

Тарасеева, Н.И. Методика научного поиска и лабораторных способов определения физико-механических параметров дисперсного грунта / Н.И. Тарасеева, Ю.В. Грачева, В.А. Моршанкин // *Construction and Geotechnics*. – 2025. – Т. 16, № 3. – С. 78–88. DOI: 10.15593/2224-9826/2025.3.06

Taraseeva N.I., Gracheva Yu.V., Morshankin V.A. The methodology of scientific research and laboratory methods for determining the physico-mechanical parameters of dispersed soil. *Construction and Geotechnics*. 2025. Vol. 16. No. 3. Pp. 78-88. DOI: 10.15593/2224-9826/2025.3.06

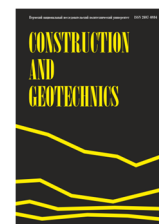


**пермский
политех**

CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 16, № 3, 2025

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2025.3.06

УДК 624.131

МЕТОДИКА НАУЧНОГО ПОИСКА И ЛАБОРАТОРНЫХ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСНОГО ГРУНТА

Н.И. Тарасеева, Ю.В. Грачева, В.А. Моршанкин

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
Пенза, Российская Федерация

О СТАТЬЕ

Получена: 20 марта 2025
Одобрена: 29 августа 2025
Принята к публикации:
10 сентября 2025

Ключевые слова:

геотехника, дисперсный грунт,
физические характеристики,
деформационные характеристики,
прочностные характеристики,
параметры консолидации,
лабораторные испытания,
метод трехосного сжатия,
модуль деформации,
секущий модуль деформации,
коэффициент Пуассона.

АННОТАЦИЯ

Влияние различных факторов, таких как природно-климатические условия территории изысканий, изменчивость инженерно-геологических свойств по глубине заложения грунтовых слоев и в плане территории застройки, в том числе обводненность, неоднородность структуры, делают определение характеристик дисперсных горных пород четвертичных отложений многофакторной и сложной задачей. Цель работы – всесторонний анализ инженерно-геологических и геотехнических исследований, выполненных на образцах ненарушенной или нарушенной структуры, что позволяет оценить не только качество грунта, но и перспективы изменения свойств геологического материала при изменении параметров окружающей среды (влажности, нагрузки и др.). Показана актуальность применения синтеза методики научного поиска и лабораторных методов определения физико-механических параметров дисперсного грунта как наиболее распространенной горной породы при решении практических задач выбора основания на стадиях проектирования конструкций здания или сооружения по первой группе предельных состояний (по несущей способности). Для достижения поставленной цели смоделировано поведение грунтовой среды в определенных условиях, воспроизведено природное напряженно-деформированное состояние в массиве с ожидаемой нагрузкой от объекта строительства. По результатам проведенных исследований описаны математические модели поведения и установлены зависимости относительной деформации, коэффициента пористости при заданном напряжении. Применение современного оборудования позволило установить зависимости характеристик прочности дисперсных грунтов от условия прочности. Выполненный всесторонний анализ результатов исследования показал важность полученных данных при решении инженерных задач, позволил оценить не только качество, но и перспективы изменения свойств грунтового основания при изменении влажности и нагрузки.

© **Тарасеева Нелли Ивановна** – кандидат технических наук, доцент; e-mail: tnelly77@mail.ru
Грачева Юлия Вячеславовна – кандидат технических наук, доцент; e-mail: gracheva_jv@mail.ru
Моршанкин Владислав Алексеевич – магистрант; e-mail: vladmorhak@bk.ru

Nelli I. Taraseeva – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor; e-mail: tnelly77@mail.ru
Yulia V. Gracheva – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor; e-mail: gracheva_jv@mail.ru
Vladislav A. Morshankin – Student; e-mail: tnelly77@mail.ru



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

THE METHODOLOGY OF SCIENTIFIC RESEARCH AND LABORATORY METHODS FOR DETERMINING THE PHYSICO-MECHANICAL PARAMETERS OF DISPERSED SOIL

N.I. Taraseeva, Yu.V. Gracheva, V.A. Morshankin

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 20 March 2025
Approved: 29 August 2025
Accepted for publication:
10 September 2025

Keywords:

geotechnics, dispersed soil,
physical characteristics,
deformation characteristics,
strength characteristics,
consolidation parameters,
laboratory tests, triaxial compression
method, deformation modulus,
secant deformation modulus,
Poisson's ratio.

ABSTRACT

The influence of various factors, such as the natural and climatic conditions of the survey area, the variability of engineering and geological properties in terms of the depth of the ground layers and in terms of the building area, including waterlogging, heterogeneity of the structure, makes determining the characteristics of dispersed rocks of Quaternary deposits a multifactorial and complex task. The purpose of the work is a comprehensive analysis of engineering, geological and geotechnical studies performed on samples of undisturbed or disturbed structures, which makes it possible to assess not only the quality of the soil, but also the prospects for changing the properties of the geological material with changes in environmental parameters (humidity, load, etc.). The article shows the relevance of using the synthesis of scientific research methods and laboratory methods for determining the physico-mechanical parameters of dispersed soil as the most common rock in solving practical problems of choosing a base at the design stages of building structures or structures according to the first group of limiting conditions (load-bearing capacity). To achieve this goal, the behavior of the soil environment under certain conditions is modeled, and the natural stress-strain state in the array with the expected load from the construction site is reproduced. Based on the results of the conducted research, mathematical models of behavior are described and dependences of relative deformation and porosity coefficient at a given stress are established. The use of modern equipment has made it possible to establish the dependence of the strength characteristics of dispersed soils on the strength conditions. A comprehensive analysis of the research results showed the importance of the data obtained in solving engineering problems, allowed us to assess not only the quality, but also the prospects for changing the properties of the soil base with changes in humidity and load.

Введение

При строительстве или реконструкции необходимо осуществлять обследование грунтового основания с учетом инженерно-геологических условий [1; 2] с целью обеспечения устойчивости откосов насыпей и котлованов, прогнозирования долговечности зданий и сооружений, уделяя особое внимание основаниям и фундаментам. Для расчетов и проектирования рассматривается совместная работа системы «основание – грунт», позволяющая оценить напряженно-деформированное состояние, возникающее при взаимодействии основания и сооружения [3; 4]. Для исследования механических свойств используются полевые и лабораторные методы, которые имеют определенные особенности, преимущества и недостатки. Так, полевые методы позволяют рассматривать фактическое напряженное состояние грунтового массива с наименьшим нарушением природной структуры грунта, можно сказать, «в естественном состоянии». Лабораторные исследования дают возможность моделирования работы грунта при возведении сооружения [5; 6], но при этом происходит потеря данных о природном состоянии [6–8]. Недооценка свойств грунтов приводит к повышенным экономическим затратам и неэффективному использованию основания.

Положения теории фильтрационной консолидации (фк) сводятся к следующему: скелет грунта линейно-деформируемый, а значит, деформируется мгновенно после приложения к нему нагрузки и вязкими свойствами не обладает; структурной прочностью грунт не

обладает, и в первый момент давление полностью передается на воду; грунт полностью водонасыщен и скелетообъемно несжимаем. Знание показателей фильтрационных свойств (фс) позволяет оценить способность горной породы основания пропускать жидкость (водопроницаемость).

Как известно, к фильтрационным свойствам грунтов относят их способность пропускать воду при действии силы тяжести, внешнего давления, капиллярных сил, электрического тока, температурных градиентов, испарения, промерзания грунта, давления газов и паров. Наиболее ярко проницаемость проявляется в крупнообломочных и песчаных грунтах. В глинистых грунтах проницаемость очень мала, так как большая часть воды в порах находится в связанном состоянии со скелетообразующими составляющими грунта за счет действия водно-коллоидных (коагуляционных и конденсационных) связей, которые обусловлены силами взаимодействия между минеральными частицами, пленками воды и коллоидными оболочками. При увеличении влажности эти связи уменьшаются почти до нуля, а при увеличении нагрузки движение воды по порам становится более заметным. В то же время исследования [9] показывают, что вода в глинах начинает двигаться только после того, как будет достигнут некоторый градиент напора, называемый начальным градиентом или градиентом порога фильтрации. Природное или техногенное увеличение влажности приводит к изменению водно-коллоидных (вязкопластичных, мягких, обратимых) связей [10]. В частности, к уменьшению последних, так как увеличение толщины пленки уменьшает молекулярное притяжение диполей связанной воды, что влияет на структурную прочность (p_{str}), позволяющую скелету грунта выдерживать некоторую нагрузку до начала разрушения его каркаса.

Актуальность представленных в данной работе исследований обусловлена историческим местоположением Пензенской области на ее территории древнего моря, соответственно четвертичные отложения являются на большей части основанием для объектов строительной и транспортной инфраструктуры. В геологическом строении участка проектируемого строительства, как правило, принимают участие четвертичные морские (mQ), аллювиальные (aQ) и ледниковые (gQ / glQ) отложения, отложения маастрихтского яруса верхнего отдела меловой системы (K_2m), выветрелые в верхней части [$eKZ(K_2m)$], которые в основной массе представлены глинисто-песчаными отложениями и органогенными осадками. Изучение поведения подобных грунтов при изменении физико-механических характеристик [11–13] представляет собой научный интерес и имеет практическое значение при проектировании основания здания или сооружения [14; 15] по первой группе предельных состояний (по несущей способности).

Деформации грунтового массива во времени

Для анализа осадки грунтового основания проектируемого или реконструируемого объекта в результате уплотнения грунта под действием нагрузок проводятся консолидационные испытания [16] на компрессионном приборе методом компрессионного сжатия по методике путем нагружения полностью водонасыщенного образца вертикальной нагрузкой при условиях невозможности бокового расширения грунта с фиксацией вертикальной деформации во времени (рис. 1, 2). Получены параметры консолидации: коэффициенты фильтрационной c_v и вторичной консолидации c_α . Испытания проводятся.

Научно-исследовательское и практическое значение испытания грунта в подобном состоянии обусловлено необходимостью исследования поведения грунта в условиях при-

родного и техногенного воздействия (к примеру, подтопления), поскольку важно представлять изменение деформационно-прочностных свойств грунтов и их работы как оснований сооружений при изменении внешних воздействий во времени, т.е. на протяжении всего жизненного цикла объекта.

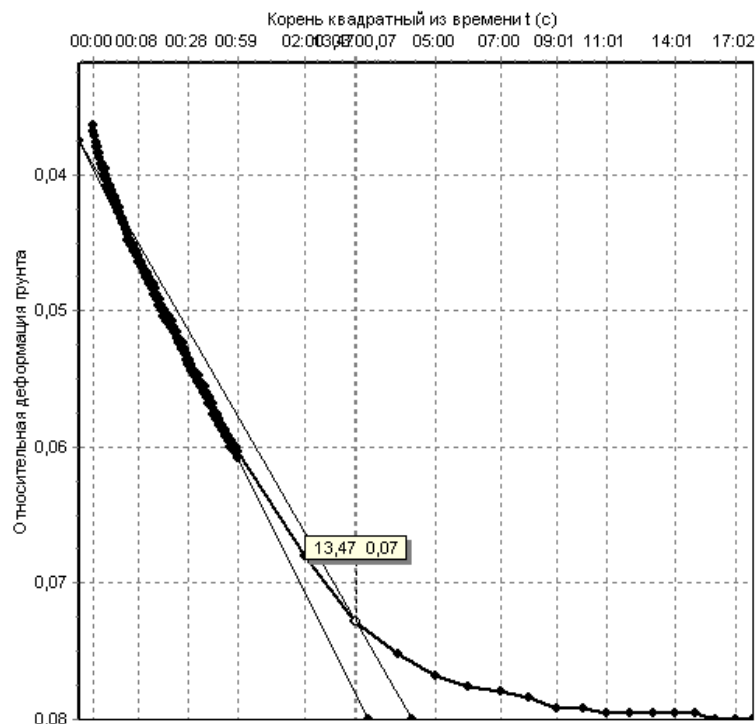


Рис. 1. Зависимость относительной деформации от корня квадратного из времени $\varepsilon = f(\sqrt{t})$ при заданном напряжении

Fig. 1. Dependence of the relative strain on the square root of time $\varepsilon = f(\sqrt{t})$ at a given stress

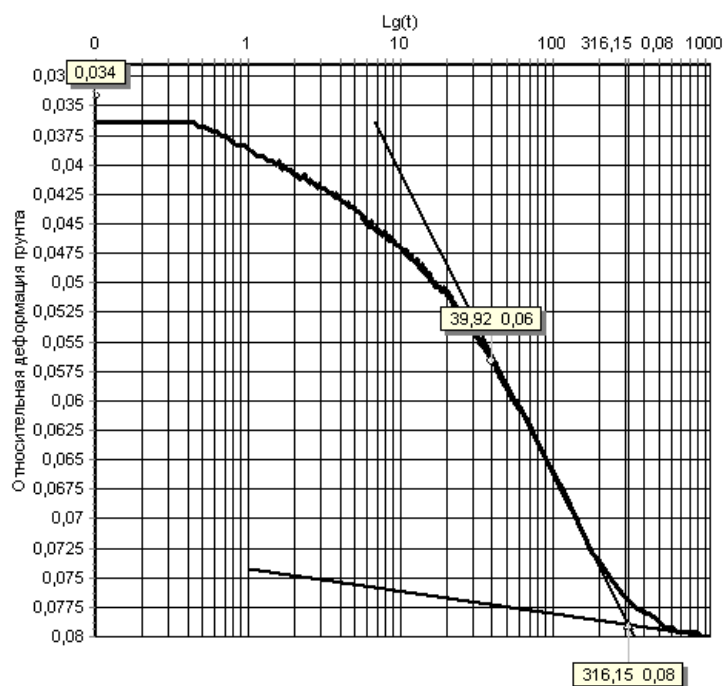


Рис. 2. Зависимость деформации от десятичного логарифма времени $\varepsilon = f(\lg t)$ при заданном напряжении

Fig. 2. Dependence of strain on the decimal logarithm of time $\varepsilon = f(\lg t)$ at a given voltage

Испытание проводилось в соответствии с ГОСТ 12248.4 по схеме: вертикальная нагрузка создавалась в одну ступень $\sigma=200$ кПа при стабилизации деформации $\varepsilon=0,01$ мм за $t=12$ ч. Результаты испытания обрабатывали по методике, описанной в ГОСТ 12248.4, и графически отображали в виде зависимости относительной вертикальной деформации от корня квадратного во времени при фиксированной нагрузке (см. рис. 1, табл. 1) или зависимости относительной вертикальной деформации от десятичного логарифма времени при фиксированной нагрузке (см. рис. 2, табл. 2).

Таблица 1

Параметры консолидации грунта, полученные лабораторным путем

Table 1

Soil consolidation parameters obtained in the laboratory

$\sqrt{t_{90}}$	Δh начальная, первичной, мм	Δh конечная, первичной, мм	Коэффициент пористости, доли ед.			Коэффициент сжимаемости, МПа ⁻¹	Коэффициент фильтрации, м/сут	Коэффициент фильтрационной консолидации см ² /мин
			начальный	конечный	ср. знач.			
00:13:28	1,120	1,520	0,798	0,768	0,783	0,0800000	1,05E-07	0,0067308

Методика обработки графика зависимости относительной деформации от десятичного логарифма времени при заданном напряжении (рис. 2) позволяет установить как значение коэффициента фильтрационной c_v , так и вторичной консолидации c_α (см. табл. 1).

Таблица 2

Параметры консолидации грунта, полученные путем обработка кривой
консолидации логарифмическим методом

Table 2

Soil consolidation parameters obtained by processing the consolidation
curve using the logarithmic method

ε_{50} , мм	ε_{100} , мм	t_{50} , мин	t_{100} , мин	d_0 , мм	Δh начальная, вторичной, мм	Δh конечная, вторичной, мм	Коэффициент вторичной консолидации	Коэффициент фильтрационной консолидации, см ² /мин
0,057	0,079	99	316	0,034	1,414	2,000	0,0018884	0,0071060

Лабораторные методы исследования параметров фильтрационной консолидации имеют важное не только научное, но и практическое значение, поскольку позволяют определить коэффициент фильтрации, который используется при решении инженерных задач [2; 10; 17], таких как расчет осадки фундамента здания или насыпей земляного полотна во времени, также при оценке скорости фильтрации воды через тело земляных плотин, основание гидротехнических сооружений, фильтрационные завесы хранилищ жидких стоков и т.д. Большое количество объектов строительства и их несущих элементов взаимодействует не только с поверхностной, но и грунтовой влагой.

Для определения характеристик деформируемости, таких как коэффициент сжимаемости, модуль деформации для ветвей первичного и повторного нагружения, по методике ГОСТ 12248.4 проводили испытание грунта методом компрессионного сжатия. Стадию рекомпрессии создали в одну ступень нагружения бытовым давлением, равным 70 кПа; стадию консолидации – прикладывая нормальное давление к образцу, начиная с 50 до 400 кПа, с ожиданием стабилизации деформаций в 0,01 мм в течение 6 ч на каждой ступени. Характеристики напряженно-деформированного состояния определяли, задав ветвь первичного нагружения, далее – построив по результатам лабораторных исследований ветви разгрузки и повторного нагружения (рис. 3 и 4).

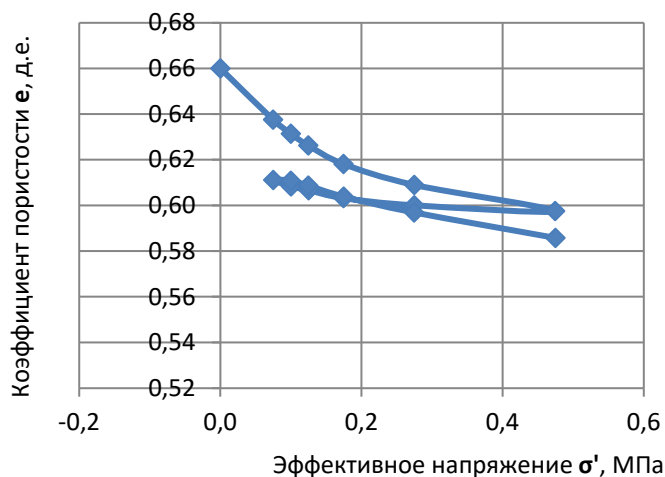


Рис. 3. Зависимость коэффициента пористости от эффективного напряжения

Fig. 3. Dependence of the porosity coefficient on the effective voltage

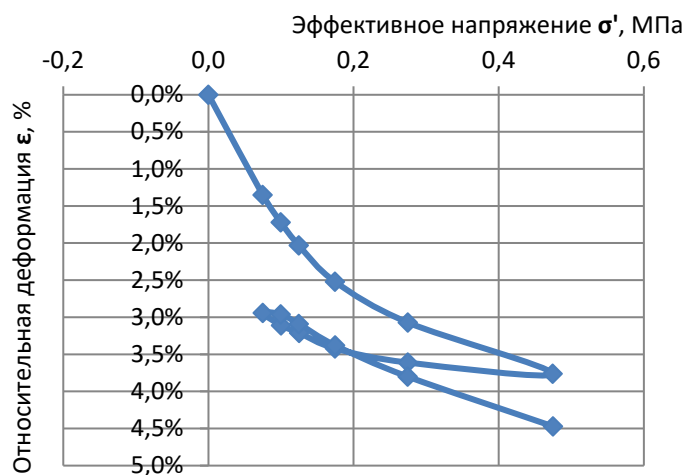


Рис. 4. Зависимость относительной деформации от эффективного напряжения

Fig. 4. Dependence of the relative strain on the effective stress

Для определения модуля повторного нагружения в ходе испытания построена ветвь первичного нагружения, прикладывали нагрузку ступенями, начиная с 50 до 400 кПа, далее разгружали образец ступенями, уменьшая давление в обратном порядке – от 400 до 0 кПа, и вновь нагружали до максимального значения 400 кПа. Разгрузка образца грунта до заданного давления позволяет определить коэффициент сжимаемости и упругий модуль

деформации на ветви вторичного нагружения, в частности, одометрический компрессионный модуль деформации вычисляется как тангенс угла наклона кривой напряжение – деформация ($E_{oed} = 7,37$ МПа и $E_{ur} = 17$ МПа). Важно отметить, что величина давления разгрузки зависит, от веса грунта, изъятая при разработке котлованов.

Более точные результаты дает определение секущего модуля упругости E_{50} при 50 % максимальном девиаторе напряжений ($\sigma_1 - \sigma_3$) при разрушении образца и модуля упругости E_{oed} из трехосных испытаний (рис. 5) в приборах осесимметричного трехосного сжатия в соответствии с ГОСТ 12248.3. Модуль упругости E_{oed} в стабилометре оказывается больше компрессионного модуля деформации в несколько раз. Это объясняется различным видом напряженно-деформированного состояния [18–20], возникающего в образцах грунта при их нагружении. Лабораторно-аналитические методы позволили определить число Пуассона в результате непосредственного измерения продольных и поперечных деформаций (рис. 6, табл. 3).



Рис. 5. Зависимость девиаторного напряжения от вертикальной деформации

Fig. 5. Dependence of deviator stress on vertical deformation

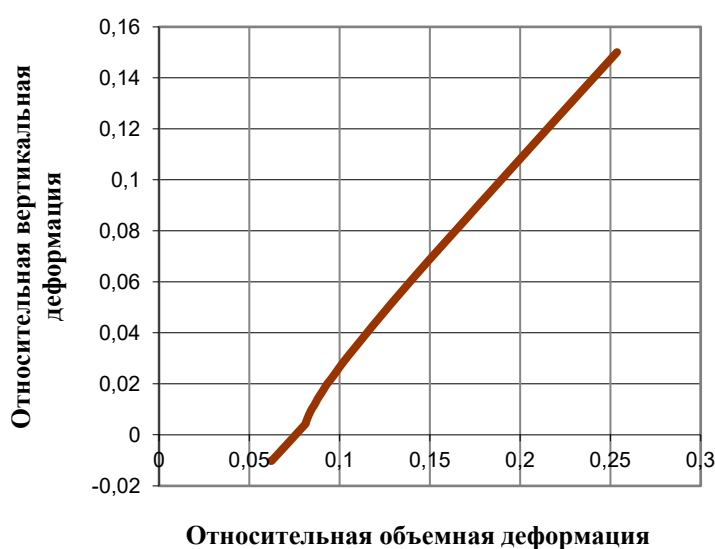


Рис. 6. Зависимость вертикальной деформации от объемной деформации

Fig. 6. Dependence of vertical deformation on volumetric deformation

Таблица 3

Деформационные параметры грунта по результатам трехосных испытаний

Table 3

Deformation parameters of the soil according to the results of three-axis tests

Давление в камере, МПа	Вертикальное давление, МПа	Эффективное давление в камере, МПа	Эффективное вертикальное давление, МПа	Модуль деформации, E , МПа	Модуль деформации, E_{50} , МПа	Коэффициент Пуассона	Модуль сдвига, МПа
0,251	0,920	0,251	0,922	38,26	23,788	0,48	12,088

Заключение

Комплекс испытаний, проведенных на современном геотехническом оборудовании, по определению физико-механических свойств дисперсного грунта выполнен, опираясь на нормативную базу в области инженерных изысканий, исторические предпосылки и базовые основы, а также современные разработки и методики [21–24]. Полученные значения необходимы для дальнейшего анализа грунтового основания, прогнозирования поведения в недренированных и дренированных условиях строительства и эксплуатации объекта.

Качественно выполненные исследования фильтрационных свойств позволяют дать объективную оценку, влияют на выбор грунтов для основания объектов промышленно-гражданского строительства и транспортной инфраструктуры, водоотводящих и дренирующих конструкций, что обеспечит устойчивость сооружений и безопасность эксплуатации. Немаловажно при проектировании и строительстве новых и реконструкции существующих объектов оценить проницаемость грунта [26] и влияние на окружающую среду. Наиболее достоверные результаты дают, без сомнения, полевые методы испытания. Однако по причине сложности выполнения в реальных условиях и, соответственно, высокой стоимости затрат, предпочтение чаще отдается лабораторным.

Как показали исследования, представленные в данной работе, всесторонний анализ свойств грунта позволяет оценить не только качество, но и перспективы изменения свойств грунтового основания при изменении влажности и нагрузки.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Библиографический список

1. Болдырев, Г.Г. Способ проведения инженерно-геологических и геотехнических изысканий: патент на изобретение / Г.Г. Болдырев, Е.Г. Болдырева, И.Х. Идрисов. RU 2748876 C1, 01.06.2021. Заявка № 2020125038 от 20.07.2020.
2. Griffiths, D.V. Three dimensional probabilistic slope stability analysis by RFEM / D.V. Griffiths, J. Huang, G.A. Fenton // Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2009. – P. 1538–1541.

3. ВІМ-геотехника и перспективы ее развития в Российской Федерации. / Г.Г. Болдырев., И.Х. Идрисов, А.В. Редин, А.А. Дивеев // Геотехника. – 2020. – Т. XII, № 4. – С. 6–22. DOI: 10.25296/2221-5514-2020-12-4-6-22.
4. Информационные системы в геотехнике- 3D геотехника / Г.Г. Болдырев, В.А. Барвашов, В.И. Шейнин, В.И. Каширский, И.Х. Идрисов, А.А. Дивеев // Геотехника. – 2019. – Т. XI, № 2. – С. 6–27.
5. Болдырев, Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов с комментариями к ГОСТ 12248-2010: монография. / Г.Г. Болдырев. – 2-е изд., доп. и испр. – М.: ООО «Прондо», 2014. – 812с.
6. Определение влияния деформационных характеристик песчаного грунта на технологические и эксплуатационные показатели земляного полотна / Н.И. Тарасеева, Ю.В. Грачева, А.А. Ходакова, В.А. Моршанкин // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – №15. – 2022. – С. 50–54.
7. Лабораторный практикум по грунтоведению: учебное пособие / под ред. В.А. Королева, В.Н. Широкова и В.В. Шаниной. – М.: КДУ, Добросвет, 2019. – 240 с.
8. Болдырев, Г.Г. Механика грунтов (в вопросах и ответах): монография / Г.Г. Болдырев, М.В. Малышев. – М.: ООО «Прондо», 2015. – 426 с.
9. Wang, X. Uncertainty quantification and reduction in the characterization of subsurface stratigraphy using limited geotechnical investigation data / X. Wang // Underground Space. – 2020. – Vol. 5. – P. 125–143.
10. Акбулякова, Е.Н. Анализ влияния водонасыщения на прочностные характеристики элювиальных грунтов / Е.Н. Акбулякова, А.Б. Пономарев // Construction and Geotechnics. – 2024. – Т. 15, № 1. – С. 83–90. DOI: 10.15593/2224-9826/2024.1.06.
11. Болдырев, Г.Г. Технология информационного моделирования для геологов и геотехников / Г.Г. Болдырев // Сборник тезисов Национальной (всероссийской) научно-технической конференции с международным участием, посвященной 90-летию кафедры (механики грунтов, оснований и фундаментов). – СПб., 2024. – С. 101.
12. Болдырев, Г.Г. Трехмерное моделирование и визуализация данных инженерно-геологических изысканий. Состояние вопроса и практическая реализация / Г.Г. Болдырев // Инженерные изыскания. – 2022. – №1. – С. 8–16.
13. Карпов, А.А. Цифровая модель местности инженерного назначения – основа информационного моделирования объектов капитального строительства. Состав и роль модели геологического строения объекта – 2014. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.normacs.info/uploads/ckeditor/attachments/1858/presentation-Karpov.pdf> (дата обращения: 15.01.2022).
14. Болдырев, Г.Г. Комплексная оценка информационного моделирования / Г.Г. Болдырев // Материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию Института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета. – Тамбов, 2024. – С. 21–28.
15. Механика грунтов и основания зданий и сооружений. Монография. / В.Т. Ерофеев, А.Г. Булгаков, В.П. Дыба, Т.М. Скибин, Е.В. Завалишин, И.Т. Мирсаяпов, Д.В. Черкасов, А.И. Харченко. – Саранск. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева: – 2023. – 380 с.
16. Сологаев, В.И. Решение фильтрационных задач строительной геотехники в тонких водоносных пластах / В.И. Сологаев // Construction and Geotechnics. – 2023. – Т. 14, №2. – С. 63–74. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.2.05
17. Сологаев, В.И. Совершенствование фильтрационных расчетов в условиях подтопления строительных выработок с ограждениями / В.И. Сологаев // Construction and Geotechnics. – 2022. – Т. 13, №3. – С. 50–62. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.3.05

18. Мирный, А.Ю. Осесимметричное трехосное сжатие в практике инженерных изысканий. Трехосные испытания грунтов: теория и практика / А.Ю. Мирный. – М., Вологда: «Инфра-инженерия», 2021. – 156 с.
19. Bishop, A.W. The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test / A.W. Bishop, D.J. Henkel. – London: Edward Arnold, 1957.
20. Diveev, A. Information Systems in Geotechnics / A. Diveev, G. Boldyrev // MATEC WEB OF CONFERENCES. – 2022. – Т. 355. – С. 02030.
21. Adaptive Monte Carlo simulation method for system reliability analysis of slope stability based on limit equilibrium methods / Liu, Xin., Li, Dian-Qing., Cao, Zi-Jun [et. al] // Engineering Geology. – 2020. – Vol. 264.
22. State-of-the-art paper (SOA-1): geomaterial behavior and testing / P.W. Mayne [et. al] // Proceedings 17th international conference soil mechanics and geotechnical engineering. – Millpress/IOS Press, Rotterdam, 2009. – Vol 4. – P. 2777–2872.
23. Болдырев, Г.Г. Руководство по интерпретации данных испытаний методами статического и динамического зондирования для геотехнического проектирования. / Г.Г. Болдырев // М.: ООО «Прондо».
24. Mayne, P.W. Soil unit weight estimation from CPTs / P.W. Mayne, J. Peuchen, D. Bouwmeester // Proceedings of the 2nd International Symposium on cone penetration testing, Huntington Beach, CA, USA, 2010, ID 3.

References

1. Boldyrev, G.G., Boldyreva, E.G., Idrisov, I.H. Method of conducting engineering-geological and geotechnical surveys. Patent for invention RU 2748876 C1, 06/01/2021. Application No. 2020125038 dated 07/20/2020.
2. Griffiths, D.V., Huang, J., G. A. Fenton, G.A., 2009. Three dimensional probabilistic slope stability analysis by RFEM. Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering M. Hamza et al. (Eds.), pp. 1538-1541.
3. Boldyrev, G.G. BIM geotechnics and prospects for its development in the Russian Federation. / G.G. Boldyrev, I.H. Idrisov, A.V. Redin, A.A. Diveev / Geotechnics. – Volume XII. – 2020. – No. 4. pp. 6-22. DOI: 10.25296/2221-5514-2020-12-4-6-22.
4. Boldyrev, G.G., Information systems in geotechnics- 3D geotechnics / G.G. Boldyrev, V.A. Barvashov, V.I. Sheinin, V.I. Kashirsky, I.H. Idrisov, A.A. Diveev // Geotechnics.- Volume XI.- 2019. – No. 2. – pp. 6-27.
5. Boldyrev, G.G. Methods for determining the mechanical properties of soils with comments to GOST 12248-2010: monograph. / G.G. Boldyrev. – 2nd ed., add. and ispr. – М.: ООО "Прондо". 2014. 812с.
6. Taraseeva, N.I. Determination of the influence of deformation characteristics of sandy soil on technological and operational parameters of the earth bed / N.I. Taraseeva, Yu.V. Graчева, A.A. Khodakova, V.A. Morshankin // Bulletin of the PGUAS: construction, science and education. – No. 15. – 2022. pp. 50-54.
7. Laboratory workshop on soil science: A textbook / Edited by V.A. Korolev, V.N. Shirokov and V.V. Shanina. Moscow: "KDU", "Dobrosvet". – 2019. – 240 p.
8. Boldyrev, G.G. Mechanics of soils (in questions and answers): monograph / G.G. Boldyrev, M.V. Malyshev. – М.: ООО "Прондо", 2015. – 426 p.
9. Wang X. Uncertainty quantification and reduction in the characterization of subsurface stratigraphy using limited geotechnical investigation data // Underground Space. 2020. Vol. 5. P. 125-143. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S2467967418300837?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2467967418300837?via%3Dihub).

10. Akbulyakova, E.N. Analysis of the effect of water saturation on the strength characteristics of eluvial soils / E.N. Akbulyakova, A.B. Ponomarev // *Construction and Geotechnics*; – 15 (1). – 2024. Pp. 83-90.
11. Boldyrev, G.G. Technology of information modeling for geologists and geotechnicians / G.G. Boldyrev // *Collection of abstracts of the National (All-Russian) scientific and technical conference with international participation, dedicated to the 90th anniversary of the Department (mechanics of soils, foundations and foundations)*. Saint Petersburg. 2024. P. 101.
12. Boldyrev, G.G. Three-dimensional modeling and visualization of engineering and geological survey data. The state of the issue and practical implementation / G.G. Boldyrev // *Engineering surveys*. 2022. No. 1. pp. 8-16.
13. Karpov, A.A. A digital model of an engineering area is the basis for information modeling of capital construction facilities. The composition and role of the model of the geological structure of the object. URL: <https://www.normacs.info/uploads/ckeditor/attachments/1858/presentation-Karpov.pdf> (accessed: 01/15/2022). 2014.
14. Comprehensive assessment of information modeling / G.G. Boldyrev // *Proceedings of the xth International Scientific and Practical Conference dedicated to the 45th anniversary of the Institute of Architecture, Construction and Transport of Tambov State Technical University*. Tambov, 2024. pp. 21-28.
15. Mechanics of soils and foundations of buildings and structures. Monograph. / V.T. Yerofeyev, A.G. Bulgakov, V.P. Dyba, T.M. Skibin, E.V. Zavalishin, I.T. Mirsayapov, D.V. Cherkasov, A.I. Kharchenko.- Publishing house: National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev: Saransk. – 2023. – 380s.
16. Sologae V.I. Solution of filtration problems of construction geotechnology in thin water layers // *Construction and Geotechnics*. – 2023. – T. 14. – №2. – C. 63-74. doi: 10.15593/2224-9826/2023.2.05
17. Sologae V.I. Improvement of filtration calculations in conditions of under-flooding of building workings with fences // *Construction and Geotechnics*. – 2022. – T. 13. – №3. – C. 50-62. doi: 10.15593/2224-9826/2022.3.05
18. Mirny, A.Yu. Axisymmetric triaxial compression in the practice of engineering surveys. Triaxial soil testing: theory and practice / A.Y. Mirny. Moscow, Vologda: Infra-engineering. – 2021. – 156 p.
19. Bishop A.W., Henkel D.J. The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test / A.W. Bishop, D.J. Henkel, Edward Arnold-е изд., London, 1957.
20. Diveev A., Boldyrev G. Information Systems in Geotechnics / *MATEC WEB OF CONFERENCES*. 2022. T. 355. C. 02030.
21. Liu, Xin., Li, Dian-Qing., Cao, Zi-Jun et al., 2020. Adaptive Monte Carlo simulation method for system reliability analysis of slope stability based on limit equilibrium methods. In: *Engineering Geology*. Vol. 264.
22. Mayne P.W., Coop M.R., Springman S., Huang A.B., Zornberg J (2009) State-of-the-art paper (SOA-1): geomaterial behavior and testing. In: *Proceedings 17th international conference soil mechanics and geotechnical engineering*, Millpress/IOS Press, Rotterdam, vol 4, pp. 2777–2872.
23. Boldyrev, G.G. Guidelines for the interpretation of test data by static and dynamic sensing methods for geotechnical design. / G.G. Boldyrev // Prondo LLC. Moscow.
24. Mayne P.W., Peuchen J., Bouwmeester D., 2010. Soil unit weight estimation from CPTs. *Proceedings of the 2nd International Symposium on cone penetration testing*, Huntington Beach, CA, USA, 2010, ID 3.