

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 624.152

DOI: 10.22227/2305-5502.2025.1.10

## Особенности деформирования глин при блочном ступенчатом статическом трехосном нагружении

Ирина Владимировна Королева

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КГАСУ); г. Казань, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** При проектировании оснований фундаментов возникают вопросы о деформационных характеристиках грунта в условиях сложного напряженного состояния. В этом случае вопрос качественного моделирования в лабораторных условиях расчетного напряженно-деформированного состояния массива остается наиболее актуальным. Одним из путей решения может быть изучение механических свойств грунтов в условиях блочного трехосного нагружения с независимо регулируемые вертикальными  $\sigma_1$  и горизонтальными  $\sigma_2 = \sigma_3$  напряжениями.

**Материалы и методы.** Проведены лабораторные трехосные блочные режимные испытания глинистых грунтов нарушенной структуры. Используются режимы с чередующимися повышающимся и понижающимся блоками девиаторного нагружения, при этом максимальная величина девиатора первого повышающегося блока нагружения и амплитуда разгрузки для всех режимов принята одинаковой. Исследования проведены на образцах кубической формы. Применен прибор с жесткими гранями.

**Результаты.** Основными результатами выполненных исследований являются новые данные об изменении деформаций и прочности образцов в условиях блочного трехосного режимного нагружения в зависимости от величины всестороннего обжатия. Выполнен анализ полученных результатов. Установлены некоторые закономерности поведения глинистых грунтов. Дано обоснование механизму происходящих в образце процессов.

**Выводы.** Установлено влияние величины бокового давления на развитие линейных и объемных деформаций образца, предельных значений разрушающей нагрузки с учетом наличия блоков повторного девиаторного нагружения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** глина, трехосное сжатие, блочное нагружение, девиатор, разгрузка, модуль деформации, прочность

*Благодарности.* Автор благодарит доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой оснований, фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии Казанского государственного архитектурно-строительного университета Илизара Талгатовича Мирсаяпова за советы и консультации, а также рецензентов за проявленный интерес к работе.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Королева И.В. Особенности деформирования глин при блочном ступенчатом статическом трехосном нагружении // Строительство: наука и образование. 2025. Т. 15. Вып. 1. Ст. 10. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.1.10

Автор, ответственный за переписку: Ирина Владимировна Королева, 79178711218@yandex.ru.

## Deformation of clay under block step-by-step static triaxial loading

Irina V. Koroleva

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE); Kazan, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** When designing foundation bases, questions arise about the deformation characteristics of soil under complex stress conditions. In this case, the issue of qualitative modelling in laboratory conditions of the calculated stress-strain state of the massif remains the most relevant. One of the solutions may be to study the mechanical properties of soils under block triaxial loading with independently adjustable vertical  $\sigma_1$  and horizontal  $\sigma_2 = \sigma_3$  stresses.

**Materials and methods.** Laboratory triaxial block regime tests of clayey soils with disturbed structure were carried out. Modes with alternating increasing and decreasing blocks of deviatoric loading were used, with the maximum value of the deviator of the first increasing block of loading and the amplitude of unloading for all modes were assumed to be the same. The studies were carried out on cubic-shaped specimens. A device with rigid edges was used.

**Results.** The main results of the conducted research are new data on the change in deformations and strength of specimens under block triaxial mode loading conditions depending on the magnitude of all-round compression. The analysis of the obtained results is performed. Some patterns of clayey soil behaviour are established. The mechanism of processes occurring in the specimen is substantiated.

**Conclusions.** The influence of the magnitude of lateral pressure on the development of linear and volumetric deformations of the specimen, the ultimate values of the destructive load, taking into account the presence of blocks of repeated deviatoric loading, was established.

**KEYWORDS:** clay, triaxial compression, block loading, deviator, unloading, deformation modulus, strength

*Acknowledgements.* The author thanks Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Foundations, Dynamics of Structures and Engineering Geology of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering Ilizar Talgatovich Mirsayapov for advice and consultations, as well as the reviewers for their interest in the work.

**FOR CITATION:** Koroleva I.V. Deformation of clay under block step-by-step static triaxial loading. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2025; 15(1):10. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.1.10

*Corresponding author:* Irina V. Koroleva, 79178711218@yandex.ru.

## ВВЕДЕНИЕ

Современная геотехника — динамично развивающаяся область знаний, так как возведение сложных сооружений [1–3] и устройство глубоких котлованов [4–6] ставят перед ней новые задачи, например, проектирование уникальных объектов требует применения новых расчетных моделей оснований [7–9] и уточнения их параметров [10–12], а также усовершенствования методов проведения лабораторных исследований с целью получения дополнительных данных о грунтах несущего массива [13–15]. Существуют различные виды блочных испытаний, например циклическое, длительное статическое [16–18]. Наиболее часто выполняются трехосные испытания, поскольку именно они позволяют достоверно моделировать напряженно-деформированное состояние (НДС) грунта под фундаментом, устраиваемом в глубоком котловане. В этом случае поведение малых образцов переносят на прогноз величин осадок оснований, учитывая особенности загрузки массива. Испытание состоит из блоков всестороннего обжатия и девиаторного нагружения, при этом принимается, что первый этап моделирует НДС природного массива, а второй — дополнительное нагружение от сооружения. Загружение осуществляется осесимметричным сначала, затем — девиаторным с постепенным увеличением вертикальной нагрузки. Однако, если площадка строительства размещается в стесненных условиях, отрывается котлован с гибкими ограждениями, то напряженное состояние окружающего грунтового массива изменяется и возникает «история загрузки» [19–21]. Этот процесс, по мнению автора, лучше всего моделируется блочным ступенчатым статическим трехосным нагружением.

Цель исследования — проведение трехосных испытаний с разными величинами всестороннего обжатия и повторным нагружением девиатором. Учет

особенностей деформирования глинистых грунтов при режимном блочном трехосном нагружении дает возможность более точно приблизить теоретические прогнозы к реальному поведению грунтов оснований фундаментов. В связи с этим экспериментальное изучение НДС глинистых грунтов в названных условиях загрузки является актуальной задачей.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Глинистые грунты обладают ярко выраженными реологическими свойствами, проявляющимися при трехосном режимном нагружении, однако роль бокового давления на развитие деформаций и прочность образцов недостаточно изучена. Для уменьшения неоднородностей и дефектов в виде хаотично расположенных пор, пустот и включений принято решение использовать грунты нарушенной структуры. Образцы имели форму куба с размером ребра 100 мм и были приготовлены из пасты по методике, разработанной на кафедре оснований, фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии Казанского государственного архитектурно-строительного университета. Измельченный воздушно-сухой грунт увлажнялся и выдерживался в эксикаторе в течение 36 ч, затем послойно отсыпался в форму и уплотнялся. Для частичного восстановления структурных связей в грунте образец после изготовления выдерживался в герметичной форме в течение 6 ч.

Образцы не имели дефектов в виде крупных включений, пор и пустот, были однородны по составу и идентичны по физическо-механическим характеристикам до начала испытания. Грунт можно классифицировать как легкую глину в твердом состоянии. Начальные характеристики образцов глинистого грунта нарушенной структуры приведены в таблице.

Физико-механические характеристики образца глинистого грунта нарушенной структуры до начала испытания

Physicomechanical characteristics of the clay soil specimen with a disturbed structure before testing

Наименование показателей	Обозначение	Единица измерения	Значение
Заданная влажность	$W$	д. е.	0,22
Влажность на границе текучести	$W_L$	д. е.	0,41
Влажность на границе раскатывания	$W_p$	д. е.	0,235
Число пластичности	$J_p$	д. е.	0,175

Окончание табл. / End of the Table

Наименование показателей	Обозначение	Единица измерения	Значение
Показатель текучести	$J_L$	д. е	-0,03
Плотность грунта	$\rho$	г/см <sup>3</sup>	1,952
Угол внутреннего трения при $W$	$\varphi$	град	20,556
Удельное сцепление при $W$	$C$	кПа	67,467
Модуль общей деформации при $W$	$E$	МПа	23,180

Испытания выполнялись в приборе трехосного сжатия с жесткими штампами при различных значениях величины нормального напряжения  $\sigma_m$ , что обеспечивалось независимо регулируемыми вертикальными  $\sigma_1$  и горизонтальными  $\sigma_2 = \sigma_3$  напряжениями, которые изменялись в процессе нагружения образца согласно программе испытаний (рис. 1). Каждое испытание состояло из четырех блоков. К образцу на первом блоке «всестороннее обжатие» прикладывалось  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_m = 80$  кПа (режим 1),  $\sigma_m = 160$  кПа (режим 2) и  $\sigma_m = 240$  кПа (режим 3), затем следовал блок девиаторного нагружения до  $\sigma_1 = 400$  кПа, который сменялся блоком разгрузки до  $\sigma_1 = 240$  кПа, после чего образец снова подвергался ступенчатому вертикальному нагружению  $\Delta\sigma_1$  до разрушения (рис. 2). Нагружение и разгрузка производились со скоростью 1 ступень каждые 10 мин, всестороннее обжатие выдерживалось 30 мин.

С целью выявления влияния блока девиаторной разгрузки рассматриваемых режимов нагружения проведено кратковременное трехосное нагружение образца по схеме «раздавливания» (рис. 3). Результаты данного испытания были приняты за «эталонные».

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам экспериментальных исследований построены графические зависимости развития вертикальных и объемных деформаций во времени, изменения модуля деформации на каждом блоке нагружения.

На графиках видно, что линейные деформации развиваются на протяжении всего испытания (рис. 4). Наличие блоков 2 и 3 приводит к увеличению вертикальных деформаций по сравнению с эталонными образцами до 12 %. Следует отметить, что чем меньше

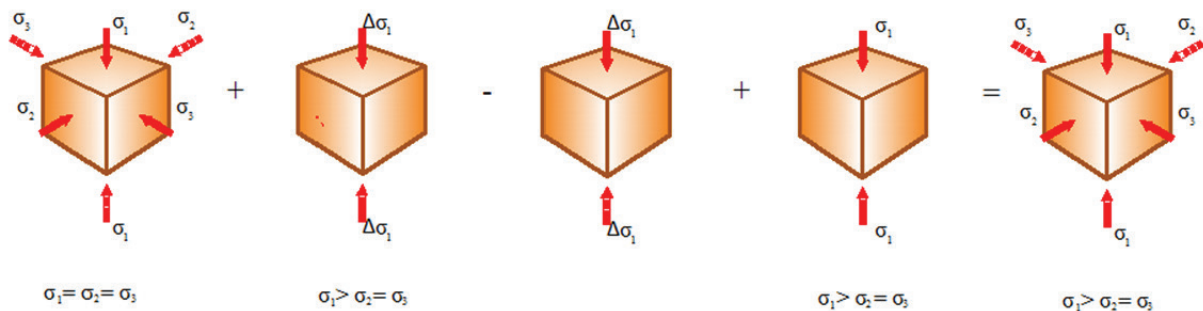


Рис. 1. Схема блочного трехосного нагружения

Fig. 1. Block triaxial loading scheme

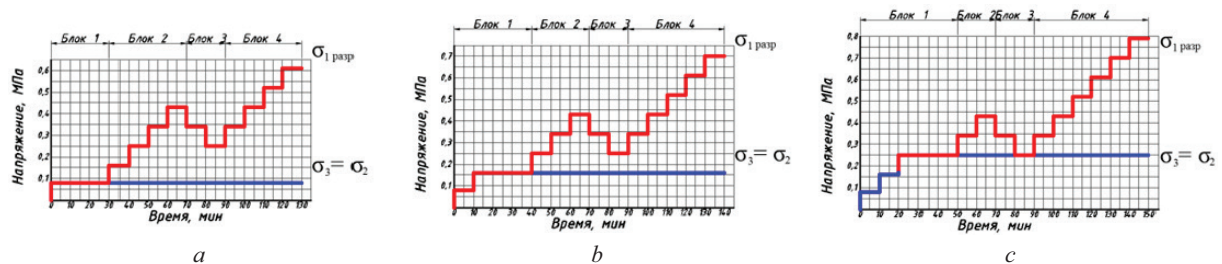


Рис. 2. Режимы нагружения: 1 (a); 2 (b); 3 (c); блок 1 — всестороннее обжатие; блок 2 — девиаторное нагружение; блок 3 — девиаторное разгружение; блок 4 — девиаторное нагружение до разрушения

Fig. 2. Loading modes: 1 (a); 2 (b); 3 (c); block 1 — all-round compression; block 2 — deviatoric loading; block 3 — deviatoric unloading; block 4 — deviatoric loading to failure

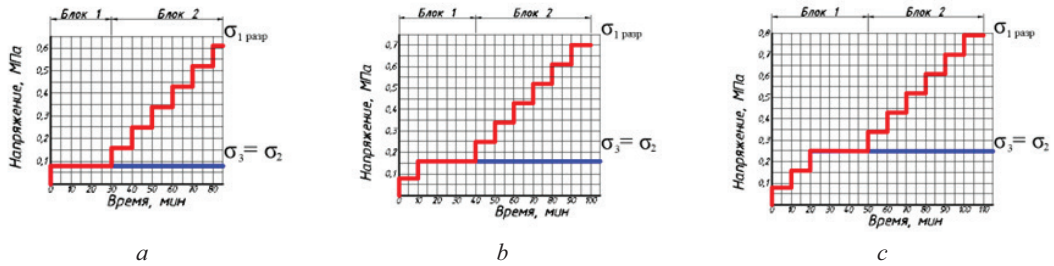


Рис. 3. Режимы «эталонного» нагружения: 1 (a); 2 (b); 3 (c); блок 1э — всестороннее обжатие; блок 2э — девиаторное нагружение до разрушения

Fig. 3. “Reference” loading modes: 1 (a); 2 (b); 3 (c); block 1e — all-round compression; block 2e — deviatoric loading until failure

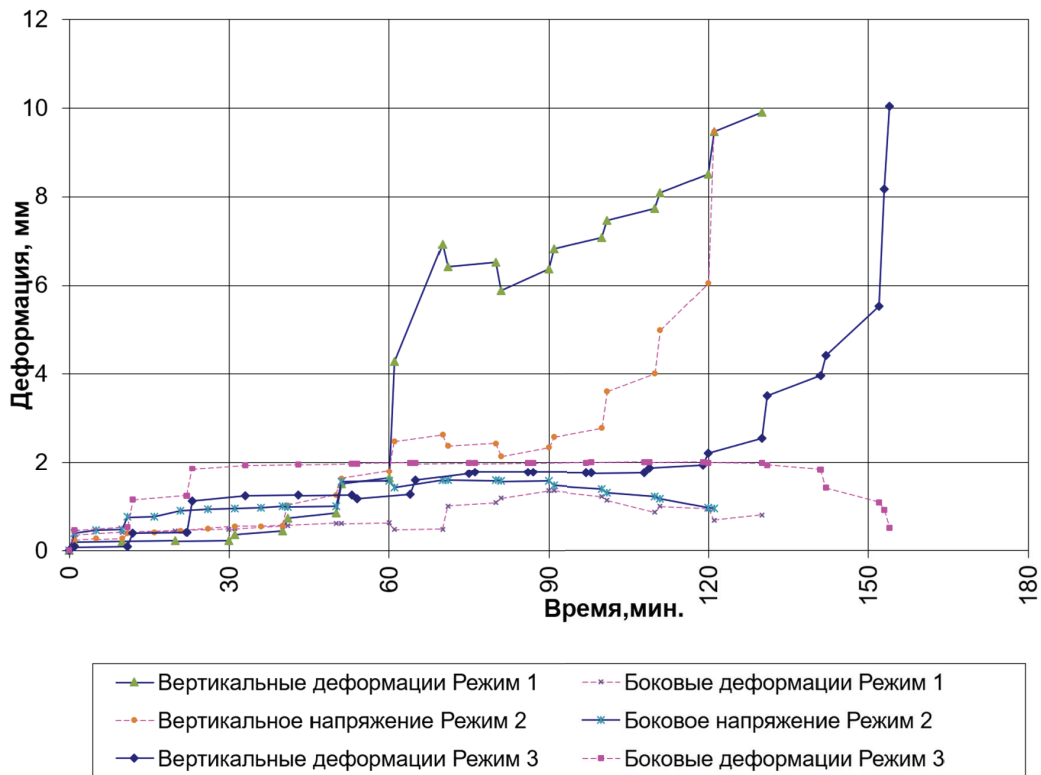


Рис. 4. Сводный график развития линейных деформаций в процессе блочного режимного трехосного нагружения

Fig. 4. Summary graph of the development of linear deformations during block triaxial loading

величина боковых напряжений, тем большее увеличение прочности происходит в случае наличия блоков разгрузки и повторного нагружения. При величине  $\sigma_m = 240$  кПа (режим 3) разница в величине разрушающей нагрузки между эталонным и режимным нагружениями составляет менее 5%. Зафиксированное упрочнение объясняется поворотом площадок главных напряжений на этапе разгрузки образца, а затем их возвращением к первоначальному положению на блоке 3 режимного нагружения. Кроме того, на этом этапе наблюдается перекомпоновка частиц в соответствующих направлениях, что вызывает схлопывание образовавшихся микротрещин в зоне 4 (рис. 5).

Модуль линейных деформаций на этапе повторного нагружения (блок 4 до величины  $\sigma_1 = 400$  кПа)

для режима 3 меньше модуля для блока 2 на этом же интервале напряжений в 1,3 раза, хотя для компрессионных испытаний модуль по второй ветви нагружения всегда выше. Вышеизложенное показывает, что влияние величины боковых давлений на развитие деформаций и прочность образцов недостаточно изучены.

Объемные деформации образца увеличиваются на всех блоках нагружения. На блоке всестороннего обжатия при увеличении среднего напряжения в 2 раза до  $\sigma_m = 160$  кПа объемные деформации увеличились в 1,067 раза, а при  $\sigma_m = 240$  кПа — в 1,98 раза. На первом блоке девиаторного нагружения прирост объемных деформаций составил 44, 25 и 6% по сравнению с объемными деформациями при всестороннем обжатии для режимов 1, 2 и 3 соответственно.



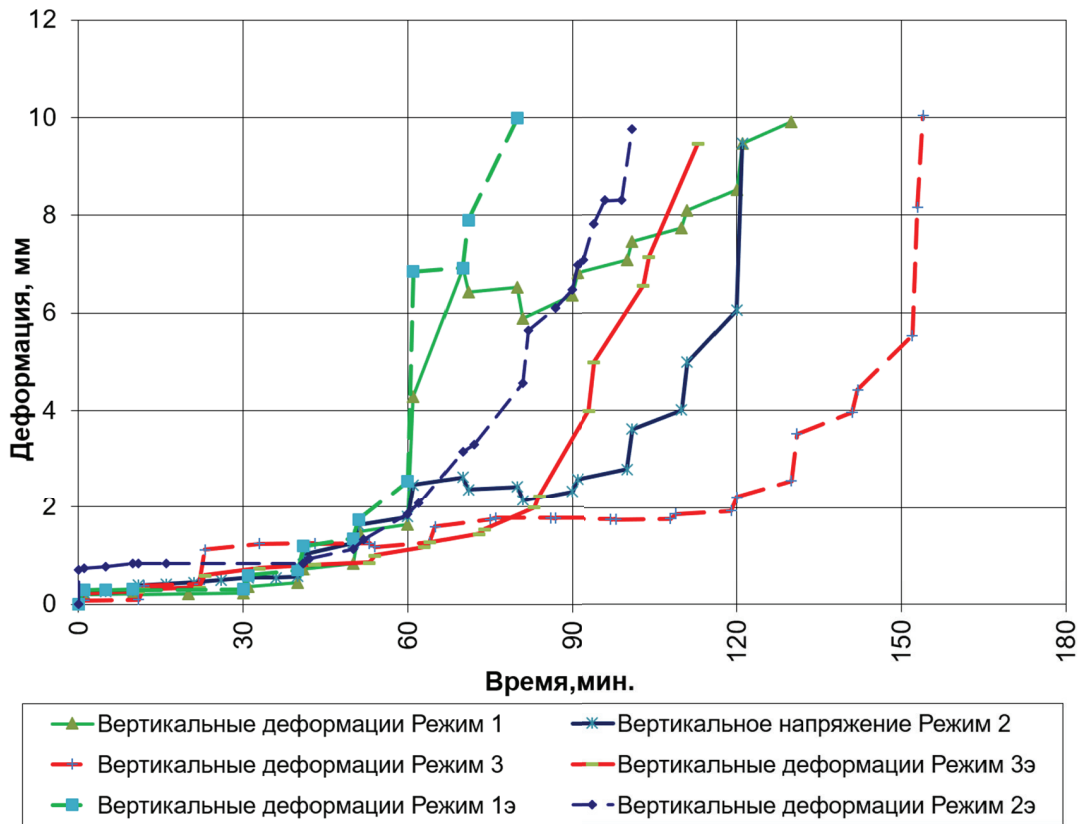


Рис. 5. Сводный график развития вертикальных линейных деформаций в процессе блочного режимного трехосного нагружения и эталонных образцов

Fig. 5. Summary graph of the development of vertical linear deformations during block triaxial loading and reference specimens

Это объясняется продолжающимися процессами уплотнения грунта в образце, начавшимися на этапе всестороннего обжатия, и дальнейшим формированием уплотненных зон у граней (рис. 6). Незначи-

тельный прирост  $\sigma_2 = \sigma_3 = 240$  кПа объясняется малой величиной девиатора. Блок девиаторной разгрузки вызвал незначительное уменьшение вертикальных деформаций и увеличение боковых, что в сумме привело к приросту объемных деформаций по сравнению с предыдущим блоком на 4,8 % для режима 1, 0,5 % для режима 2 и 0,4 % для режима 3.

Наличие уплотненных пирамид в образце установлено по результатам отбора проб грунта из характерных зон (рис. 6).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно результатам исследования можно сделать некоторые выводы.

При определении механических характеристик грунта следует учитывать НДС в массиве основания как в природном состоянии, так и в процессе строительства и эксплуатации.

Приборы трехосного сжатия с независимым нагружением наиболее достоверно позволяют создать сложное НДС в лабораторных условиях.

Влияние величины боковых напряжений на деформирование грунта изучено недостаточно и требует дальнейшей проработки.

Выявлены графические зависимости развития деформаций грунта в процессе трехосного блочного режимного нагружения.

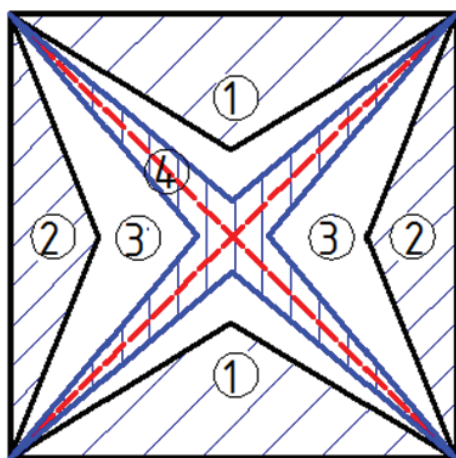


Рис. 6. Зоны различной плотности в образце: 1 — вертикальные уплотненные пирамиды; 2 — уплотненные пирамиды у боковых граней; 3 — зона предельного состояния; 4 — зона дилатансии

Fig. 6. Different density local zone layout under triaxial test: 1 — vertical consolidated pyramids; 2 — side consolidated pyramids; 3 — uniformed deflected state zone; 4 — dilatancy zone

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Travush V.I., Shulyat'ev O.A., Shulyat'ev S.O., Shakhraman'yan A.M., Kolotovichev Yu.A.* Analysis of the Results of Geotechnical Monitoring of "Lakhta Center" Tower // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2019. Vol. 56. Pp. 98–106. DOI: 10.1007/s11204-019-09576-9
2. *Yang C., Zhu Z., Xiao Y.* Bearing capacity of ring foundations on sand overlying clay // *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10. Issue 13. P. 4675. DOI: 10.3390/app10134675
3. *Petrukhin V.P.* Geotechnical problems of construction in Moscow — the largest metropolis of Russia // *Proceedings of the international. Conference — Geotechnical problems of megacities, GEOMOS2010*. 2010.
4. *Деменков П.А., Комолов В.В.* Исследование влияния строительства глубоких котлованов на оседания массива в плоской и пространственной постановке // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023. № 6. С. 97–110. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_6\_0\_97
5. *Song D., Chen Z., Dong L.* Monitoring analysis of influence of extra-large complex deep foundation pit on adjacent environment: a case study of Zhengzhou City, China // *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2020. Vol. 11. Issue 1. Pp. 2036–2057. DOI: 10.1080/19475705.2020.1823492
6. *Тер-Мартirosян З.Г., Тер-Мартirosян А.З., Ванина Ю.В.* Длительная осадка и несущая способность оснований и фундаментов вблизи вертикальной выемки при разных параметрах вязкости грунта // *Вестник МГСУ*. 2022. Т. 17. № 12. С. 1664–1676. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.12.1664-1676
7. *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. Pp. 5–11. DOI: 10.1007/s11204-016-9356-x
8. *Mirsayapov I.T., Koroleva I.V.* Clayey soils rheological model under triaxial regime loading // *Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development — Proceedings of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE 2015*. 2015. Pp. 3249–3254.
9. *Мирсаяпов И.Т., Шараф Х.М.А.* Несущая способность и осадки глинистых оснований при блочных циклических нагружениях // *Вестник МГСУ*. 2024. Т. 19. № 5. С. 789–799. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.5.789-799
10. *Тер-Мартirosян З.Г., Мирный А.Ю., Соболев Е.С.* Особенности определения параметров современных моделей грунтов при лабораторных испытаниях // *Геотехника*. 2016. № 1. С. 66–72.
11. *Тер-Мартirosян А.З., Сидоров В.В., Ермошина Л.Ю.* Определение и верификация параметров модели слабого грунта с учетом ползучести // *Вестник МГСУ*. 2018. Т. 13. № 6 (117). С. 697–708. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.6.697-708.
12. *Музейчик А.Ю., Болдырев Г.Г., Арефьев Д.В.* Идентификация параметров моделей грунтов // *Инженерная геология*. 2010. № 3. С. 38–43.
13. *Королева И.В.* Исследование влияния фактора времени на прочность глин // *Известия КГАСУ*. 2023. № 4 (66). С. 53–60. DOI: 0.52409/20731523\_2023\_4\_53. EDN EPCSQR.
14. *Zhou F., Shao Y., Ahmed M.A.I.* An Elastoplastic Constitutive Model for Unsaturated Soils Using the Suction Stress Variable // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2022. Vol. 59. Pp. 23–31.
15. *Lunев А.А., Katsarskii R.S.* Influence of Water Content and Degree of Compaction on the Mechanical Properties of Soils of Various Geneses // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2022. Vol. 59. Pp. 417–421.
16. *Mirsayapov I., Sharaf H.M.A.* Studies of Clay Soils Under Triaxial Block Cyclic Loading // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023. Pp. 2378–2386.
17. *Mirsayapov I., Aysin N.* Clay Soil Deformations Under Regime Long-Term Triaxial Compression Taking into Account Initial Defects // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2023. Vol. 291. Pp. 99–108.
18. *Wang Y., Wan Y., Wan E., Zhang X., Zhang B., Zhong Y.* The pore pressure and deformation behaviour of natural soft clay caused by long-term cyclic loads subjected to traffic loads // *Marine Georesources and Geotechnology*. 2021. Vol. 39. Issue 4. Pp. 398–407. DOI: 10.1080/1064119X.2019.1707915
19. *Ding Z., Jin J., Han T.-C.* Analysis of the zoning excavation monitoring data of a narrow and deep foundation pit in a soft soil area // *Journal of Geophysics and Engineering*. 2018. Vol. 15. Issue 4. P. 1231–1241.
20. *Mirsayapov I.T., Aysin N.N.* Influence of a deep construction pit on a technical condition of surrounding buildings // *Proceedings of the International Conference on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations*. 2019. Pp. 197–201.
21. *Yang H.Z., Wang L.A., Zhao J.C.* Analysis of the Effects of Rheology on the Band Structures of Periodic Pile Barriers in Cohesive Soils // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2023. Vol. 60. Pp. 7–14. DOI: 10.1007/s11204-023-09857-4

Поступила в редакцию 28 августа 2024 г.

Принята в доработанном виде 20 сентября 2024 г.

Одобрена для публикации 25 сентября 2024 г.

ОБ АВТОРЕ: **Ирина Владимировна Королева** — кандидат технических наук, доцент, кафедра оснований, фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии; **Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КГАСУ)**; 420043, г. Казань, Республика Татарстан, ул. Зеленая, д. 1; 2-110; SPIN-код: 3700-4070, Scopus: 54403079700, ORCID: 0000-0003-4475-988X; 79178711218@yandex.ru.

## REFERENCES

1. Travush V.I., Shulyat'ev O.A., Shulyat'ev S.O., Shakhraman'yan A.M., Kolotovichev Yu.A. Analysis of the Results of Geotechnical Monitoring of "Lakhta Center" Tower. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2019; 56:98-106. DOI: 10.1007/s11204-019-09576-9
2. Yang C., Zhu Z., Xiao Y. Bearing capacity of ring foundations on sand overlying clay. *Applied Sciences*. 2020; 10(13):4675. DOI: 10.3390/app10134675
3. Petrukhin V.P. Geotechnical problems of construction in Moscow — the largest metropolis of Russia. Proceedings of the international. *Conference — Geotechnical problems of megacities, GEOMOS2010*. 2010.
4. Demenkov P.A., Komolov V.V. Investigation of the influence of the construction of deep pits on the subsidence of the massif in a flat and spatial formulation. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2023; 6:97-110. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_6\_0\_97 (rus.).
5. Song D., Chen Z., Dong L. Monitoring analysis of influence of extra-large complex deep foundation pit on adjacent environment: a case study of Zhengzhou City, China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2020; 11(1):2036-2057. DOI: 10.1080/19475705.2020.1823492
6. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z., Vanina Yu.V. Long-term settlement and bearing capacity of foundations adjacent to vertical excavation at various parameters of soil viscosity. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(12):1664-1676. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.12.1664-1676 (rus.).
7. 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; 53(1):5-11. DOI: 10.1007/s11204-016-9356-x
8. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Clayey soils rheological model under triaxial regime loading. *Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development — Proceedings of the XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ECSMGE 2015*. 2015; 3249-3254.
9. Mirsayapov I.T., Sharaf H.M.A. Bearing capacity and settlement of clay foundations under block cyclic loading. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(5):789-799. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.5.789-799
10. Ter-Martirosyan Z.G., Mirnyj A.Yu., Sobolev Ye.S. Features of determining the parameters of modern soil models during laboratory tests. *Geotekhnika*. 2016; 1:66-72.
11. Ter-Martirosyan A.Z., Sidorov V.V., Ermoshina L.Yu. Determination and verification of parameters of the soft soil model with account for creep. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2018; 13(6):(117):697-708. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.6.697-708 (rus.).
12. Muizemnik A.Yu., Boldyrev G.G., Arefiev D.V. Identification of soil model parameters. *Engineering Geology*. 2010; 3:38-43. (rus.).
13. Koroleva I.V. Study of the time factor influence on the strength of clays. *News KSUAE*. 2023; 4(66):53-60. DOI: 10.52409/20731523\_2023\_4\_53. EDN EPCSQR. (rus.).
14. Zhou F., Shao Y., Ahmed M.A.I. An Elastoplastic Constitutive Model for Unsaturated Soils Using the Suction Stress Variable. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2022; 59:23-31.
15. Lunev A.A., Katsarskii R.S. Influence of Water Content and Degree of Compaction on the Mechanical Properties of Soils of Various Geneses. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2022; 59:417-421.
16. Mirsayapov I., Sharaf H.M.A. Studies of Clay Soils Under Triaxial Block Cyclic Loading. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023; 2378-2386.
17. Mirsayapov I., Aysin N. Clay Soil Deformations Under Regime Long-Term Triaxial Compression Taking into Account Initial Defects. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2023; 291:99-108.
18. Wang Y., Wan Y., Wan E., Zhang X., Zhang B., Zhong Y. The pore pressure and deformation behaviour of natural soft clay caused by long-term cyclic loads subjected to traffic loads. *Marine Georesources and Geotechnology*. 2021; 39(4):398-407. DOI: 10.1080/1064119X.2019.1707915
19. Ding Z., Jin J., Han T.-C. Analysis of the zoning excavation monitoring data of a narrow and deep foundation pit in a soft soil area. *Journal of Geophysics and Engineering*. 2018; 15(4):1231-1241.
20. Mirsayapov I.T., Aysin N.N. Influence of a deep construction pit on a technical condition of surrounding buildings. *Proceedings of the International Conference on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations*. 2019; 197-201.
21. Yang H.Z., Wang L.A., Zhao J.C. Analysis of the Effects of Rheology on the Band Structures of Periodic Pile Barriers in Cohesive Soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2023; 60:7-14. DOI: 10.1007/s11204-023-09857-4

*Received August 28, 2024.*

*Adopted in revised form on September 20, 2024.*

*Approved for publication on September 25, 2024.*

**BIONOTES:** **Irina V. Koroleva** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Bases, foundations, building dynamics and engineering geology; **Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**; 2-110, 1 Zelenaya st., Kazan, 420043, Republic of Tatarstan, Russian Federation; SPIN-code: 3700-4070, Scopus: 54403079700, ORCID: 0000-0003-4475-988X; 79178711218@yandex.ru.