



УДК: 624.131.43

DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.5

EDN: EYHIOT

Анализ поведения серых глин в условиях трехосного нагружения при разных значениях влажности и условиях нагружения

И.В. Королева¹, Х. Сапутра²

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

²Университет Пембангунан Джая, Южный Тангеранг, Индонезия

Аннотация: *Постановка задачи.* Безопасность зданий и сооружений зависит от надежности основания. При проектировании оснований фундаментов возникает вопрос о деформационных характеристиках грунтов. Наименее изученными на данный момент являются серые глины, так как в своем природном состоянии они залегают на значительных глубинах, и ранее не входили в сжимаемую толщу. Основной целью данного исследования является выявление особенностей деформирования серых глин нарушенной структуры в условиях трехосного нагружения при разных значениях влажности, величины выдержки в эксикаторе и наличия первой ступени нагружения. Для достижения цели решены следующие задачи: созданы идентичные образцы из глин нарушенной структуры; проведены трехосные экспериментальные исследования; определены предельная прочность образцов и деформационные характеристики; построены графические зависимости прочности, модуля деформации и модуля сдвига от влажности и режима нагружения.

Результаты. Экспериментальные исследования выполнены на образцах, изготовленных из грунта нарушенной структуры. Приняты три величины заданной влажности 38%, 40% и 42%. Первый этап нагружения моделирует наличие дефектов в грунте в виде плоскости разрушения. Основными результатами выполненных исследований являются новые данные о развитии вертикальных деформаций и модулей общих деформаций, а также модулей сдвига в условиях трехосного нагружения зависимости от разных значений влажности грунта, времени выдержки образцов в эксикаторе до начала испытаний, величины бокового давления и наличия первого этапа нагружения. Выполнен анализ результатов исследований и установлены некоторые закономерности поведения глинистых грунтов нарушенной структуры при трехосных статических нагружениях.

Выводы. Установление влияния влажности, времени выдержки, величины бокового давления и наличия первой ступени нагружения на развитие вертикальных деформаций и на изменения модулей общих деформаций и сдвига образца глинистого грунта в условиях трехосного сжатия является важной задачей для строительной отрасли.

Ключевые слова: глинистый грунт, трехосное сжатие, двухступенчатое нагружение, влажность, время выдержки

Для цитирования: Королева И.В., Сапутра Х. Анализ поведения серых глин в условиях трехосного нагружения при разных значениях влажности и условиях нагружения // Известия КГАСУ, 2024, № 4(70), с. 54-62, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.5, EDN: EYHIOT

Analysis of the behavior of gray clays under triaxial loading at different moisture values and loading conditions

I.V. Koroleva¹, H. Saputra²

¹Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

²Pembangunan Jaya University, South Tangerang, Indonesia

Abstract: Problem statement. The safety of buildings and structures depends on the reliability of the foundation. When designing foundation bases, the question of the deformation characteristics of soils arises. Gray clays are the least studied at the moment, since in their natural state they lie at significant depths, and were not previously included in the compressible thickness. The main goal of this study is to identify the features of the deformation of gray clays of a disturbed structure under triaxial loading at different values of humidity, the value of exposure in a desiccator and the presence of the first stage of loading. The main objective of this study is to identify the deformation features of gray clays with a damaged structure under triaxial loading at different humidity values, the length of exposure in a desiccator, and the presence of the first loading stage. To achieve this goal, the following tasks were solved: identical samples were created from clays with a damaged structure; triaxial experimental studies were conducted; the ultimate strength of the samples and deformation characteristics were determined; graphical dependences of strength, deformation modulus, and shear modulus on humidity and loading conditions were shown.

Results: Experimental studies were performed on samples, made of soil with a disturbed structure. Three values of specified humidity are adopted: 38%, 40% and 42%. The first stage of loading simulates the presence of soil defects in the form of a plane of destruction. The main results of the studies are new data on the development of vertical deformations and modules of general deformations, also shear modules under triaxial loading conditions depending on different values of soil moisture, the time of holding the samples in a desiccator before testing, the magnitude of lateral pressure and the presence of the first stage of loading. An analysis of the research results was performed and some patterns in the behavior of clay soils under triaxial static loading were established.

Conclusions: Establishing the influence of humidity, holding time, lateral pressure value and the presence of the first stage of loading on the development of vertical deformations and on changes in the moduli of general deformations and shear of a clay soil sample under triaxial compression conditions is an important task for the construction industry.

Keywords: clay soil, triaxial compression, two-stage loading, moisture, holding time.

For citation: Koroleva I.V., Saputra H. Analysis of the behavior of gray clays under triaxial loading at different moisture values and loading conditions // News of KSUAE, 2024, № 4(70), p. 54-62, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.5, EDN: EYHIOT

1. Введение

Надежно запроектированные основания являются гарантом безопасности зданий. Будучи одним из самых слабых строительных материалов, грунт часто играет решающую роль в разрушении конструкций, неравномерном оседании грунта, оползнях и нестабильности склонов, что приводит к ряду повреждений инфраструктуры и в некоторой степени к человеческим жертвам [1, 2]. Глинистые грунты полутвердой консистенции, такие как глина, являются проблематичными типами грунтов в строительстве [3, 4], поскольку такие грунты в целом имеют низкую прочность при сдвиге и высокую сжимаемость [4–6]. Физические свойства и деформируемость глинистых грунтов зависят от их возраста и генезиса [7, 8]. Влажность и наличие дефектов являются одними из факторов, влияющих на прочность грунта на сдвиг, а время влияет на напряжённо-деформированное состояние, где деформация и прочность изменяются в зависимости от нагрузки. В процессе проектирования предполагается, что физико-механические характеристики грунтового основания постоянны на протяжении всего жизненного цикла

здания. В действительности механические характеристики грунтов оснований нестабильны [9, 10] и непрерывно изменяются под воздействием техногенных [11–13], технологических [14, 15] и внешних силовых воздействий [16–18]. Рассмотрены особенности деформирования образцов при следующих значениях заданной влажности: 38%, 40% и 42%. Часть исследователей считают, что влажность, близкая к индексу пластичности является оптимальной для глин [19–21].

Испытания проведены на приборе трехосного сжатия, что лучше имитирует поведение грунта в полевых условиях [22].

Проблема изменения прочностных и деформационных характеристик серой глины, возникающая вследствие влияния таких факторов как изменение влажности и времени, в существующей литературе практически не обсуждается.

Целью данного исследования является анализ влияния влажности грунта, наличия первого этапа нагружения и дефектов структуры образца, вызванных данным нагружением, времени выдержки образца в эксикаторе до начала второго этапа двухступенчатого нагружения, величины бокового давления на второй ступени на особенности деформирования серых глин нарушенной структуры в условиях трехосного нагружения.

Задачи исследования:

- создание идентичных образцов из глин нарушенной структуры;
- проведение трехосных экспериментальных исследований;
- определение предельной прочности образцов и их деформационных характеристик;
- построение графических зависимостей прочности, модуля деформации и модуля сдвига от влажности и режима нагружения.

2. Материалы и методы

В рамках экспериментальных исследований запланировано лабораторное испытание серой глины нарушенной структуры при разных значениях влажности и истории нагружения. Грунт измельчался, увлажнялся и формировался в монолит методом послойного уплотнения [23]. Данная методика позволила получить идентичные образцы-близнецы без крупных пор и включений, наличие которых в грунтах ненарушенной структуры не позволяет воспринимать образцы как одинаковые.

Для создания двухступенчатого нагружения было решено проводить испытания в двух приборах трехосного сжатия. Для первой ступени использовался прибор кубической формы с высотой ребра 100 мм, а для второй – цилиндрической. Кубическое трехосное сжатие проводилось в приборе, разработанном в лаборатории кафедры Оснований, фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии Казанского государственного архитектурно-строительного университета, использовавшемся в предыдущих исследованиях [23] и позволившим установить форму разрушения [24] при статическом девиаторном нагружении ($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$). Данное испытание позволяло в процессе девиаторного нагружения и последующего разрушения по схеме «раздавливание» создать в образце плоскость сдвига [24, 25]. После разрушения из кубического образца грунта вырезался образец цилиндрической формы диаметром 38 мм и высотой 76 мм, помещался в герметичный эксикатор для выдержки от 0 до 5 суток, а затем подвергался трехосному нагружению в пневматическом стабилометре. Стабилометрические испытания были проведены при двух величинах бокового давления $\sigma_2 = \sigma_3 = 100$ кПа и $\sigma_2 = \sigma_3 = 300$ кПа. Следует отметить, что девиатор вертикальных напряжений ($\sigma_1 - \sigma_3$) прикладывался ступенчато 10% от $\sigma_2 = \sigma_3$ до разрушения образца. За критерий разрушения было принято достижение вертикальной деформации в размере 15% от первоначальной высоты образца.

Программой исследований было запланировано 4 серии испытаний.

Образцы первой и второй серий не испытывались в кубическом приборе трехосного сжатия, то есть не имели «плоскости разрушения», при этом в первой серии образец сразу после изготовления подвергался трехосному сжатию ($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$) в стабилометре, а во второй – выдерживался после изготовления 5 суток в эксикаторе, а потом помещался в цилиндрический прибор трехосного сжатия для нагружения.

В третьей и четвертой серии образцы грунта нарушенной структуры подвергались испытанию в трехосном кубическом приборе и приобретали дефект в виде «плоскости разрушения», затем вырезанные образцы третьей серии испытывались в стабилометре, а в четвертой серии образцы сначала выдерживались в эксикаторе 5 суток и потом подвергались трехосному нагружению в цилиндрическом приборе.

Опыты проводились с искусственно созданными образцами грунта нарушенной структуры со следующими характеристиками: число пластичности $I_p = 50,8$; влажность на границе текучести $W_L = 0,924$; влажность на границе раскатывания $W_p = 0,416$; показатель текучести $I_L = -0,07$ при влажности $W = 38\%$; $I_L = -0,03$ при $W = 40\%$ и $I_L = 0,007$ при $W = 42\%$ (показатели текучести характеризуют грунт природного сложения по ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация» как твердую и полутвердую глины).

Таким образом, основными факторами, влияющими на изменение деформаций, модуль общих деформаций и модуль сдвига образцов при нагружении в стабилометре являются величина бокового давления, влажность образца и наличие «плоскости разрушения», полученной в результате первой ступени нагружения в приборе кубической формы (серия 3 и 4).

3. Результаты и обсуждение

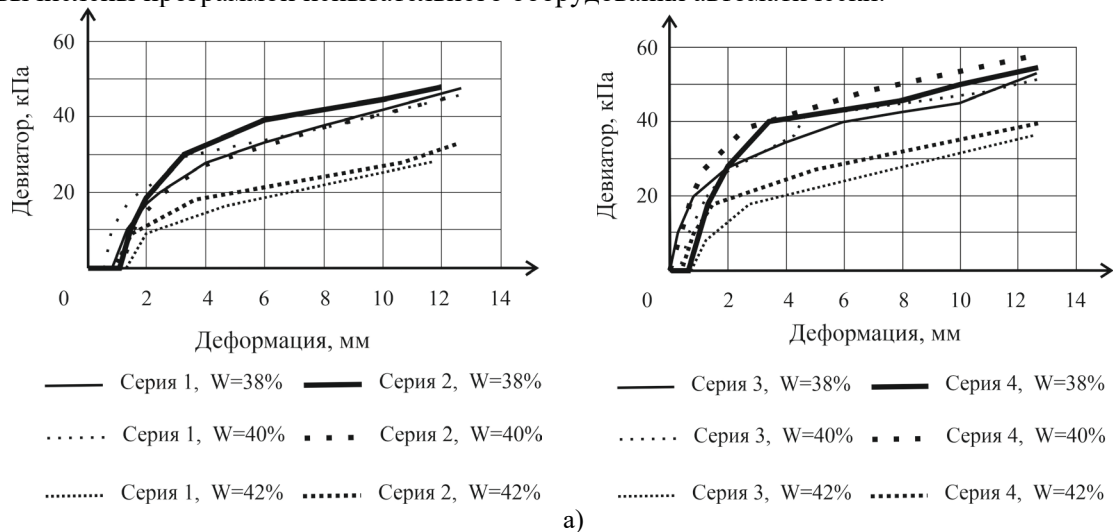
Образцы первой серии нагружения были приняты за «эталонные», так как в них отсутствовала первая ступень нагружения, и следовательно «плоскость разрушения», а также они не выдерживались в эксикаторе и были испытаны сразу после изготовления.

Простроенные графики развития деформаций (рис 1) позволили установить, что образцы серии 2 имеют меньшие деформации при той же величине девиатора вертикальных напряжений ($\sigma_1 - \sigma_3$), что и образцы серии 1. Это косвенно подтверждает восстановление коллоидных связей в образце нарушенной структуры во время выдержки его в эксикаторе.

Наличие плоскости разрушения в образце (рис. 1 серия 3 и 4) не увеличило скорость развития деформаций, а замедлило ее на первых этапах нагружения в 1,4 – 1,8 раза, а при дальнейшем нагружении на 28%. Это объясняется возникновением зон разной плотности в образце [23, 24], возникших на первой ступени нагружения, и процессами переориентации твердых частиц грунта при нагружении.

Отмечено, что в глинах полутвердой консистенции вертикальные деформации прирастают с большей скоростью, так как в данном случае пленочная вода выступает в роли «смазки» и способствует достижению предельных относительных деформаций, фиксирующих разрушение образца.

Данные о модуле общих деформаций и модуле сдвига, приведенные в статье, вычислены программой испытательного оборудования автоматически.



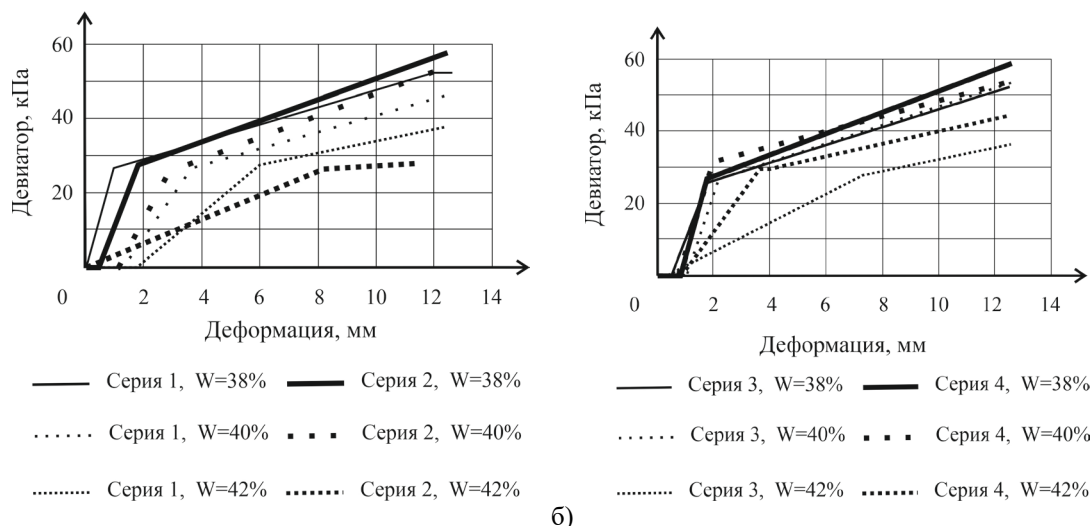


Рис. 1. Развитие деформаций образца грунта при разных условиях нагружения: а) при $\sigma_2 = \sigma_3 = 100$ кПа, б) при $\sigma_2 = \sigma_3 = 300$ кПа (иллюстрация авторов)
 Fig.1. Development of soil sample deformations under different loading conditions: а) at $\sigma_2 = \sigma_3 = 100$ kPa, б) at $\sigma_2 = \sigma_3 = 300$ kPa (illustration by the authors)

По результатам экспериментальных исследований построены графики роста вертикальных деформаций для каждой серии нагружения, изменения модуля общих деформаций E и модуля сдвига G в зависимости от влажности образца и наличия времени выдержки в эксикаторе, также графически была оценена прочность образца при разных значениях бокового давления.

Установлено, что влажность грунта играет важную роль – чем выше влажность, тем ниже вертикальное напряжение, которое выдерживает образец при испытании до разрушения (рис. 2). При подробном рассмотрении видно, что влажность, близкая к границе раскатывания, привела к увеличению прочности для образцов 4 серии при $\sigma_2 = \sigma_3 = 100$ кПа и не оказывает большого влияния при меньшей влажности в условиях $\sigma_2 = \sigma_3 = 300$ кПа, дальнейшее увеличение влажности приводит к снижению прочности на 20% и 10% для образцов 1 и 2 серии и на 15% и 5% для образцов, испытанных первой ступенью нагружения, соответственно. Следует отметить, что время выдержки в эксикаторе привело к ожидаемому увеличению прочности по сравнению с образцами без выдержки при влажности 42%. Наличие плоскости разрушения и зоны разрыхления вокруг нее [23, 24] не привело к прогнозируемому уменьшению прочности образцов, а наоборот, способствовало ее увеличению. Это вызвано доуплотнением грунта при загрузении в стабилометре.

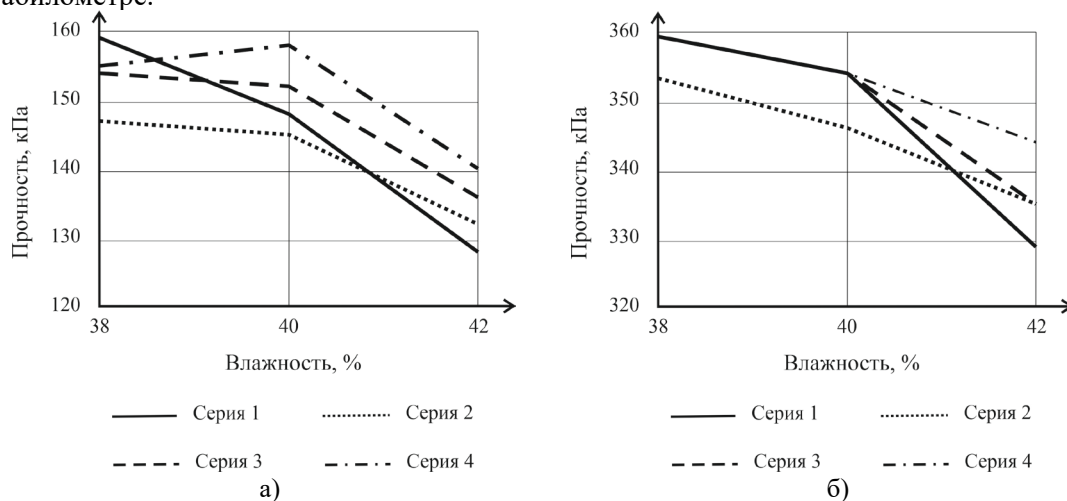


Рис. 2. Изменение величины прочности образца грунта от влажности при разных условиях нагружения: а) при $\sigma_2 = \sigma_3 = 100$ кПа, б) при $\sigma_2 = \sigma_3 = 300$ кПа (иллюстрация авторов)
 Fig.2. Change in the strength of a soil sample depending on humidity under different loading conditions: а) at $\sigma_2 = \sigma_3 = 100$ kPa, б) at $\sigma_2 = \sigma_3 = 300$ kPa (illustration by the authors)

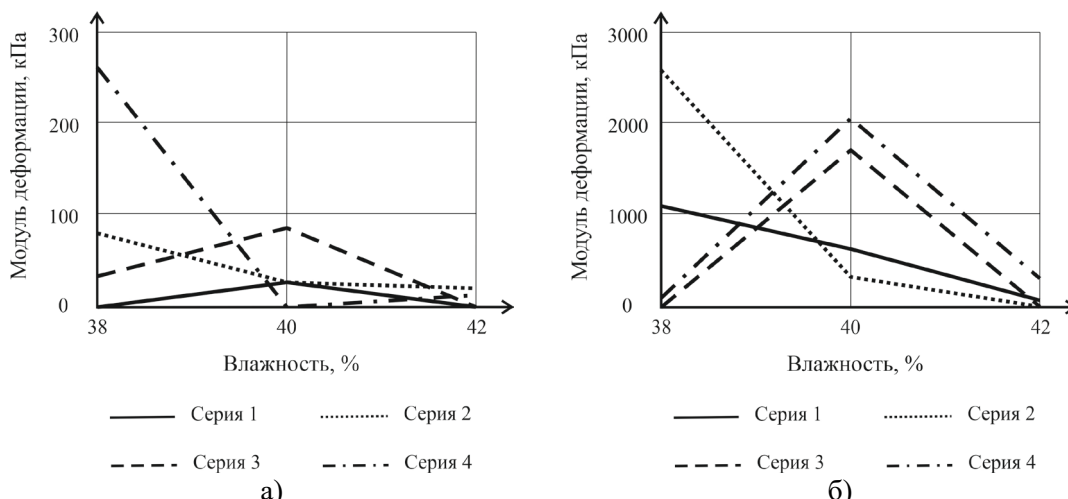


Рис. 3. Изменение величины модуля общих деформаций грунта от влажности при разных условиях нагружения: а) при $\sigma_2=\sigma_3=100$ кПа, б) при $\sigma_2=\sigma_3=300$ кПа (иллюстрация авторов)

Fig.3. Change in the value of the modulus of general soil deformations from moisture under different loading conditions: a) at $\sigma_2=\sigma_3=100$ kPa, b) at $\sigma_2=\sigma_3=300$ kPa (illustration by the authors)

На графике изменения модуля деформации при различных боковых нагрузках (рис. 3) показано, что модуль деформации возрастает при увеличении влажности до 40% при боковой нагрузке 100 кПа серии 1 и 3 (рис. 3а) и при $\sigma_2=\sigma_3=300$ кПа серии 3 и 4 (рис. 3б), но при этом его значение существенно снижается в случае увеличения влажности до границы раскатывания (41,6%) для всех образцов, кроме серии 4 при $\sigma_2=\sigma_3=100$ кПа. Время выдержки в эксикаторе при влажности 38% позволяет уменьшить деформируемость грунта для всех испытанных образцов, что связано с восстановлением структурных связей в грунте нарушенной структуры. Следует отметить, что при боковой нагрузке 300 кПа (рис. 3б) модуль деформации в образцах «без разрушения» уменьшается с увеличением влажности с 38% до 42%. В другом случае для образцов «с разрушением», модуль деформации увеличивается при влажности 40%, при дальнейшем увеличении влажности модуль деформации уменьшается. Данные результаты позволяют сделать вывод о существенном влиянии влажности на деформационные свойства глинистого грунта нарушенной структуры.

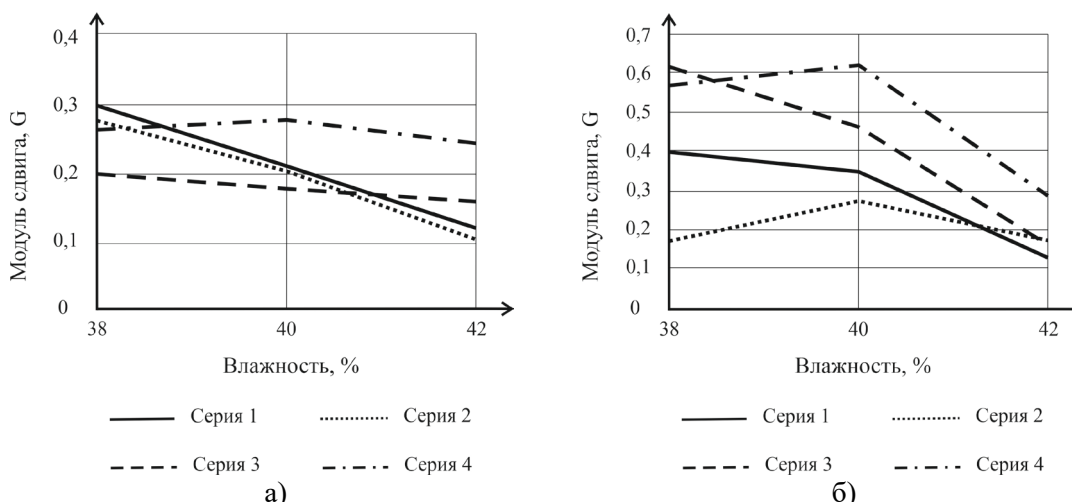


Рис. 4. Изменение величины модуля сдвига G грунта от влажности при разных условиях нагружения: а) при $\sigma_2=\sigma_3=100$ кПа, б) при $\sigma_2=\sigma_3=300$ кПа (иллюстрация авторов)

Fig.4. Change in the value of the soil shear modulus G from moisture content under different loading conditions: a) at $\sigma_2=\sigma_3=100$ kPa, b) at $\sigma_2=\sigma_3=300$ kPa (illustration by the authors)

Модуль сдвига G характеризует способность грунта сопротивляться сдвиговой деформации и определяется по результатам стандартных трехосных испытаний. Величина модуля сдвига грунта нарушенной структуры зависит от влажности, наличия первой из двух ступеней нагружения и выдержки после нее. Анализируя полученные графические зависимости (рис. 4), можно отметить, что величина модуля сдвига G снижается при увеличении влажности с 40% до 42% для всех испытаний, что объясняется возникновением пленки воды, снижающей силу трения между глинистыми частицами. Сопротивление образцов сдвигу выше в случае $\sigma_2 = \sigma_3 = 300$ кПа после двухступенчатых испытаний. «Отдых» в эксикаторе позволил улучшить сопротивление сдвигу до 35% (серия 4, рис. 4) вследствие упрочнения, вызванного восстановлением водно-коллоидных связей в зоне разуплотнения. Образцы второй серии не имели зоны разрыхления, приобретаемой в ходе первой ступени нагружения, поэтому свободная вода сыграла роль смазки и уменьшила сдвиговую прочность.

Вопросы структурной прочности глин были изучены в работах [26, 27], полученные авторами результаты не противоречат данным исследованиям.

4. Заключение

1. Проведены исследования деформационных характеристик глин нарушенной структуры в условиях двухступенчатого трехосного нагружения. Получены графические зависимости изменения модуля деформации E , модуля сдвига G и величины разрушающей нагрузки в зависимости от влажности грунта, наличия первого этапа нагружения и дефектов структуры образца, вызванных данным нагружением, времени выдержки образца в эксикаторе до начала второго этапа двухступенчатого нагружения, величины бокового давления на второй ступени. Проанализированы графики развития деформаций для каждой серии нагружения.

2. Установлено, что влажность является основным фактором, влияющим на деформационные характеристики грунта. Увеличение влажности грунта нарушенной структуры до 42% практически всегда приводит к уменьшению модуля деформации E и модуля сдвига G , а также к увеличению скорости прироста вертикальных деформаций.

3. В условиях двухступенчатого нагружения, особенно в случае выдержки в эксикаторе (серия 4), грунт показывает более высокие деформационные характеристики.

4. Вода в грунте нарушенной структуры выполняет двойную роль: в разрыхленной зоне она способствует восстановлению водно-коллоидных связей и увеличивает модуль деформаций E и модуль сдвига G , а в грунте без разрыхления – выполняет роль «смазки» и ускоряет процессы деформирования.

Список литературы / References

1. Sadono K.W. et all. Analisis Geologi Teknik Pada Kegagalan Bendung Cipamingkis, Bogor, Provinsi Jawa Barat // Seminar Nasional Kebumihan. 2017. № September (10). P. 190–201.
2. Houston Sandra L. et all. Geotechnical Engineering Practice for Collapsible Soils // Geotechnical and Geological Engineering. 2001. № 3–4 (19). P. 333–355.
3. Mohamad N.O., Razali C.E., Hadi A.A.A., Som P.P. Challenges in Construction over Soft Soil - Case Studies in Malaysia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. № 1 (136).
4. Ural N. The Importance of Clay in Geotechnical Engineering // InTech, 2018. P. 83–102.
5. Uge B.U. Performance, Problems and Remedial Measures for Roads Constructed on Expansive Soil in Ethiopia – A Review // Civil and Environmental Research. 2017. № 5 (9). P. 28–37.
6. Giao P.H. et all. Geological-geotechnical correlation of a deltaic subsoil profile and characterization of its uppermost soft marine clay deposit with reference to infrastructure development in the Saigon-Dong Nai delta, Vietnam // Bull Eng Geol Environ. 2023. № 82, 441. <https://doi.org/10.1007/s10064-023-03461-4>.
7. Sharafutdinov R.F. Clay soil stiffness under consolidated isotropic drained triaxial tests // Magazine of Civil Engineering. 2023. 121(5). Article no. 12106. DOI: 10.34910/MCE.121.6.

8. 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. Vol.59. P. 417–421.
9. Elhassan A.A. et al. Effect of Clay Mineral Content on Soil Strength Parameters. // *Alexand. Eng. J.* 2023. 63. P. 475–485.
10. Malizia J.P., Shakoor A. Effect of Water Content and Density on Strength and Deformation Behavior of Clay Soils // *Eng. Geol.* 2018. 244. P. 125–131.
11. Bian H., Liu S., Cai G., Chu Y. Influence of diesel pollution on the physical properties of soils // *Jpn. Geotech. Soc. Spec. Publ.* 2016. 2. P. 552–555. <https://doi.org/10.3208/jgssp.CHN-16>.
12. Cabello-Suarez L.Y. et al. Impact of diesel contamination on the compressibility of a clayey soil // In: 2017 XIII international engineering congress (CONIIN). IEEE, Santiago de Queretaro, Mexico. 2017. P. 1–5.
13. Chen H., Shan W., He X. Influence of Diesel Contamination on Engineering Properties of Soil and Its Mechanism // In: Zhou A, Tao J, Gu X, Hu L (eds) *Proceedings of GeoShanghai 2018 international conference: fundamentals of soil behaviours.* – Springer Singapore, Singapore. 2018. P. 620–627.
14. Mirsayapov I.T., Aysin N.N. Influence of a deep construction pit on a technical condition of surrounding buildings // *Proceedings of the Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations* In: *Proceedings of the International Conference on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations*, 6–8 February. – St.-Petersburg, Russia, 2019. P. 197–201.
15. 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, no. 1. P. 2036–2057.
16. Mirsayapov I., Sharaf H.M.A. Studies of Clay Soils Under Triaxial Block Cyclic Loading // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023. 574 LNNS. P. 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. V. 291. P. 99–108.
18. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Influence of initial defects on the strength of clay soil under triaxial compression // In book: *Smart Geotechnics for Smart Societies*. 2023. P. 417–421. <https://doi.org/10.1201/9781003299127-45>.
19. Musbah A., Mohammed M. and Alfgia A. The Effect of Mineral Composition and Quantity of Fines on the Atterberg Limits and Compaction Characteristics of Soils // *Open Journal of Civil Engineering*. 2024. 14. P. 258–276. <https://doi.org/10.4236/ojce.2024.142014>.
20. O’Kelly, B.C. Theory of liquid and plastic limits for fine soils, methods of determination and outlook // *Geotech. Res.* 2023. 40. P. 1–9.
21. Haigh S.K.; Vardanega P.J.; Bolton M.D. The plastic limit of clays // *Géotechnique*. 2013. 63. P. 435–440.
22. Leong E.C., Nyunt T.T., Rahardjo H. Triaxial Testing of Unsaturated Soils // In: Laloui, L., Ferrari, A. (eds) *Multiphysical Testing of Soils and Shales*. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Berlin, Heidelberg. 2013. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32492-5_3.
23. Мирсяпов И.Т., Королева И.В. Физико-механические свойства глинистых грунтов при длительном трехосном сжатии // *Вестник гражданских инженеров*. 2011. №1(26). С. 82–87 [Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Physicomechanical properties of clay soil in the conditions of a spatial tension // *Bulletin of Civil Engineers*. 2011. №1(26). P. 82–87].
24. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Prediction of deformations of foundation beds with a consideration of long-term nonlinear soil deformation // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2011. Vol. 48. P. 148–157. <https://doi.org/10.1007/s11204-011-9142-8>.
25. 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. P. 5–11. <https://doi.org/10.1007/s11204-0169356-x>.
26. Meng, F., Chen, R., Kang, X. et al. e-p curve-based structural parameter for assessing clayey soil structure disturbance // Bull. Eng. Geol. Environ. 2020. 79. P. 4387–4398. <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01833-8>.
27. Aiwu Yang, Shaopeng Yang, Jing Zhang & Xianwei Zhang. Effect of thixotropy on mechanical properties of soft clay with different initial disturbance degrees // International Journal of Geotechnical Engineering. 2023. 17. P. 1–12. DOI: 10.1080/19386362.2023.2246231.

Информация об авторах

Королева Ирина Владимировна, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: ofdsiig.koroleva@bk.ru, ORCID 0000-0003-4475-988X

Сапутра Хендра, лектор, инженерный факультет, Университет Пембангунан Джая, Южный Тангеранг, Индонезия

E-mail: hendra.saputra@upj.ac.id

Information about the authors

Irina V. Koroleva, Candidate of technical sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: ofdsiig.koroleva@bk.ru, ORCID 0000-0003-4475-988X

Hendra Saputra, Lecturer, Faculty of Engineering, Pembangunan Jaya University, South Tangerang, Indonesia

E-mail: hendra.saputra@upj.ac.id