УДК 624.139

А.В. Мащенко, А.Б. Пономарев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ
И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГРУНТА,
АРМИРОВАННОГО ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ
ПРИ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ**

Представлены результаты испытаний одноплоскостного среза и компрессионного сжатия образцов песчаного пылеватого грунта различной степени водонасыщения, а также результаты испытаний образцов грунта, армированных разными геосинтетическими материалами, и физико-механические свойства геосинтетических материалов. Выполнен анализ влияния армирования геосинтетическими материалами и доказано его положительное влияние на механические свойства песчаного пылеватого грунта.

Ключевые слова: пылеватые грунты, армирование, геосинтетические материалы, прочностные и деформационные свойства.

A.V. Mashchenko, A.B. Ponomarev

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**THE ANALYSIS OF STRENGTH AND DEFORMATION
PROPERTY CHANGES IN THE SOIL REINFORCED
WITH GEOSYNTHETICS AT DIFFERENT DEGREES
OF WATER-SATURATION**

The article presents the results of direct shear tests and compression on sand silty specimens of varying water-saturation. And the results of test of soil specimens reinforced different geosynthetics and physico-mechanical properties of geosynthetics reinforced by discrete polypropylene fiber. The analysis of the influence of geosynthetics reinforcement was carried out and its positive effect on the mechanical characteristics of the sand silty soil was proved.

Keywords: silty soils, reinforcement, geosynthetics, strength and deformation properties.

В настоящее время практически во всех областях строительства нашли широкое применение различные геосинтетические материалы.

Исследование армированного грунта является весьма важным направлением в геотехнике. Создание данных конструкций позволяет существенно сокращать затраты на устройство фундаментов зданий и сооружений, оснований под автомобильные и железные дороги, откосов, подпорных стен и т.д., 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 [1].

В условиях современного строительства, когда нагрузки растут, а строительство осуществляется строго на определенной территории, где мы не всегда можем обнаружить благоприятные грунтовые условия, улучшение физико-механических свойств грунтов является весьма важной задачей. Также благодаря введению в грунт армирующих элементов достигается значительный экономический эффект за счет снижения затрат на доставку материалов, существенного уменьшения объемов земляных работ [2].

Одной из важнейших, но малоизученных задач при проведении исследований является определение влияния характеристик геосинтетических материалов на свойства армированного грунта [1].

В России геосинтетические материалы стали широко применяться лишь в конце прошлого века. Однако используются геосинтетические материалы в достаточно ограниченном объеме, что объясняется отсутствием грамотной нормативной базы и недостаточной изученностью применения этих материалов в разных инженерно-геологических условиях.

Испытания грунтов проводятся на примере грунтов Пермского края, где широко распространены глинистые и песчаные водонасыщенные грунты, вызывающие трудности при проектировании, возведении и эксплуатации зданий и сооружений, в которых под воздействием внешних факторов возникают значительные вертикальные деформации [3].

Для испытаний были выбраны песчаные пылеватые грунты нарушенного сложения. Пылеватые грунты имеют размер зерен менее 0,1 мм, близки по своим проявлениям к глинистым грунтам. По виду напоминают пыль, отдельные зерна в массе трудно различимы. Обладают хорошей водопроницаемостью, вспучиваются при промерзании.

Насыщенные водой, такие грунты становятся текучими, обладают плавунными свойствами и похожи на вязкую жидкость, что значительно снижает их несущую способность. Испытания грунтов проводились при разной степени водонасыщения. Значения степени водонасыщения составили: $S_r = 0,3$ (малой степени водонасыщения); $S_r = 0,7$ (средней степени водонасыщения); $S_r = 1$ (насыщенные водой).

Испытания грунта проводились в лаборатории кафедры «Строительное производство и геотехника» ПНИПУ с использованием комплекса автоматизированных систем испытаний в строительстве АСИС-6. Водонасыщение образцов песчаного грунта выполнялось в вакуумной камере перед началом испытания [4].

Физические свойства грунта определялись согласно ГОСТ 5180–84 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик» результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физические характеристики песчаного грунта

Характеристика грунта	Обозначение	Маловлажные грунты $S_r = 0,3$	Влажные грунты $S_r = 0,7$	Водонасыщенные грунты $S_r = 1$
Влажность грунта	ω , д.ед.	0,1	0,2	0,35
Плотность частиц грунта	ρ_s , г/см ³	2,66	2,66	2,66
Плотность грунта	ρ , г/см ³	1,54	1,8	1,82
Удельный вес частиц грунта	γ_s , Н/см ³	25,97	25,97	25,97
Удельный вес грунта	γ , Н/см ³	15,11	17,66	17,85
Коэффициент пористости	e	0,9	0,8	0,9

Далее для данного грунта были определены *прочностные* характеристики для нахождения угла внутреннего трения ϕ и удельного сцепления методом одноплоскостного среза и *деформационные* характеристики для определения модуля деформации E методом компрессионного сжатия согласно ГОСТ 12248–2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости».

Для компрессионных испытаний использовались грунты нарушенного сложения с заданной влажностью и плотностью, диаметр образцов составил 70 мм, высота 20 мм. При испытании были назначены следующие ступени нагружения: 12, 25, 50, 100, 200 кПа. Заданное

время стабилизации деформации составило 4 ч. Деформации 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 1ч в течение рабочего дня до момента достижения условной стабилизации деформации [4].

При испытаниях на срез также использовались грунты нарушенного сложения, диаметр образцов составил 70 мм, высота 35 мм. Сопротивление грунта срезу определялось как предельное среднее касательное напряжение, при котором образец грунта срезался по фиксированной плоскости при заданном нормальном напряжении. Для одного определения значений угла внутреннего трения, сцепления проводилось три испытания при различных значениях нормального напряжения. Испытываемый грунт песчаный пылеватый, поэтому опыты проводились по неконсолидировано-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 – 5 мм. Значения нормальной нагрузки были приняты 100, 150 и 200 кПа [4].

В ходе испытаний проводилась статистическая обработка результатов по ГОСТ 20522–96, все полученные характеристики были сведены в табл. 2.

Таблица 2

Механические характеристики песчаного грунта

Характеристика грунта	Обозначение	Значения характеристик при $S_r = 0,3$	Значения характеристик при $S_r = 0,7$	Значения характеристик при $S_r = 1$
Удельное сцепление	c , кПа	0	0	0
Угол внутреннего трения	φ , град	20	18	17
Модуль общей деформации	E_0 , МПа	7,4	5,8	4

В качестве армирующих элементов были выбраны следующие геосинтетические материалы: нетканый геотекстиль – дорнит, тканый геотекстиль – геоспан ТН-50, геосетка ОС (рис. 1).

Геотекстиль (Дорнит) является экологически безопасным нетканым материалом, изготовленным из бесконечных полипропиленовых волокон иглопробивным методом, что обеспечивает его высокую

химстойкость, устойчивость к термоокислительному старению. Материал не подвержен гниению, прорастанию корней, структура материала обеспечивает хорошие прочностные и фильтрующие свойства. Благодаря оптимальному сочетанию своих характеристик, геотекстиль «Дорнит», кроме традиционного применения в дорожных, дренажных и противозэрозионных конструкциях, широко используется при строительстве кровель, фундаментов, дренажей, землеустройстве и т.д. В связи с этим выполняются основные функции геотекстиля – разделение, армирование, фильтрация, дренаж, а также их сочетание.

Геоспан ТН-50 – тканый геотекстиль – производится из полипропиленовых нитей путем прошивки взаимно перпендикулярных направлений, имеет холстовый тип плетения и хорошую водопроницаемость. Обеспечивает высокие прочностные показатели на разрыв в продольном и поперечном направлениях. Устойчив к ультрафиолетовому излучению, к агрессивному воздействию грунтов, морозостоек. При укладке в земляное сооружение образует сложную конструкцию, в которой действует как арматура.

Геосетка – плоский полиэстеровый рулонный материал с сетчатой структурой, отличается высокими механическими характеристиками. Может использоваться в комбинации с геотекстилем в качестве фильтров, а также выполнять дренажные функции [2].

Физико-механические характеристики используемых геосинтетических материалов представлены в табл. 3. Испытания проводились на испытательной разрывной машине МТ-136 [5].

Рис. 1. Образцы геосинтетических материалов: *а* – нетканый геотекстиль «Дорнит»; *б* – тканый геотекстиль Геоспан-ТН 50; *в* – геосетка

Таблица 3

Значения физико-механических характеристик
геосинтетических материалов

Характеристика	Нетканый геотекстиль «Дорнит»	Геосетка ОС№ 8	Тканый геотекстиль Геоспан ТН-50
Состав	полипропилен	полиэстер	полипропилен
Поверхностная плотность, г/м ²	530	350	296
Разрывная нагрузка при испытании на растяжение вдоль/поперек, кН	13/14	108,4/83	47,4/46,6
Относительное удлинение при максимальной нагрузке вдоль/поперек, %	50/60	26,09/28,19	14,14/14

Испытания армированных грунтов проводилось также с разной степенью водонасыщения по методикам, приведенным ранее. Армирование образцов геотекстилем и геосеткой осуществлялось следующим образом: в испытаниях на одноплоскостной срез слой геосинтетических материалов был расположен по поверхности среза; в компрессионных испытаниях слой геосинтетического материала был расположен внутри образца грунта [4]. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

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

Прочностные и деформационные характеристики грунтов по результатам испытания неармированного и армированного грунта при разной степени водонасыщения представлены в табл. 4.

Таблица 4

Прочностные и деформационные характеристики неармированного и армированного грунта при разной степени водонасыщения

Материал	Коэффициент водонасыщения, S_r	Параметры прочности и деформируемости		
		Модуль деформации E , кПа, в интервале 100–200 кПа	Угол внутреннего трения ϕ , град	Удельное сцепление c , кПа
Песок неармированный	0,3	7,4	20	0
	0,7	5,8	18	0
	1	4	17	0
Песок, армированный нетканым геотекстилем	0,3	8	22	8
	0,7	5,6	20	9
	1	4,5	21	3
Песок, армированный геосеткой	0,3	13	25	1
	0,7	6,1	23	0
	1	5,4	21	0
Песок, армированный тканым геотекстилем	0,3	8	21	2
	0,7	6,1	18	2
	1	5,3	18	0

Результаты описанных выше и проведенных ранее [1, 2, 5, 6] лабораторных исследований показывают, что геосинтетические материалы, внедренные в грунт, повышают прочностные характеристики даже таких слабых грунтов, как пылеватые пески. Однако необходимо отметить, что при насыщении водой снижается эффективность армирования геосинтетическими материалами. Совместная работа нетканого геотекстиля и частиц грунта способствует увеличению удельного сцепления несвязного грунта, что может способствовать увеличению устойчивости откосов котлованов. Угол внутреннего трения и модуль деформации повышаются в большей степени при внедрении в грунт геосетки, что позволит увеличить несущую способность оснований и уменьшить деформативность и осадки грунтового массива. Таким образом, использование геосинтетических материалов позволяет целенаправленно улучшать механические свойства грунтов, а их внедрение в

строительство даст возможность существенно снизить экономические затраты.

Библиографический список

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

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

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

4. 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.

5. Пономарев А.Б., Татьянников Д.А., Клевеко В.И. Определение линейной жесткости геосинтетических материалов // *Интернет-вестник ВолГАСУ*. – 2013. – № 2(27). – С. 19.

6. Пономарев А.Б., Кузнецова А.С., Офрихтер В.Г. Применение фиброармированного песка в качестве основания зданий и сооружений // *Вестник ВолГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура*. 2013. – № 30. – С. 101–107.

References

1. 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.

2. Ponomarev A.B., Ofrikhter V.G. Analiz i problemy issledovaniy 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 arhitektura*, 2013, no. 2, pp. 68-73.

3. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. K voprosu ispol'zovaniya armirovannykh sezonnopromerzayushchikh puchinistyykh gruntov v kachestve osnovaniy 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.

4. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. Planirovanie eksperimentov po uluchsheniyu puchinistyykh svoystv sezonnopromerzayushchikh 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 arhitektura*, 2013, no. 2. pp. 24-32.

5. Ponomarev A.B., Tatyannikov D.A., Kleveko V.I. Opredelenie lineynoy zhestkosti geosinteticheskikh materialov [Definition of linear stiffness of geosynthetic materials]. *Internet-vestnik VolgGASU. Seriya: Politematicheskaya*, 2013. no. 2(27). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevTatyannikovKleveko-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevTatyannikovKleveko-2013_2(27).pdf).

6. Ponomarev A.B., Kuznetsova A.S., Ofrikhter V.G. Primenenie fibroarmirovannogo peska v kachestve osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Application of fibroreinforced sand as the foundation of buildings and constructions]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: «Stroitel'stvo i arhitektura»*, 2013, no. 30. pp. 101-107.

Об авторах

Мащенко Александра Витальевна (Пермь, Россия) – аспирант, ассистент кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (e-mail: Lybra013@yandex.ru).

Пономарев Андрей Будимирович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительное производство и

геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (e-mail: spstf@pstu.ru).

About the authors

Mashchenko Aleksandra Vitalevna (Perm, Russian Federation) – Doctoral Student, Ssistant Lecturer, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: Lybra013@yandex.ru).

Ponomarev Andrey Budimirovich (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

Получено 11.04.2014