



УДК 624.153.6

Королева Ирина Владимировна

кандидат технических наук, доцент

E-mail: 79178711218@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Сагдатова Миляуша Ренатовна

инженер

E-mail: misha.sag776@yandex.ru

ООО «АртэксСтройПроект»

Адрес организации: 420097, Россия, г. Казань, ул. Лейтенанта Шмидта, д. 35а, оф. 312-313

Экспериментальные исследования поведения серых глин в условиях трехосного сжатия при разной влажности

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования глинистого грунта нарушенной структуры в приборе трехосного сжатия цилиндрической формы с размерами 38×76 мм – изучение особенностей поведения образцов с различной влажностью при статическом нагружении. Существующие данные об экспериментальных исследованиях в данном направлении носят разрозненный характер.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в получении данных о прочностных и деформационных изменениях серой глины в условиях трехосного сжатия в зависимости от влажности образцов. Выполнен анализ результатов исследования и установлены некоторые закономерности поведения серых глин в условиях статического нагружения.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в повышении достоверности оценки несущей способности и осадок вследствие установления влияния влажности на изменение прочностных и деформационных параметров образца глинистого грунта в условиях трехосного сжатия.

Ключевые слова: серая глина, статическое нагружение, трехосное сжатие, влажность грунта, прочностные и деформационные характеристики.

Введение

На сегодняшний день, при оценке физико-механических свойств грунта, рассматривают грунты природной влажности [1-9]. При этом очень часто в процессе строительства грунты, являющиеся несущим слоем и непосредственно контактирующие с подошвой фундамента, изменяют свою влажность, так как может происходить замачивание грунтов поверхностными (атмосферными) и грунтовыми водами [1-3]. Следует отметить, что в связи с устройством глубоких фундаментов в качестве оснований, все чаще выступают серые или «голубые» глины, характеризующиеся высоким содержанием глинистых частиц и, как следствие, большим числом пластичности I_p . Однако в существующей литературе вопрос изменения прочностных и деформационных характеристик серых глин при изменении их влажности практически не освещается.

В связи с вышеизложенным, в лаборатории «Механики грунтов» кафедры ОФДСиИГ были проведены экспериментальные исследования серых глин в условиях статического трехосного нагружения.

Программа испытаний образцов серой глины

Основная особенность пылевато-глинистых грунтов природного сложения – значительная неоднородность вследствие хаотично расположенных пустот, включений и пор. С целью уменьшения влияния данного фактора образцы для испытаний приготавливались согласно методике, разработанной на кафедре [10], из серых глин нарушенной структуры. Для исследования эффекта влияния влажности в программу испытаний были включены образцы грунта с различным показателем текучести I_L (табл. 1), при этом все приготовленные грунты были классифицированы как «твердые» ($I_L < 0$).

Таблица 1

Заданная влажность W , %	Влажность на границе текучести W_L , %	Влажность на границе раскатывания W_P , %	Число пластичности I_P , %	Показатель текучести I_L
31 %	78,3	44	34,3	- 0,38
35 %				- 0,26
37 %				- 0,20

С целью создания идентичных образцов в каждой их трех серий испытаний грунты нарушенной структуры готовились в кубической форме, а затем, согласно схеме, указанной на рис. 1, образцы вырезались с помощью гильз.

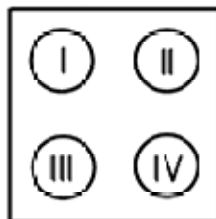


Рис. 1. Расположение гильз при вырезании из куба (иллюстрация авторов)

Определение предельного (разрушающего) значения вертикальной нагрузки и деформационных характеристик грунта проводилось в автоматизированной системе АСИС на приборе трехосного сжатия стабилометрического типа согласно заданной программе испытаний (табл. 2).

Таблица 2

№ серии	№ образца	W , %	$t_{\text{выдержка}}$, дни	Боковая нагрузка, σ_2 , кПа
1	I	34	0	100
	II		0	300
	III		2	100
	IV		2	300
2	I	35	0	100
	II		0	300
	III		2	100
	IV		2	300
3	I	37	0	100
	II		0	300
	III		2	100
	IV		2	300

Все испытания были выполнены до достижения образцом предельных деформаций. Из табл. 2 видно, что в каждой серии экспериментов образцы были испытаны при разной влажности по схеме «раздавливание»:

Гильза I испытывается в первый день при всестороннем обжатии 100 кПа, затем разрушается девиаторной нагрузкой.

Гильза II – величина боковой нагрузки при всестороннем обжатии 300 кПа с последующим увеличением девиатора до разрушения.

Гильзы I-II испытываются сразу же после вырезания из куба, т.е. в «нулевой» день, а гильзы III-IV – через 2 дня по аналогичной программе.

Разработанная программа испытаний позволяет оценить влияние влажности серой глины на прочность и деформации образца в условиях трехосного сжатия с учетом величины всестороннего обжатия и времени выдержки до начала испытания.

Результаты экспериментальных исследований

Проведенные стабилметрические испытания позволили оценить характер деформирования образцов серых глин нарушенной структуры. По результатам экспериментальных исследований были построены графики изменения деформаций в процессе загрузки образца для каждой серии испытаний, а также графики изменения прочности серых глин во времени при боковой нагрузке 100 кПа и 300 кПа.

Развитие деформаций образцов серой глины

График изменения линейных деформаций гильзы I (рис. 2) показывает, что в каждой серии испытаний до $\sigma_1 = 200$ кПа образец уплотняется, затем происходит прирост деформации до предельного значения вертикальных деформаций, принимаемых за разрушение образца. При этом деформации растут с разной скоростью в зависимости от влажности:

- при влажности 31 % образец является «хрупким», так как разрушается довольно быстро после этапа уплотнения, предельное значение вертикальных напряжений 270 кПа;
- при влажности 35 % образец показывает довольно большое значение прочности в 350 кПа;
- при влажности 37 % образец имеет меньшую прочность по сравнению с образцом при влажности 35 %, всего 320 кПа, так как скорость деформирования у него значительно больше, чем у образца второй серии.

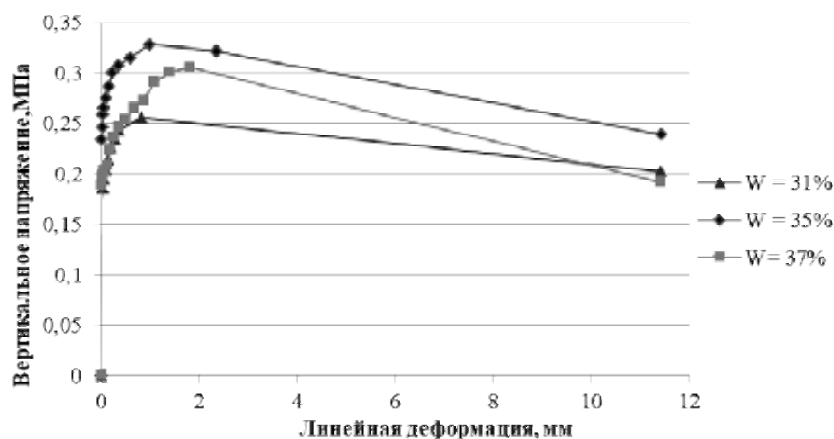


Рис. 2. График изменения деформаций в процессе загрузки гильзы I (иллюстрация авторов)

Через два дня выдержки после изготовления образца до начала нагружения (рис. 3), образцы имеют аналогичный характер деформирования, при этом грунт в каждой серии уплотняется без характерного роста деформации до $\sigma_1 = 250$ кПа, а предельные значения вертикальных напряжений образцов составляют 290 кПа при влажности 31 %, 370 кПа – при влажности 35 % и 350 кПа – при влажности 37 %. Установлено, что при влажности 37 % образец так же имеет более низкую прочность, чем при влажности в 35 % (снижение прочности составило около 10 %), и более высокую деформируемость.

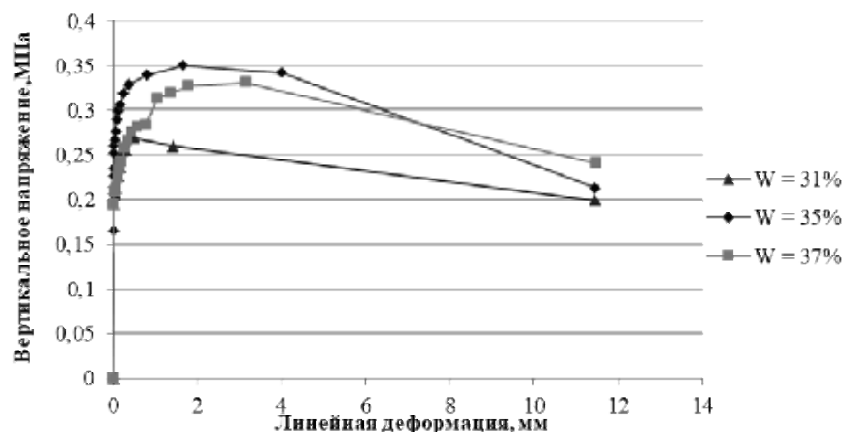


Рис. 3. График изменения деформаций в процессе загрузки гильзы III (иллюстрация авторов)

Таким образом, для стандартного испытания с величиной боковой нагрузки 100 кПа оптимальной влажностью серой глины можно считать влажность $W = 35\%$, при которой образец показал наибольшее значение прочности в 350 кПа при «нулевом» дне и 370 кПа после выдержки в 2 дня.

По графику изменения линейных деформаций гильзы II (рис. 4) также можно проследить, что в каждой серии испытаний образец уплотняется до $\sigma_1 = 420$ кПа, затем происходит прирост деформации до разрушения образца. При этом деформации растут с разной скоростью в зависимости от влажности:

- при влажности 31 % образец, как и в случае с боковой нагрузкой $\sigma_2 = 100$ кПа, разрушается довольно быстро после уплотнения и имеет предельное значение прочности 510 кПа;

- при влажности 35 % образец показывает значение вертикальных напряжений в 540 кПа;

- при влажности 37 % образец уже выдерживает $\sigma_1 = 600$ кПа, что значительно больше по сравнению с образцом, имеющим влажность $W = 35\%$, хотя скорость прироста деформаций у него остается значительной.

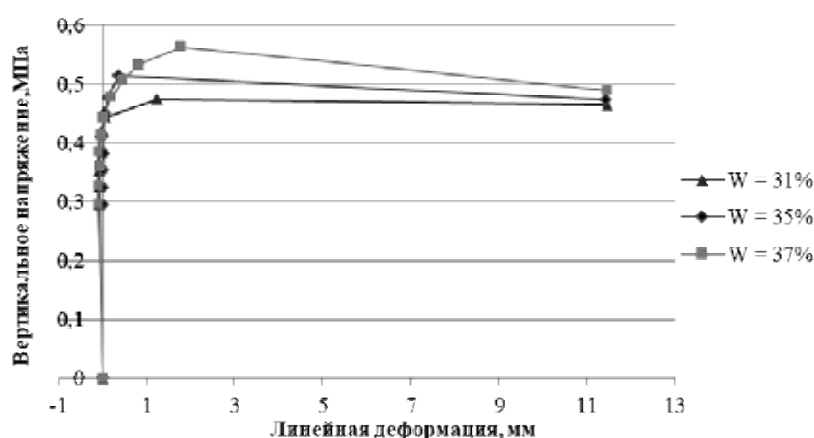


Рис. 4. График изменения деформаций в процессе загрузки гильзы II (иллюстрация авторов)

После двух дней выдержки (рис. 5) показатели стали больше так же, как и при боковой нагрузке в 100 кПа: образец каждой серии уплотняется уже до $\sigma_1 = 450$ кПа, а предельные значения вертикальных напряжений, прикладываемых к образцу, составляют $\sigma_1 = 510$ кПа при влажности 31 %, $\sigma_1 = 600$ кПа – при влажности 35 % и $\sigma_1 = 630$ кПа – при влажности 37 %. Как видно из графиков (рис. 5), при влажности 31 % образец не меняет свою прочность, а при влажности 37 % образец на момент разрушения выдерживает большее значение σ_1 , чем образец второй серии.

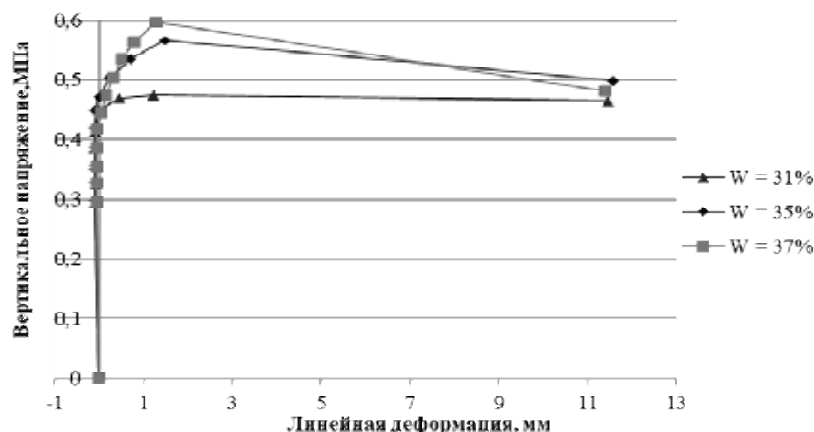


Рис. 5. График изменения деформаций в процессе загрузки гильзы IV (иллюстрация авторов)

Таким образом, для испытания с величиной боковой нагрузки 300 кПа оптимальной влажностью серой глины можно считать влажность $W = 0,37$, при которой образец показал наибольшее значение прочности 600 кПа при «нулевом» дне и 630 кПа после выдержки в 2 дня.

Изменение прочности образцов серой глины

После сопоставления данных, полученных по результатам испытаний, проведенных сразу же после вырезания гильз («нулевой» день) и проведенных через два дня после изготовления образцов (рис. 6-7), установлено, что:

- при боковой нагрузке 100 кПа и изменении влажности от 31 % до 35 %, затем до 37 % (увеличение на 4 % и на 2 %, соответственно), прочность в «нулевой» день меняется от 270 кПа до 350 кПа, т.е. увеличивается примерно в 1,3 раза, а через два дня выдержки прочность меняет свою величину с 290 кПа до 370 кПа, т.е. также увеличивается, но уже в 1,28 раза;

- при боковой нагрузке 100 кПа и времени выдержки 2 дня прочность меняется с 270 кПа до 290 кПа (в 1,07 раза) при влажности 31 %, с 320 кПа до 350 кПа (в 1,09 раза) – при влажности 37 %, с 350 кПа до 370 кПа (в 1,06 раза) – при влажности 35 %;

- при боковой нагрузке 300 кПа и изменении влажности от 31 % до 35 %, затем до 37 % (увеличение на 4 % и на 2 %, соответственно), прочность в «нулевой» день меняется от 510 кПа до 600 кПа, т.е. увеличивается примерно в 1,2 раза, а через два дня выдержки прочность меняет свою величину с 510 кПа до 630 кПа, т.е. также увеличивается, но уже в 1,24 раза;

- при боковой нагрузке 300 кПа и времени выдержки 2 дня прочность меняется с 540 кПа до 600 кПа (в 1,11 раз) при влажности 35 %, с 600 кПа до 630 кПа (в 1,05 раза) – при влажности 37 %, и не меняется при влажности 31 %.

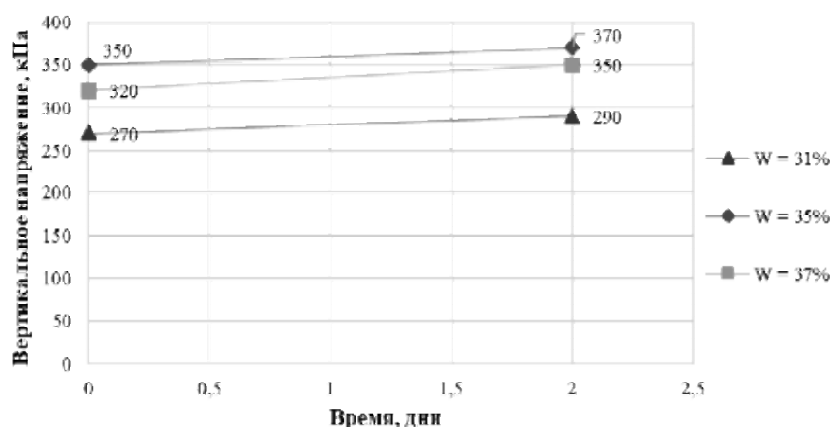


Рис. 6. График изменения прочности серых глин во времени при боковой нагрузке 100 кПа (иллюстрация авторов)

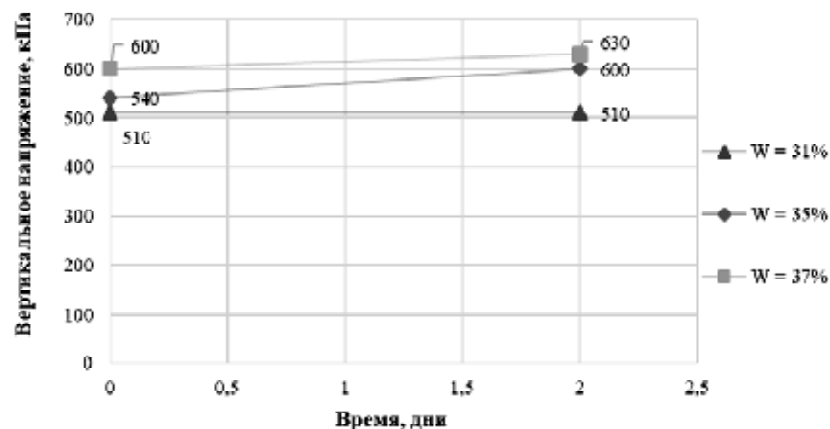


Рис. 7. График изменения прочности серых глин во времени при боковой нагрузке 300 кПа (иллюстрация авторов)

Таким образом, полученные графические зависимости показывают, что прочность образца изменяется не только при изменении его влажности, но и в зависимости от величины боковой нагрузки и времени выдержки с момента изготовления до начала нагружения.

Заключение

В результате экспериментальных исследований установлено:

1. Развитие деформаций образца серой глины нарушенной структуры в условиях трехосного сжатия зависит от влажности грунта: при этом грунты с меньшей влажностью показывают хрупкий характер деформирования, который имеет лавинообразное развитие, а грунты с большей влажностью деформируются пластично.

2. Линейные деформации развиваются на протяжении всего испытания с различной интенсивностью. Скорость деформирования зависит от величины боковых нагрузок (100 кПа и 300 кПа) при испытании образца и времени выдержки перед экспериментом.

3. По результатам испытания серых глин нарушенной структуры установлено, что наиболее оптимальной влажностью для стандартного испытания (боковая нагрузка 100 кПа) является 35 % влажность, так как увеличение прочности образца происходит в целом до 30 % в «нулевой» день испытаний и до 28 % после двух дней выдержки после изготовления образца до начала нагружения; а для испытания с боковой нагрузкой в 300 кПа оптимальной влажностью является 37 % влажность, происходит увеличение прочности до 18 % в «нулевой» день испытаний и до 24 % после двух дней выдержки.

Список библиографических ссылок

1. Ильичев В. А., Мангушев Р. А. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М. : АСВ, 2014. 728 с.
2. Петрухин В. П. Геотехнические проблемы строительства в Москве – крупнейшем мегаполисе России : сб. тр. международной конференции – Геотехнические проблемы мегаполисов / ГК «Геореконструкция». Москва, 2010. Том 1. С. 259–320.
3. Katzenbach R. Soil-structure-interaction of Tunnels and Superstructures During Construction and Service Time // *Procedia Engineering*. 2013. Vol. 57. P. 35–44.
4. Тер-Мартirosян З. Г., Тер-Мартirosян А. З., Соболев Е. С. Ползучесть и виброползучесть грунтов : сб. тр. XIV международного симпозиума по реологии грунтов – Перспективные направления развития теории и практики в реологии и механике грунтов / КГАСУ. Казань, 2014. С. 8–23.
5. Mirsayapov Ilizar 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.
6. 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 : сб. тр. XIII международного симпозиума по реологии грунтов – Достижения, проблемы и перспективные направления развития для теории и практики механики грунтов и фундаментостроения / КГАСУ. Казань, 2012. С. 18–26.
7. Сиразиев Л. Ф. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния слоистых грунтовых оснований под центром штампа при кратковременных испытаниях // *Инновации и инвестиции*. 2018. № 11. С. 225–228.
8. Тер-Мартirosян А. З., Мирный А. Ю., Соболев Е. С. Особенности определения параметров современных моделей грунта в ходе лабораторных испытаний // *Геотехника*. 2016. № 1. С. 66–72.
9. Mirsayapov Ilizar 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.
10. Mirsayapov Ilizar 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. Iss. 1. P. 5–11.

Koroleva Irina Vladimirovna

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: 79178711218@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Sagdatova Miliausha Renatovna

engineer

E-mail: misha.sag776@yandex.ru

LLC «ArteksStroyProekt»

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Lieutenant Schmidt st., 35a, of. 312-313

Experimental studies of gray clay behavior under conditions of triaxial compression at different moisture

Abstract

Problem statement. The purpose of studying of clay soil of a disturbed structure in a triaxial compression device of a cylindrical shape with dimensions 38×76 mm, to study the behavior of samples with different moisture under static loading. Existing data on experimental research in this direction are of a disparate nature.

Results. The main results of the study consist in obtaining data on the strength and deformation changes of gray clay under triaxial compression, depending on the moisture content of the samples. The analysis of the results of the investigations is carried out and certain regularities in the behavior of gray clays under static loading are established.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is to increase the reliability of the assessment of bearing capacity and sediment due to the establishment of the influence of humidity on the change in the strength and deformation parameters of a clay soil sample under conditions of triaxial compression.

Keywords: gray clay, static loading, triaxial compression, soil moisture, strength and deformation characteristics.

References

1. Ilyichev V. A., Mangushev R. A. Geotechnical Reference. Bases, foundations and underground structures. M. : ASV, 2014. 728 p.
2. Petrukhin V. P. Geotechnical problems of construction in Moscow – the largest metropolis of Russia : proceedings of the International Conference – Geotechnical problems of megacities / GC «Georeconstruction». M., 2010. Vol. 1. P. 259–320.
3. Katzenbach R. Soil-structure-interaction of Tunnels and Superstructures During Construction and Service Time // Procedia Engineering. 2013. Vol. 57. P. 35–44.
4. Ter-Martirosyan Z. G., Ter-Martirosyan A. Z., Sobolev Ye. S. Creep and vibrocreep of soils: proceedings of the XIV International Symposium on Soil Rheology – Promising directions for the development of theory and practice in rheology and soil mechanics / KGASU. Kazan, 2014. P. 8–23.
5. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Experimental and theoretical studies of bearing capacity and deformation of reinforced soil foundations under cyclic loading : Proceedings international symposium, Kyoto, Japan – Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics / Balkema. Lieden, 2014. P. 742–747.
6. 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 : proceedings of the XIII international symposium on Soil Rheology – 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.

7. Siraziev L. F. The stressed-stained state experimental researches of multilayered soilbases under the stamp center at short term tests // *Innovation and Investment*. 2018. № 11. P. 225–228.
8. Ter-Martirosyan Z. G., Mirnyj A. Yu., Sobolev Ye. S. Features of determining the parameters of modern soil models during laboratory tests // *Geotechnika*. 2016. № 1. P. 66–72.
9. Mirsayapov Ilizar 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.
10. Mirsayapov Ilizar 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. Iss. 1. P. 5–11.