DOI: 10.15593/2224-9826/2015.3.10

УДК 624.139

А.В. Мащенко, А.Б. ПономаревПермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия**ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ ГЕОСЕТКИ
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ**

Целью данной работы является исследование влияния армирования на несущую способность и осадку песчаных и глинистых водонасыщенных грунтов Пермского края. Армирование – это укрепление грунтовых массивов с помощью материалов, в частности геосинтетических, в которых хотя бы одна составная часть изготовлена из синтетических или натуральных полимеров, использующихся в геотехнике в контакте с грунтом для повышения технических характеристик грунтов или совместно с другими строительными материалами в качестве элементов различных строительных конструкций и сооружений. Исследования проводились в лабораторных условиях кафедры «Строительное производство и геотехника» ПНИПУ с использованием комплекса автоматизированных систем испытаний в строительстве «АСИС-6». В статье представлены физические характеристики водонасыщенных пылеватых песков и текучепластичных глинистых грунтов, а также результаты лабораторных испытаний по методу компрессионного сжатия и одноплоскостного среза данных грунтов, описана методика испытаний. Для исследований в качестве геосинтетического материала выбрана геосетка двуслойная ОС № 8, даны ее физико-механические характеристики, полученные по результатам испытаний на разрывной машине МТ-136. Проведены испытания по методу компрессионного сжатия одноплоскостного среза с армированием геосеткой. Графически показаны расположения геосетки в грунте при испытаниях. Результаты испытаний представлены в таблицах. Доказано положительное влияние армирования грунтов геосеткой, повышение несущей способности грунта и снижение деформируемости и осадки.

Ключевые слова: компрессионные испытания, метод одноплоскостного среза, пылеватые пески, текучепластичные глины, армирование, геосинтетические материалы, геосетки, деформационные свойства, прочностные свойства, модуль деформации.

A.V. Mashchenko, A.B. Ponomarev

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

THE INFLUENCE OF REINFORCEMENT OF GEOGRID ON THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF WATER-SATURATION SOILS

The aim of this article is investigate the influence of reinforcement on the bearing capacity and sediment sand and claywater-saturated soils of Perm. Reinforcement – is strengthening the ground using arrays of materials . One such material is geosynthetics. Geosynthetics – are materials in which at least one part is made from synthetic or natural polymers that are used in geotechnical in contact with the ground to improve the technical properties of soil or in conjunction with other building materials as elements of different constructions and structures. The studies were conducted in the laboratory of the department “Construction industry and geotechnics” PNRPU using a complex automated test systems in construction “ASIS-6”. The article presents physical properties of water-saturated silty sand and clay soils. And the results of compression tests and shear tests, test method described. For the research as a geosynthetic material selected biaxial geogrid OS № 8, given its physical and mechanical characteristics obtained from the results of tests on a tensile testing machine MT-136. The tests by method of compression and shear test with geogrid reinforcement . Graphically shows the location of the geogrid in the ground during the test. The article presents results of test of soil specimens reinforced. Graphically shows the location of the geogrid in the ground during the test. The analysis of the influence of geosynthetics reinforcement was carried out and its positive effect on the deformations characteristics of the soils was proved.

Keywords: compression tests, shear test, silty soils, clay soils, reinforcement, geosynthetics, geogrid, deformation properties, strength properties, modulus of deformation.

В настоящее время расчет оснований зданий и сооружений выполняется с использованием аналитических методов согласно нормативным документам и численных методов с различными расчетными комплексами. При этом требуются механические параметры грунтов, которые определяют несущую способность грунтов и деформируемость [1]. К важным характеристикам грунтов относятся прочностные и деформационные свойства, а именно: удельное сцепление c , угол внутреннего трения φ , модуль деформации E и коэффициент Пуассона ν . На территории Пермского края широко распространены как глинистые, так и песчаные водонасыщенные грунты, вызывающие трудности при проектировании, возведении и эксплуатации зданий и сооружений [2].

На сегодняшний день одним из наилучших способов улучшения несущей способности грунтов является армирование [3], в том числе при строительстве на просадочных грунтах, подрабатываемых и кар-

стоопасных территориях [4]. Исследование армированного грунта является весьма важным направлением в геотехнике. В грунт внедряют армирующие элементы, которые обладают повышенной прочностью на растяжение. В качестве армирующих большой популярностью пользуются геосинтетические материалы [5]. Создание армированных конструкций существенно сокращает затраты на устройство фундаментов зданий и сооружений, оснований под автомобильные и железные дороги, откосов, подпорных стен, так как характеристики грунтов, обладающих прочностью на сжатие и сдвиг, но не обладающих прочностью на растяжение, могут быть значительно улучшены путем введения упрочняющих элементов в направлении относительной деформации растяжения. Также армирование грунтов значительно снижает финансовые затраты [5].

Положение арматуры в грунтовом массиве может быть вертикальным, горизонтальным, наклонным в одном направлении, наклонным в двух и более направлениях, прерывистым и в виде различного ряда ячеистых структур, а также в виде отдельных волокон. В Пермском крае впервые геосинтетические материалы были применены около 30 лет назад. С тех пор накоплен значительный опыт применения таких конструкций, большинство которых продолжают выполнять свои проектные функции, но влияние характеристик геосинтетических материалов на свойства грунта на данный момент изучено недостаточно [4, 6, 7].

Одним из распространенных видов геосинтетических материалов является геосетка. Геосетка – сетчатая плоская структура, образованная из перекрывающихся рядов волокон, толщиной от 3 мм. Часто используется в комбинации с геотекстилем и геомембранами [6]. Ключевые функции – фильтрационная и дренажная. Основными материалами для изготовления геосетки являются полиэфир, полиэтилен, полиамид, полиэстер, полипропилен и стекловолокно. По способу формирования различают двухосные и одноосные (рис. 1). К двухосным относят плоские сетки с ячейками прямоугольной формы, разработанные для строительства на слабых грунтах, а также повышения способности конструкций переносить динамические и статические нагрузки. К одноосным относят сетки с длинными, вытянутыми в одном направлении ячейками для создания высокой прочности на растяжение. В грунтах геосетка часто используется в дорожном строительстве, применяется как армирующая прослойка в грунтовых конструкциях на слабом основании [5].

Рис. 1. Виды геосеток: *а* – одноосные; *б* – двуосные

Прочностные и деформационные характеристики грунтов могут быть определены в лабораторных условиях [1]. Это основной метод изучения свойств грунтов, он позволяет сравнительно просто передавать различные давления на грунт, исследовать поведение грунта в широких диапазонах изменения физического состояния и условий окружающей среды, моделировать сложные случаи работы грунта в основании или теле сооружений. Одним из способов определения деформационных характеристик в лабораторных условиях является метод компрессионного сжатия, а прочностных характеристик – метод одноплоскостного среза [1].

Для испытаний были отобраны песчаные пылеватые грунты, насыщенные водой, и текучепластичные глины. Пылеватые грунты имеют размер зерен менее 0,1 мм, близки по своим проявлениям к глинистым грунтам. Отдельные зерна таких грунтов трудно различимы и по внешнему виду грунт похож на пыль. У таких грунтов отмечена хорошая водопроницаемость. При насыщении водой такие грунты становятся текучими, обладают плавунными свойствами и похожи на вязкую жидкость, что значительно снижает их несущую способность [8]. Глинистые грунты в маловлажном состоянии обладают высоким сопротивлением нагрузке и небольшой сжимаемостью, но при высокой влажности резко понижают свою прочность и дают большие и долго продолжающиеся осадки сооружений [9]. Деформируемость глинистых грунтов обусловлена главным образом взаимным перемещением твердых частиц грунта, и они способны испытывать длительные незатухающие деформации под постоянной нагрузкой.

Все испытания грунта проводились в лаборатории кафедры «Строительное производство и геотехника» ПНИПУ с использованием комплекса автоматизированных систем испытаний в строительстве «АСИС-6» (рис. 2).

Рис. 2. Комплекс автоматизированных систем испытаний в строительстве «АСИС-6»: *а* – прибор на одноплоскостной срез; *б* – прибор на компрессионное сжатие

У отобранных образцов были определены физические характеристики по ГОСТ 5180–84 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик» (табл. 1, 2). Граница текучести глинистых грунтов определялась с помощью балансирующего конуса – прибора Васильева, а граница пластичности – на устройстве для раскатывания связного грунта в жгут ГТ 1.8.2 фирмы ООО «НПП «Геотек» (рис. 3) [8].

Рис. 3. Устройство для раскатывания связного грунта в жгут ГТ 1.8.2

Таблица 1

Физические характеристики песчаного грунта

Характеристики	Обозначения	Значения
Влажность грунта	ω , д. ед.	0,35
Плотность частиц грунта	ρ_s , г/см ³	2,66
Плотность грунта	ρ , г/см ³	1,82
Удельный вес частиц грунта	γ_s , Н/см ³	25,97
Удельный вес грунта	γ , Н/см ³	17,85
Коэффициент пористости	e	0,9
Коэффициент водонасыщения	S_r	1

Таблица 2

Физические характеристики глинистого грунта

Характеристики	Обозначение	Значения
Влажность на границе раскатывания	W_p , д. ед.	0,13
Влажность на границе текучести	W_L , д. ед.	0,37
Число пластичности	I_p , д. ед.	0,23
Индекс текучести	I_L , д. ед.	0,8

Согласно ГОСТ 12248–2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости» для испытаний на одноплоскостной срез использовались грунты нарушенного сложения с заданной плотностью. Диаметр образцов составил 70 мм, высота 35 мм. Испытания проводились по неконсолидированно-недренированной схеме. Передача нормальной нагрузки происходила в одну ступень. Выдерживалась для предварительного уплотнения в течение 2 мин, скорость среза составила 2 мм/мин, деформация образца – 7,01 мм. Значения нормальной нагрузки были приняты 100, 150 и 200 кПа для песков и 50, 100, 150 кПа – для глин [9]. По результатам исследования рассчитывались удельное сцепление c и угол внутреннего трения φ (табл. 3).

Для компрессионных испытаний использовались грунты нарушенного сложения с заданной плотностью. Диаметр образцов составил 70 мм, высота – 20 мм. При испытании пылеватых песков были назначены следующие ступени нагружения: 12, 25, 50, 100, 200 кПа. При испытании глинистых грунтов были назначены следующие ступени нагружения: 12, 25, 50, 100, 200, 300 кПа. За критерий условной стабилизации грунта принималось ее приращение, не превышающее 0,05 % у песчаных грунтов за 4 ч, а у глинистых грунтов – за 12 ч. Деформа-

ции образца регистрировались через определенные промежутки времени: сразу после приложения нагрузки, далее через 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 30 мин, далее с интервалом 1 ч в течение рабочего дня до момента достижения условной стабилизации деформации [7]. По результатам испытаний вычисляется модуль деформации E (см. табл. 3).

Таблица 3

Прочностные и деформационные свойства грунтов

Свойства грунтов	Пылеватые пески	Глинистые грунты
Удельное сцепление c	0	1,3
Угол внутреннего трения φ , град	17	18
Модуль деформации E , МПа	4	5,88

Испытания армированных грунтов проводились по методикам, приведенным ранее. В качестве армирования использовалась двуосная геосетка из полиэстера ОС № 8 (рис. 4), для которой также были определены физико-механические характеристики на разрывной машине МТ-136 (табл. 4) [6].

Рис. 4. Геосетка ОС № 8

Таблица 4

Значение физико-механических характеристик геосетки

Поверхностная плотность, $г/м^2$	Разрывная нагрузка при испытании на растяжение вдоль/поперек, кН	Относительное удлинение при максимальной нагрузке вдоль/поперек, %
350	108,4/83	26,09/28,19

Армирование образцов геосеткой осуществлялось следующим образом: в испытаниях на одноплоскостной срез слой геосетки был расположен по поверхности среза; в компрессионных испытаниях – внутри образца грунта (рис. 5) [8].

Рис. 5. Схема расположения геосетки при испытаниях: а – на одноплоскостной срез; б – на компрессионное сжатие: 1 – грунт; 2 – рабочее кольцо; 3 – перфорированный штамп; 4 – прослойка геосетки; 5 – срезная каретка

Результаты испытаний армированных и неармированных грунтов на одноплоскостной срез и компрессионное сжатие представлены в табл. 5.

Таблица 5

Значения прочностных и деформационных характеристик неармированных и армированных геосеткой грунтов

Образцы	Пылеватые пески			Глинистые грунты		
	E , МПа	c , кПа	ϕ , град	E , МПа	c , кПа	ϕ , град
Неармированные	4	0	17	5,88	1,27	18
Армированные геосеткой	5,4	0	21	6,12	1,7	19,8

По приведенным в табл. 5 результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Внедрение в грунты геосетки увеличивает значения механических характеристик грунтов.

2. Улучшение показателей модуля деформации и угла внутреннего трения позволяет увеличить несущую способность оснований и уменьшить деформативность и осадки грунтового массива.

3. Увеличение значений модуля деформации и угла внутреннего трения у пылеватых песков происходит в среднем на 30 %, а у текуче-

пластичных глин модуль деформации и угол внутреннего трения увеличивается на 5–10 %, удельное сцепление – на 30 %. Отсюда следует, что применение геосетки ОС № 8 в качестве армирования оснований наиболее эффективно для песчаных грунтов, чем для глинистых.

Библиографический список

1. Анализ влияния различных типов армирования на деформационные характеристики глинистого грунта [Электронный ресурс] / А.Н. Богомолов, А.Б. Пономарев, А.В. Машенко, А.С. Кузнецова // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Серия: Политематическая. – 2014. – Вып. 4(35). – С. 11. – URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru>.

2. Машенко А.В., Пономарев А.Б. К вопросу использования армированных сезоннопромерзающих пучинистых грунтов в качестве оснований фундаментов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2012. – С. 64–80.

3. The use of synthetic materials in the highway engineering in the Urals / A.A. Bartolomey, V.I. Kleveko, V.G. Ofrikhter, A.B. Ponomaryov, A.N. Bogomolov // Geotechnical engineering for transportation infrastructure. Proceedings of the 12th european conference on soil mechanics and geotechnical engineering. – Amsterdam, 1999. – Vol. 2. – С. 1197–1202.

4. Ponomarev A., Zolotozubov D. Several approaches for the design of reinforced bases on karst areas // Geotextiles and Geomembranes. – 2014. – Vol. 42. – P. 48–51. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.reotexmem.2013.12.002>

5. Пономарев А.Б., Оффрихтер В.Г. Анализ и проблемы исследований геосинтетических материалов в России // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 68–73.

6. Татьянников Д.А., Клевеко В.И. Влияние сжимаемости армирующего материала на осадку фундамента при штамповых модельных испытаниях, на примере геокомпозита // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 124–132.

7. Пономарев А.Б., Клевеко В.И., Татьянников Д.А. Анализ изменения прочностных характеристик геосинтетических материалов в процессе эксплуатации // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 3(35). – С. 11–16.

8. Мащенко А.В., Пономарев А.Б. Анализ изменения прочностных и деформационных свойств грунта, армированного геосинтетическими материалами при разной степени водонасыщения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 264–273. DOI: <http://dx.doi.org/10.15593/2224-9826/2014.4.21>

9. Мащенко А.В., Пономарев А.Б. Планирование экспериментов по улучшению пучинистых свойств сезоннопромерзающих грунтов с помощью геосинтетических материалов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 24–32.

References

1. Bogomolov A.N., Ponomarev A.B., Mashhenko A.V., Kuznetsova A.S. Analiz vliianiia razlichnykh tipov armirovaniia na deformatsionnye kharakteristiki glinistogo grunta [Analysis of the influence of different types of reinforcement on the deformation characteristics of clay soils]. *Internet-vestnik VolgGASU. Seriya: Politematicheskaya*, 2014, vol. 4(35), p. 11, available at: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articulo=1798>.

2. Mashhenko A.V., Ponomarev A.B. K voprosu ispol'zovaniia armirovannykh sezonnopromerzaiushchikh puchinistykh gruntov v kachestve osnovanii fundamentov [The question of the use of reinforced seasonal freezing heaving soils as bases foundations]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2012, pp. 64-80.

3. Bartolomey A.A., Kleveko V.I., Ofrikhter V.G., Ponomaryov A.B., Bogomolov A.N. The use of synthetic materials in the highway engineering in the Urals. *Geotechnical engineering for transportation infrastructure. Proceedings of the 12th european conference on soil mechanics and geotechnical engineering*. Amsterdam, 1999, vol. 2, pp. 1197-1202.

4. Ponomarev A.B., Ofrikhter V.G. Analiz i problemy issledovaniia geosinteticheskikh materialov v Rossii [Analysis and problems of geosynthetic material application in Russian Federation]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 2, pp. 68-73.

5. Ponomarev A., Zolotozubov D. Several approaches for the design of reinforced bases on karst areas. *Geotextiles and Geomembranes*, 2014, vol. 42, pp. 48-51. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2013.12.002>

6. Tat'iannikov D.A., Kleveko V.I. Vliianie szhimaemosti armiruiushchego materiala na osadku fundamenta pri shtampovykh model'nykh ispytaniyakh na primere geokompozita [The compressibility reinforcements on precipitation fundament die model tests, the example of geocomposite]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 2, pp. 124-132.

7. Ponomarev A.B., Kleveko V.I., Tat'iannikov D.A. Analiz izmeneniia prochnostnykh kharakteristik geosinteticheskikh materialov v protsesse ekspluatatsii [Analysis of changes in the strength properties of geosynthetic materials in the process of working]. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 3(35), pp. 11-16.

8. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. Analiz izmeneniia prochnostnykh i deformatsionnykh svoystv grunta, armirovannogo geosinteticheskimi materialami pri raznoi stepeni vodonasyshcheniia [The analysis of strength and deformation property changes in the soil reinforced with geosynthetics at different degrees of water-saturation]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 4, pp. 264-273. DOI: <http://dx.doi.org/10.15593/2224-9826/2014.4.21>

9. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. Planirovanie eksperimentov po uluchsheniiu puchinistyykh svoystv sezonnopromerzaiushchih gruntov s pomoshch'yu geosinteticheskikh materialov [Experiments to investigate improving of heaving properties of seasonal freezing soils by geosynthetics]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 2, pp. 24-32.

Получено 30.06.2015

Об авторах

Мащенко Александра Витальевна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: spstf@pstu.ac.ru).

Пономарев Андрей Будимирович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: spstf@pstu.ac.ru).

About the authors

Aleksandra V. Mashchenko (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student, Department of Construction Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: spstf@pstu.ac.ru).

Andrei B. Ponomarev (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: spstf@pstu.ac.ru).