



УДК 624.153.6

Мирсаяпов И.Т. – доктор технических наук, профессор

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

Королева И.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: 79178711218@yandex.ru

Назипова Д.Р. – студент

E-mail: dorian.ka@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Экспериментальные исследования деформирования глинистых грунтов при режимном длительно-статическом нагружении

Аннотация

Постановка задачи. Основной целью проведения экспериментальных исследований глинистого грунта нарушенной структуры в приборе трехосного сжатия кубической формы с размерами граней 100 мм × 100 мм является изучение особенностей деформирования образцов при режимном блочном длительно-статическом нагружении. Существующие данные об экспериментальных исследованиях в данном направлении носят разрозненный характер.

Результаты. Основными результатами выполненных исследований являются новые данные о развитии относительной вертикальной и боковой деформации на этапах блочного режимного нагружения зависимости от величины девиаторных напряжений в образцах. Выполнен анализ результатов исследований и установлены некоторые закономерности поведения глинистых грунтов при режимных трехосных длительно-статических нагружениях.

Выводы. Установление влияния режима нагружения на развитие линейных, объемных и сдвиговых деформаций и на изменение прочностных параметров образца глинистого грунта в условиях истинного трехосного сжатия является важной задачей для строительной отрасли, так как позволяет достоверно моделировать поведение грунта в основании фундамента.

Ключевые слова: глинистый грунт, режимное нагружение, трехосное сжатие, дилатансия, девиатор.

Введение

В процессе производства строительных работ по возведению зданий в результате надстройки этажей основание зданий и сооружений, сложенное во многих случаях глинистыми грунтами, подвергается режимным длительно-статическим воздействиям [1-6]. В существующих расчетных методиках определения деформаций грунтовых оснований последовательность возведения сооружений не рассматривается, то есть считается, что объект возникает «одномоментно» и все 100 % нагрузки от сооружения прикладываются сразу, в реальных условиях объект возводится захватками или ярусами. Кроме того не учитывается влияние времени на изменение прочностных и деформационных характеристик грунта, а также такое явление как дилатансия [2, 7]. Из вышеизложенного следует, что напряженно-деформируемое состояние глинистых грунтов зависит от истории предыдущих нагружений. Вследствие пренебрежения указанными факторами, наблюдается существенное расхождение между расчетными и наблюдаемыми величинами осадок оснований вновь возводимых зданий [2].

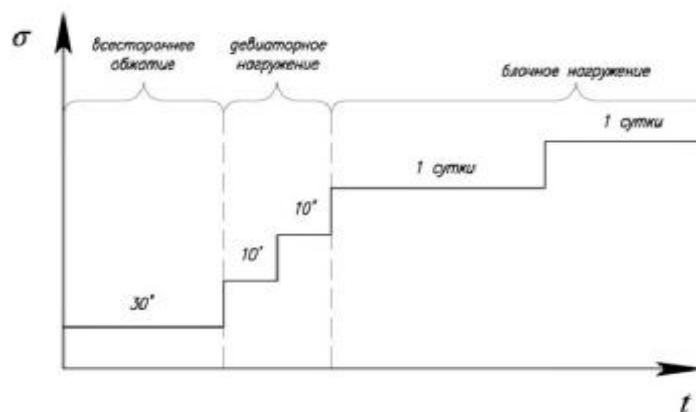
С целью получения более достоверных результатов прогнозируемых осадок при определении деформационных характеристик грунтового основания следует учитывать режим его нагружения.

В связи с этим в лаборатории «Механики грунтов» кафедры ОФДСиИГ были проведены экспериментальные исследования глинистых грунтов, наиболее чувствительных к фактору «время», в условиях режимного длительно-статического трехосного нагружения.

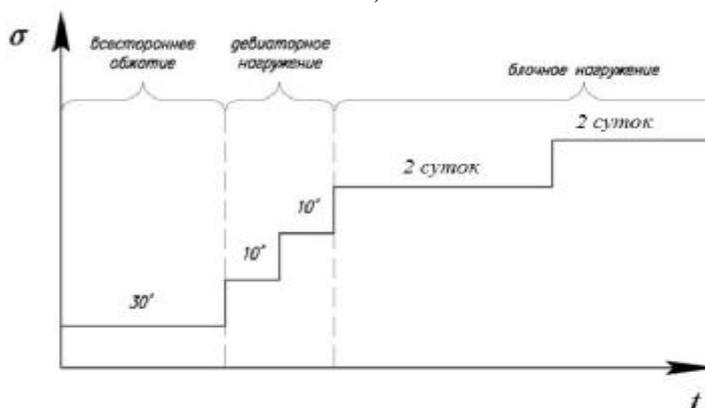
Экспериментальные исследования

Основной особенностью пылевато-глинистых грунтов природного сложения является их значительная неоднородность вследствие хаотично расположенных пор, пустот и включений. С целью уменьшения влияния данного фактора, испытываемые образцы приготавливались согласно методике, разработанной на кафедре, из глинистого грунта нарушенной структуры со следующими параметрами: влажность $W = 0,23$; влажность на границе текучести $W_L = 0,401$; влажность на границе раскатывания $W_P = 0,228$; число пластичности $I_p = 0,173$.

Испытания проводились в приборе трехосного сжатия с жесткими штампами по двум режимам (рис. 1). К образцу на этапе всестороннего обжатия прикладывалась $\sigma_m = 80$ кПа, затем следовал блок девиаторного нагружения, который сменялся блоком длительного статического нагружения, после чего образец снова подвергался увеличению вертикальной нагрузки. В условиях режима 1 длительность каждого блока длительного статического нагружения составляла одни сутки, а для режима 2 – двое суток.



а)



б)

Рис. 1. Режимы нагружения: а – режим 1, б – режим 2

С целью выявления влияния рассматриваемых режимов нагружения было проведено кратковременное трехосное нагружение образца по схеме «раздавливания». Результаты данного испытания были приняты за «эталонные» статические испытания, соответствующие условному мгновенному приложению нагрузки.

По результатам экспериментальных исследований были построены паспорт грунта (рис. 2), паспорт ползучести (рис. 3), графики развития относительных вертикальных деформаций во времени в процессе всего испытания (рис. 4) и для каждого блока нагружения. Полученные графические зависимости (рис. 2-4) показывают, что деформации образца растут на всем протяжении испытания не зависимо от режима нагружения.

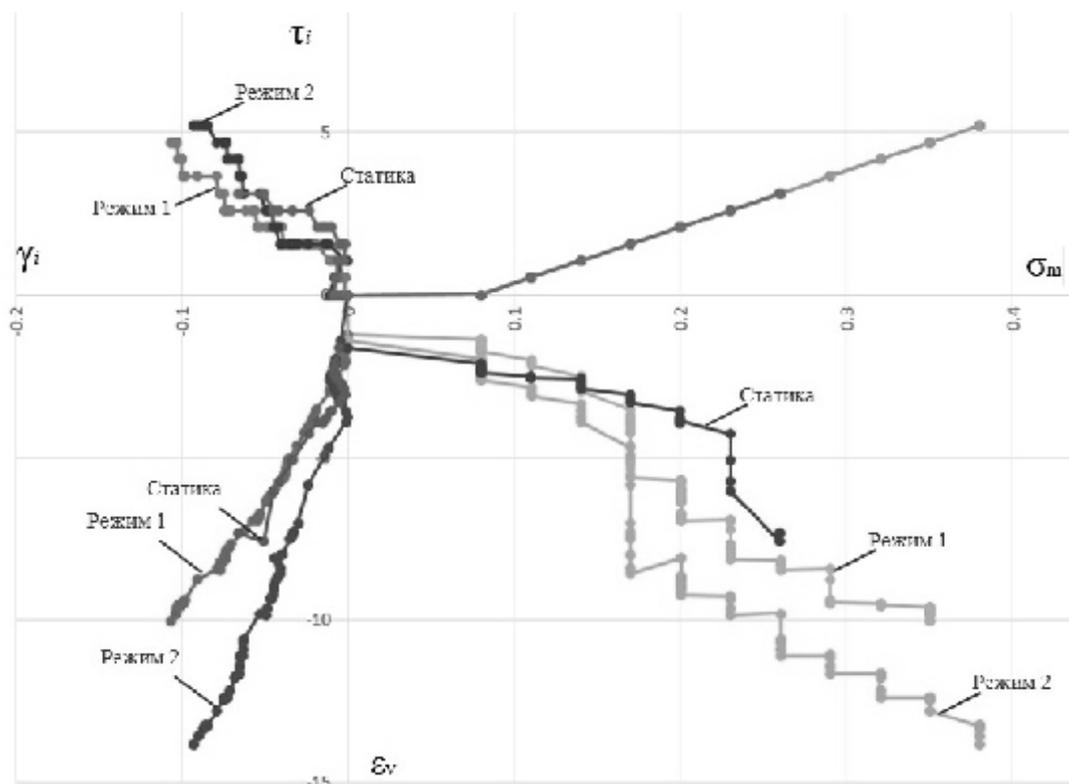


Рис. 2. Сводный паспорт прочности

На рис. 2 приводится сопоставление паспортов грунта образцов, испытанных по рассматриваемым режимам нагружения, с «эталонным» образцом, разрушенным в условиях статического кратковременного трехосного нагружения. Установлено, что прочность образца и его объемные деформации увеличиваются в зависимости от длительности блока нагружения: так при режиме 1 прочность грунта в момент разрушения на 35 % больше, чем при «эталонном» испытании, а увеличение длительности блока статического нагружения до двух суток привело к увеличению прочности в 1,46 раза. При нагрузке, ставшей разрушающей для «эталонного» образца, объемные деформации в условиях испытания по режиму 1 составили 115 % и 88 % от предельных значений, полученных при кратковременных статических испытаниях и при выдержке в течение одних суток соответственно, а в условиях режима 2 объемные деформации выросли на 31 % относительно «эталонных» испытаний, что составило 74 % от предельных значений объемных деформаций при разрушении образца № 2. Выявлено, что при увеличении времени выдержки образца при режимном статическом нагружении увеличивается доля сдвиговых деформаций (рис. 2-3).

Паспорта ползучести (рис. 3) позволили проследить закономерность развития деформаций при постоянных величинах средних нормальных напряжений σ_m . Деформации грунта (объемные, линейные и сдвиговые) развивались на протяжении всего испытания с различной скоростью в разных блоках нагружения. Наиболее интенсивное развитие в зафиксировано на первом блоке статического загрузения. В последующих блоках наблюдалось уменьшение скорости деформирования.

На графике развития относительных вертикальных деформаций в пределах каждого блока длительного статического нагружения (рис. 4) наблюдается интенсивный прирост деформаций в момент приложения нагрузки с последующим затуханием деформаций ползучести. Скорости развития деформаций в каждом из блоков приложения нагрузки не одинаковы. Это связано с уплотнением грунта в интегральном объеме образца под жесткими штампами на первых блоках нагружения, образованием уплотненных зон и зон предельного равновесия между ними в последующих блоках. Аналогичный механизм деформирования был описан в работах [2, 7, 9].

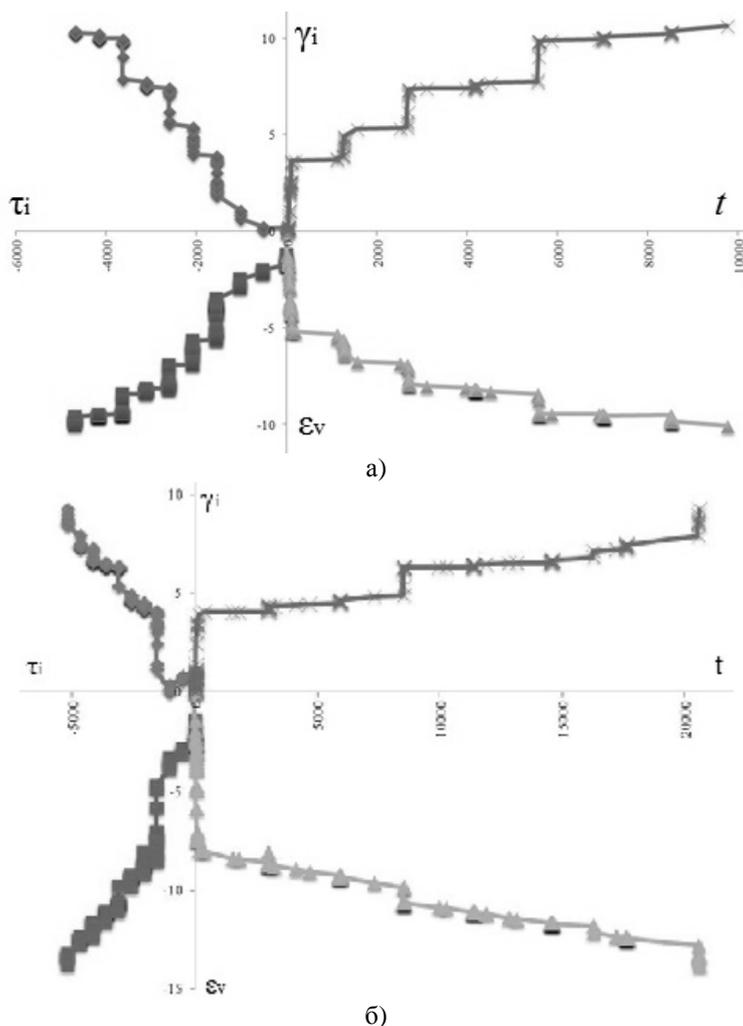
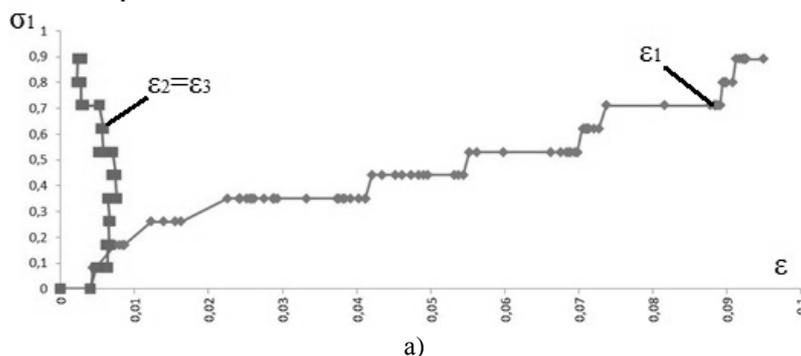


Рис. 3. Паспорт ползучести: а – режим 1, б – режим 2

Следует отметить, что максимальные скорости прироста относительных вертикальных деформаций образца сопровождалось явлением положительной дилатансии (рис. 3), когда фиксировалось не только отсутствие горизонтальных деформаций, но и их уменьшение, что связано с вытеснением уплотненных пирамид грунта, образовавшихся у боковых граней, вертикальными уплотненными пирамидами. Описанный характер деформирования образцов наблюдался в первые 30 минут после увеличения девиатора, затем приращение вертикальных деформаций замедлялось и начинался прирост горизонтальных деформаций. Вероятность проявления процессов дилатансии существенно зависела от уровня средних нормальных напряжений в образце и истории его предыдущего нагружения. В момент разрушения образца вертикальные деформации образца имели незатухающий характер, а развитие горизонтальных деформаций имело отрицательный знак.



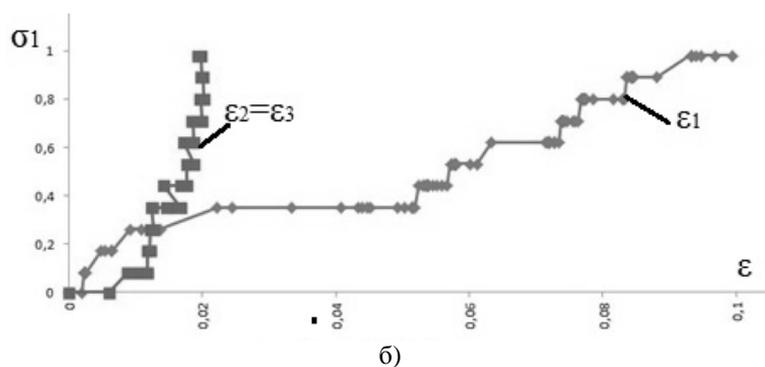


Рис. 3. График развития относительных деформаций в условиях режимного нагружения: а – режим 1, б – режим 2

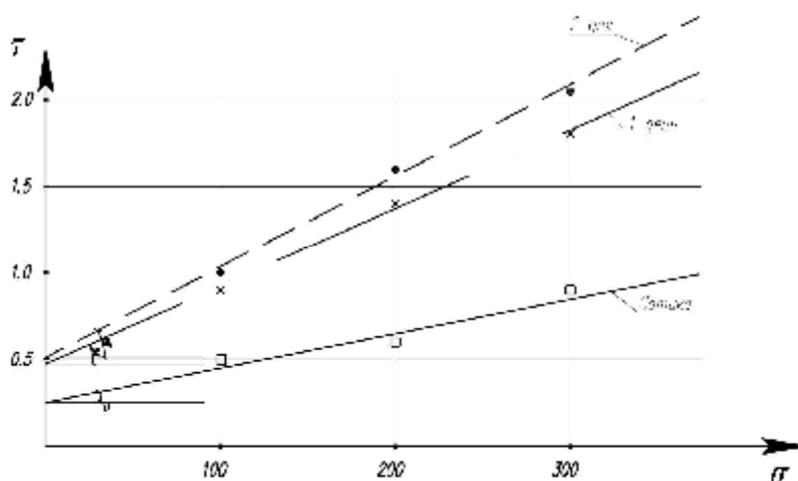


Рис. 4. Определение прочностных характеристик грунта

По результатам испытаний была получена схема расположения уплотненных зон, аналогичная схеме расположения уплотненных зон при длительном статическом нагружении [7]. После разрушения образца, для определения параметров грунта в зоне уплотненных пирамид, образовавшихся у боковых граней, отобраны пробы грунта, которые были испытаны в одноплоскостных срезных приборах П10-С с фиксированной плоскостью среза путем сдвига одной части образца относительно другой.

Установлено улучшение механических характеристик исследуемого грунта в уплотненных зонах по сравнению с начальными значениями, полученными после изготовления образца до начала испытаний. Удельное сцепление грунта в образце, испытанном по режиму 1, выросло на 87 % и на 102 % – при испытании по режиму 2, а угол внутреннего трения увеличился на 13 градусов и 17 градусов соответственно. Данный факт свидетельствует о том, что параметры прочности грунта: удельное сцепление и угол внутреннего трения не являются постоянными величинами и существенно зависят от режима нагружения с учетом фактора времени, при этом указанные характеристики изменяются как в пределах характерных уплотненных и разуплотненных зон, так и в интегральном объеме. Это связано с процессами упрочнения и разупрочнения грунта, происходящими при режимном длительно-статическом нагружении [10].

Заключение

В результате экспериментальных исследований установлено:

1. Развитие деформаций образца глинистого грунта нарушенной структуры в условиях трехосного сжатия зависит от режима нагружения: чем дольше продолжается блок длительного статического нагружения, тем больше доля деформаций ползучести.

2. Линейные, объемные и сдвиговые деформации развиваются на протяжении всего испытания с различной интенсивностью. Скорость деформирования зависит от уровня средних нормальных напряжений в образце и истории предшествующего нагружения.

3. По результатам испытания глинистых грунтов нарушенной структуры установлено увеличение прочности образца в целом до 46 % при режимном нагружении, а также увеличение механических характеристик грунта в уплотненных зонах образца: удельное сцепление возросло на 87 % и 102 % соответственно при первом и втором режимах нагружения по сравнению с начальными значениями, а угол внутреннего трения увеличился примерно в 2,5 раза.

Список библиографических ссылок

1. Ильичев В. А., Мангушев Р. А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М. : АСВ, 2014. 728 с.
2. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В. Прогнозирование деформаций оснований фундаментов с учетом длительного нелинейного деформирования грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2011. № 4. С. 16–23.
3. Тер-Мартirosян З. Г., Тер-Мартirosян А. З., Соболев Е. С. Ползучесть и виброползучесть грунтов : Труды XIV междунар. симп. по реологии грунтов – Перспективные направления развития теории и практики в реологии и механике грунтов / КГАСУ. Казань, 2014. С. 8–23.
4. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Experimental and theoretical studies of bearing capacity and deformation of reinforced soil foundations under cyclic loading : Proc. intern. symp., Kyoto, Japan – Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics / Balkema. Lieden, 2014. P. 742–747.
5. Tanaka T., Yoshiyuki Mohri, Zhussupbekov A. Zh. Elasto-plastic and Viscoplastic Finite Element Analysis – Direct Shear Box Test and Dynamic Deformation of Reinforced Embankment Dam : Труды XIII междунар. симп. по реологии грунтов – Достижения, проблемы и перспективные направления развития для теории и практики механики грунтов и фундаментостроения / КГАСУ. Казань, 2012. С. 18–26.
6. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundations' ground bases : Proc. intern. symp., Seoul, Korea – Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground / Balkema. Lieden, 2014. P. 401–404.
7. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В. Расчетная модель длительного нелинейного деформирования глинистых грунтов при сложном напряженном состоянии // Известия КГАСУ. 2011. № 2 (16). С. 121–128.
8. Мирсаяпов И. Т., Королева И. В. Особенности деформирования глинистых грунтов при режимном нагружении // Известия КГАСУ. 2012. № 4 (22). С. 193–198.
9. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Strength and deformability of clay soil under different triaxial load regimes that consider crack formation // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2016. Vol. 53. Issue 1. P. 5–11.
10. 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.

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

E-mail: mirsayapov@kgasu.ru

Koroleva I.V. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: 79178711218@yandex.ru

Nazipova D.R. – student

E-mail: dorian.ka@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Experimental studies of clay soils deformation under regime long-term static loading

Abstract

Problem statement. The main purpose of carrying out experimental studies of clay soil of a disturbed structure in a triaxial compression device of a cubic shape with face dimensions of 100 mm x 100 mm is to study the features of the deformation of samples under regime block long-term static loading. Existing data on experimental research in this direction are of a disparate nature.

Results. The main results of the studies performed are new data on the development of relative vertical and lateral deformations at the stages of block regime loading depending on the magnitude of the deviator stresses in the samples. An analysis of the results of the investigations is carried out and certain regularities in the behavior of clay soils under regime triaxial long-term static loading are established.

Conclusions. Determination of the loading regime influence on the development of linear, volumetric and shear strains and on the change strength parameters of a clay soil sample under true triaxial compression is an important task for the construction industry, since it will make it possible to model the ground behavior reliably at the base of the foundation.

Keywords: clay soil, regime loading, triaxial compression, dilatancy, deviator.

References

1. Ilyichev V. A., Mangushev R. A. Directory geotechnics. Bases, foundations and underground structures. M. : ASV, 2014. 728 p.
2. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Prediction of deformation of the foundation with the long-term non-linear deformation of soil // *Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov*. 2011. № 4. P. 16–23.
3. Ter-Martirosyan Z. G., Ter-Martirosyan A. Z., Sobolev Ye. S. Creep and vibrocreep of soils : Proc. XIV intern. symp. on the rheology of soils – Future directions of the theory and practice of rheology and soil mechanics / KGASU. Kazan, 2014. P. 8–23.
4. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Experimental and theoretical studies of bearing capacity and deformation of reinforced soil foundations under cyclic loading : Proc. intern. symp., Kyoto, Japan – Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics / Balkema. Lieden, 2014. P. 742–747.
5. Tanaka T., Yoshiyuki Mohri, Zhussupbekov A. Zh. Elasto-plastic and Viscoplastic Finite Element Analysis – Direct Shear Box Test and Dynamic Deformation of Reinforced Embankment Dam : Proc. XIII intern. symp. on the rheology of soils – Achievements, Problems and Perspective Directions of Development for the Theory and Practice of Soil Mechanics and Foundation Engineering Problems / KGASU. Kazan, 2012. P. 18–26.
6. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundations' ground bases : Proc. intern. symp., Seoul, Korea – Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground / Balkema. Lieden, 2014. P. 401–404.
7. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Designed model of long nonlinear deformation of clay soil in a complex stress state // *Izvestiya KGASU*. 2011. № 2 (16). P. 121–128.
8. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Features of deformation of clay soils during loading of regime // *Izvestiya KGASU*. 2012. № 4 (22). P. 193–198.
9. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Strength and deformability of clay soil under different triaxial load regimes that consider crack formation // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2016. Volume 53. Issue 1. P. 5–11.
10. Mirsayapov I. T., Koroleva I. V. Influence of the hardening process, the strength of clay soil under regime triaxial loading // *Izvestiya KGASU*. 2017. № 1 (39). P. 145–152.