-strain behavior: measurement, modeling and analysis, a collection of papers of the geotechnical symposium in Rome, March 16-17. 2006. 979 p.
3. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В. Деформации глинистых грунтов при трехосном режимном длительном нагружении // Известия КГАСУ. 2009. № 2 (12). С. 167–172.
4. Juneja A., Raghunandan M. E. Behavior of soil under cyclic loading // Indian geotechnical conference. 2010. December 16-18. P. 195–198.
5. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В., Сабирзянов Д. Д. Прочность и деформации глинистых грунтов при трехосном режимном чередующемся статическом и циклическом нагружении : сб. трудов международной научно-технической конференции – Геотехника Беларуси: наука и практика / БНТУ. Минск, 2013. С. 23–25.
6. Jitender Dhaka, Ramesh. Experimental study of stabilization of clay soil // International journal of technical research (ijtr). 2016. Vol. 5, Iss. 2. P. 122–125.
7. Мирсаяпов И. Т., Шараф Хани М. Прочность и деформации глинистых грунтов при трехосном режимном циклическом нагружении : сб. трудов VIII Всероссийской молодежной конференции аспирантов, молодых ученых и студентов – Современные технологии в строительстве. Теория и практика / ПНИПУ. Пермь, 2016. С. 8.
8. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В. Прочность и деформируемость глинистых грунтов при различных режимных трёхосного нагружения с учетом трещинообразования // Основания, фундаменты и техника грунтов. Научно-технический журнал. 2016. № 1. С. 5–10.
9. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В. Влияние процесса упрочнения на прочность глинистого грунта при режимном трехосном нагружении // Известия КГАСУ. 2017. № 1 (39). С. 145–152.
10. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В. Экспериментальные исследования деформирования глинистых грунтов при режимном длительно-статическом нагружении // Известия КГАСУ. 2017. № 1 (40). С. 146–152.
11. Шакиров И. Ф., Гарифуллин Д. Р. Исследование массива грунта, укрепленного напорной цементацией : сб. ст. VIII междунар. научно-практич. конференции – Актуальные вопросы науки, технологии и производства / СПбГАСУ. СПб., 2015. С. 80–83.

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

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

Sharaf Hani M.A. – post-graduate student

E-mail: hani_2012@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Strength and deformation of clay soils in the conditions of the triaxial compression under block regime cyclic loading

Abstract

Problem statement. The main goal of the performed studies is to study the parameters of strength and deformation of clay soil under conditions of triaxial compression under block regime cyclic loading. To date, there is no data on the results of studies under this loading regime.

Results. Experimental studies of the strength and deformability of clay soils of a triaxial compression $\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$ under block regime cyclic loading are carried out. A distinctive feature of experimental studies is that they are performed in three-axis prismatic compression devices with a 100×100×200 mm aspect ratio. Regularities of changes in the main soil characteristics during transitions to blocks of high and low stress levels have been established. New data are obtained on the regularities of deformation of clay soils under regime block cyclic loading.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is to investigate the deformations of vibration creep and the changes in fatigue resistance to the destruction of clay soils under triaxial regime block cyclic loading. It is established that the stress-strain state, deformations and fatigue strength of soils vary depending on the sequence of alternation of blocks with different values of the maximum load of the cycle.

Keywords: block regime cyclic loading, clay soil, triaxial compression.

References

1. Meschyan S. R. Experimental rheology of clay soils. M. : Nedra, 1985. 342 p.
2. Hoe I. L., Luigi C., Junichi K. Soil stress-strain behavior: measurement, modeling and analysis, a collection of papers of the geotechnical symposium in Rome, March 16-17. 2006. 979 p.
3. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Deformations of clay soils under triaxial regime continuous loading // *Izvestiya KGASU*. 2009. № 2 (12). P. 167–172.
4. Juneja A., Raghunandan M. E. Behavior of soil under cyclic loading // *Indian geotechnical conference*. 2010. December 16-18. P. 195–198.
5. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V., Sabirzyanov D. D. Strength and deformation of clayey soils under triaxial regime alternating static and cyclic loading: dig. of art. of the international scientific and technical conference – *Geotechnics of Belarus: science and practice* / BNTU. Minsk, 2013. P. 23-25.
6. Jitender Dhaka, Ramesh. Experimental study of stabilization of clay soil // *International journal of technical research*. 2016. Vol. 5, Iss. 2. P. 122–125.
7. Mirsayapov I. T., Sharaf Khani M. Strength and deformation of clayey soils under triaxial regime cyclic loading: dig. of art. of the VIII All-Russian youth conference of PhD students, young scientists and students – *Modern technologies in construction. Theory and practice* / PNIPU. Perm, 2016. P. 8.
8. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Strength and deformability of clay soils at various triaxial modal loading with accounting crack formation // *Osnovaniya, fundamenty i tekhnika gruntov. Nauchno-tekhnicheskiy zhurnal*. 2016. № 1. P. 5–10.
9. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Influence of the hardening process on the strength of clay soil under regime triaxial loading // *Izvestiya KGASU*. 2017. № 1 (39). P. 145–152.
10. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Experimental studies of deformation of clay soils under regime-long-static loading // *Izvestiya KGASU*. 2017. № 2 (40). P. 146–152.
11. Shakirov I. F., Garifullin D. R. Investigation of the soil massif strengthened by pressure carburizing : dig. of art. of the VIII international scientific and practical. Conference – *Actual issues of science, technology and production* / SPbGASU. SPb., 2015. P. 80–83.