

DOI 10.15593/2409-5125/2015.04.01

УДК 624.138

А.С. Гришина, А.В. Мащенко, А.Б. Пономарев

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ, АРМИРОВАННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Целью данной работы является исследование влияния армирования на несущую способность глинистых грунтов различной консистенции Пермского края. Армирование – это укрепление грунтовых массивов с помощью материалов. Одним из таких материалов являются геосинтетические материалы. Геосинтетические материалы – это класс строительных синтетических материалов, предназначенных для создания различных слоев (армирующих, дренирующих, защитных, фильтрующих, гидроизолирующих, теплоизолирующих) в транспортном, гражданском и гидротехническом строительстве. Исследования проводились в лабораторных условиях кафедры «Строительное производство и геотехника» ПНИПУ с использованием комплекса автоматизированных систем испытаний в строительстве «АСИС-6». Приведена методика подготовки образцов глинистых грунтов с заданными физическими характеристиками, а также результаты лабораторных испытаний данных грунтов, описана методика испытаний. Для исследований в качестве геосинтетических материалов выбраны геотекстиль, геокомпозит и полипропиленовое волокно, даны их физико-механические характеристики, полученные по результатам испытаний на разрывной машине МТ-136. Проведены испытания по методу одноплоскостного среза с армированием данными геосинтетиками. Выполнен анализ влияния различных армирующих прослоек на прочностные характеристики глинистого грунта различной консистенции.

Ключевые слова: прочностные характеристики, глинистый грунт, геосинтетические материалы, испытания на одноплоскостной срез.

Вопросы прочности, устойчивости и давления грунтов на ограждения имеют первостепенное значение в практике проектирования сооружений при определении их размеров, удовлетворяющих условиям безопасности, долговечности и экономичности. Зачастую местные грунты основания обладают характеристиками, не позволяющими возведение на них зданий и сооружений, передающих на грунты большие нагрузки. В таких случаях строители прибегают к дополнительным мероприятиям по замене грунтов основания и/или улучшению характеристик грунтов [1].

Одной из прогрессивных технологий преобразования свойств грунтов является армирование их материалами из семейства геосинтетиков или случайно распределенными волокнами (фибровое армирование) [2]. Исследованию влияния армирования на физико-механические характеристики грунтов посвящено много работ как в России, так и за рубежом. Различные технологии армирования могут применяться для увеличения прочности грунта на сдвиг и повышения его прочностных характеристик [3]. Большинство экспериментальных исследований было проведено с сыпучими грунтами, в то время как поведение глинистого грунта, усиленного армирующими элементами, изучено не до конца [4–6]. При этом во многих регионах страны широко распространены глинистые грунты, замена которых при строительстве сопровождается высокими материальными затратами и большими объемами земляных работ. Поэтому актуальным остается улучшение характеристик местных материалов с целью снижения стоимости возведения фундаментов [7].

Целью данной работы является анализ влияния различных армирующих материалов на прочностные характеристики глинистого грунта для выбора оптимальной технологии увеличения прочности грунта на сдвиг.

В качестве инструмента исследования выбраны лабораторные исследования по методу одноплоскостного среза. Метод одноплоскостного среза по ГОСТ 12248 применяют для определения удельного сцепления грунта c и угла внутреннего трения. Названные параметры прочности являются обязательными при проектировании оснований сооружений по СП 22.13330.2011 и СП 50-100–2004, а также для задания их в качестве входных параметров в расчетных комплексах (Plaxis и т.п.). При этом проведение сдвиговых испытаний не требует больших материальных затрат

и не вызывает трудностей в связи с доступностью оборудования и наличием регламентированных ГОСТом методик [8].

Оценка влияния различных видов армирования на деформационные характеристики проводилась с глинистыми грунтами от полутвердой до мягкопластичной консистенции, т.е. с показателями текучести $I_L = 0,4; 0,6; 0,8$. Грунты были отобраны с двух различных площадок, расположенных на территории города Перми и Пермского края [9]. Образцы готовились из специально приготовленной глинистой пасты с заданными физическими характеристиками.

Процесс подготовки образцов состоял из нескольких этапов [10]. На первом этапе грунт высушивался в сушильном шкафу при температуре 105 °С. Далее высушенный грунт измельчался при помощи полочного барабана до тонкодисперсного состояния, просеивался через лабораторное сито с размером отверстий 0,1 мм и еще раз высушивался. После этого определялись физические характеристики грунта (табл. 1). Затем с учетом заданных необходимых значений влажности грунта, его удельного веса, показателя текучести и пластичности готовилась грунтовая глинистая паста путем постепенного добавления необходимого количества воды к постоянному объему глинистого грунта. Относительно заданного показателя текучести I_L определялось значение влажности по формуле

$$W = I_L (W_L - W_p) + W_p,$$

где W – необходимая влажность грунта; I_L – заданный показатель текучести; W_L – верхняя граница текучести; W_p – нижняя граница раскатывания.

Таблица 1

Физические характеристики глинистого грунта

Характеристика	Площадка 1	Площадка 2
Влажность на границе раскатывания W_p , доли ед.	0,13	0,12
Влажность на границе текучести W_L , доли ед.	0,37	0,33
Число пластичности I_p , доли ед.	0,23	0,31
Плотность мин. части грунта ρ_s , г/см ³	2,74	2,74

После определения влажности грунта рассчитывается количество воды, которое было необходимо добавить в грунт для получения грунта заданной консистенции:

$$m_w = W \cdot m_s,$$

где m_w – необходимая масса воды; m_s – масса сухого грунта.

В качестве армирования использовались следующие геосинтетические материалы: тканый геотекстиль *Геоспан ТН-50*, нетканый геотекстиль *Дорнит*, геокомпозит *Polyfelt Rock PЕС* и полипропиленовое волокно (рис. 1).

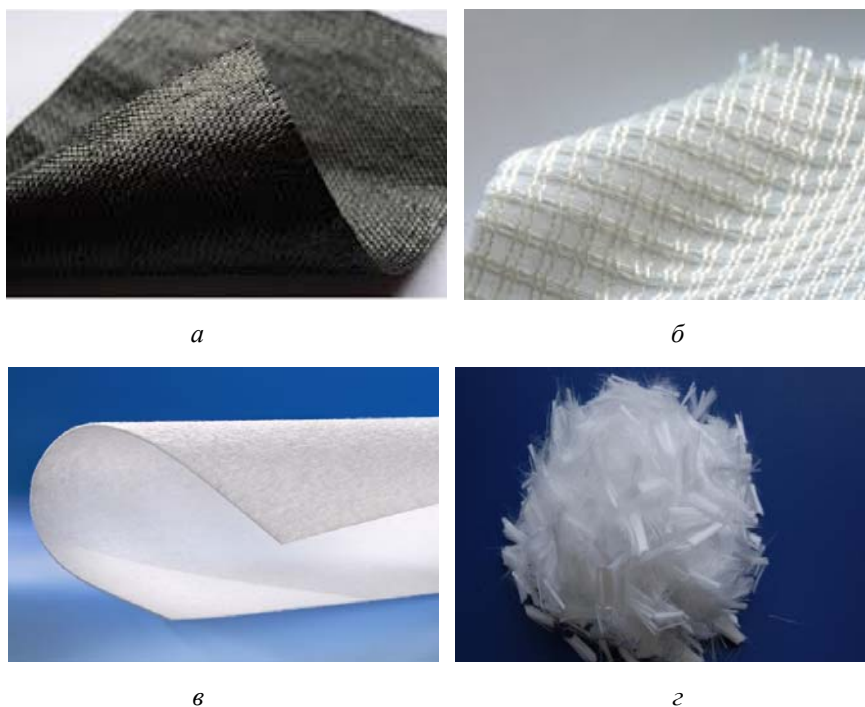


Рис. 1. Используемые геосинтетические материалы: а – тканый геотекстиль; б – геокомпозит; в – нетканый геотекстиль; г – полипропиленовое волокно

Подробная информация о применяемых материалах приведена в работе [7]. Физико-механические характеристики геосинтетиков представлены в табл. 2 [11, 12]. Технические характеристики полипропиленового волокна следующие: длина отрезка 12 мм; диаметр элементарного волокна 20 мкм; прочность на растяжение 1,0 МПа; удлинение до разрыва 150–250 %.

Таблица 2

Физико-механические характеристики геосинтетических материалов

Характеристика	Нетканый геотекстиль Дорнит	Тканый геотекстиль Геоспан ТН-50	Геокompозит Polyfelt Rock PЕС
Состав	Полипропилен	Полипропилен	Полипропилен, полиэфир
Поверхностная плотность, г/м ²	530	296	530
Разрывная нагрузка при испытании на растяжение вдоль/поперек, кН	13/14	47,4/46,6	29/67,8
Относительное удлинение при максимальной нагрузке вдоль/поперек, %	50/60	14,14/14	10/18

Прочностные характеристики глинистого грунта были получены по методу одноплоскостного среза по консолидированно-дренированной схеме согласно ГОСТ 12248–2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости». Предварительное уплотнение грунтов производилось в уплотнителе до достижения стабилизации деформации. После этого образцы переносились в срезную коробку и нагружались нормальным давлением, при котором происходило уплотнение грунта. Испытание на срез проводилось в кинематическом режиме с заданной скоростью среза 0,02 мм/мин. Для испытаний на одноплоскостной срез использовались грунты нарушенного сложения с заданной влажностью, плотностью и показателем текучести. Диаметр образцов составил 71,4 мм, высота – 35 мм. Образцы грунта с показателем текучести $I_L = 0,4$ были испытаны при значениях нормального давления 100, 200 и 300 кПа; образцы с показателями текучести $I_L = 0,6$ и $I_L = 0,8$ – при значениях нормального давления 100, 150 и 200 кПа. За критерий окончания испытания принимался момент, когда выполнялось одно из двух условий: либо срезающая нагрузка достигала максимального значения, после чего начиналось некоторое ее снижение, либо относительная деформация образца превысит 10 %.

Аналогично испытывались и образцы глинистых грунтов, армированных различными геосинтетическими материалами. Глинистые грунты, отобранные с площадки 1, были армированы геотекстилем и геокомпозитом, а грунты, отобранные с площадки 2, – полипропиленовым волокном. При армировании образцов геотекстилем и геокомпозитом слой геосинтетика был расположен внутри образца грунта. Для получения фиброармированного глинистого грунта смесь глины и воды перемешивалась с волокнами полипропилена заданной массы до однородного состояния. Для армирования была использована полипропиленовая фибра в количестве 1 и 2 % по массе. Для возможности сравнения полученных результатов для испытаний были изготовлены образцы-близнецы с контролируемой влажностью и плотностью [13–15].

Данные, полученные по результатам испытаний на одноплоскостной срез армированных и неармированных образцов, были обработаны согласно действующим стандартам. Значения полученных прочностных характеристик армированных и неармированных грунтов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения прочностных характеристик глинистого грунта по результатам испытаний на одноплоскостной срез

Тип армирования образца	Удельное сцепление c , кПа			Угол внутреннего трения φ , град		
	$I_L = 0,4$	$I_L = 0,6$	$I_L = 0,8$	$I_L = 0,4$	$I_L = 0,6$	$I_L = 0,8$
<i>Образцы грунтов с площадки 1</i>						
Неармированные образцы	13,3	11,4	1,3	12,1	10	18
Образцы, армированные тканым геотекстилем	23,3	15,2	10	18,8	16,5	12
Образцы, армированные нетканым геотекстилем	18,3	12,1	11,25	15,5	15,1	7,9
Образцы, армированные геокомпозитом	19,9	13,6	10,92	20,1	16,7	8,8

Окончание табл. 3

Тип армирования образца	Удельное сцепление c , кПа			Угол внутреннего трения ϕ , град		
	$I_L = 0,4$	$I_L = 0,6$	$I_L = 0,8$	$I_L = 0,4$	$I_L = 0,6$	$I_L = 0,8$
<i>Образцы грунтов с площадки 2</i>						
Неармированные образцы	11,3	10,2	1,1	15,3	11	18,5
Образцы с 1 % армированием полипропиленовой фиброй	22,8	20,1	10,7	18,1	17,6	14,8
Образцы с 2 % армированием полипропиленовой фиброй	35,5	27,3	21,0	24,1	23,3	14,0

Для наглядной оценки влияния различных типов геосинтетических материалов значения прочностных характеристик неармированных образцов глинистого грунта были приняты за единицу, а изменение этих параметров у армогрунта было выражено в долях единицы. Соответствующие данные приведены в табл. 4.

Таблица 4

Относительные изменения прочностных характеристик глинистого грунта в результате армирования его геосинтетическими материалами

Тип армирования образца	Изменение удельного сцепления c , кПа			Изменение угла внутреннего трения ϕ , град		
	$I_L = 0,4$	$I_L = 0,6$	$I_L = 0,8$	$I_L = 0,4$	$I_L = 0,6$	$I_L = 0,8$
<i>Образцы грунтов с площадки 1</i>						
Неармированные образцы	1	1	1	1	1	1
Образцы, армированные тканым геотекстилем	1,75	1,33	1,15	1,5	1,65	0,6
Образцы, армированные нетканым геотекстилем	1,37	1,08	8,65	1,28	1,51	0,43
Образцы, армированные геокомпозитом	1,49	1,19	8,4	1,66	1,67	0,48
<i>Образцы грунтов с площадки 2</i>						
Неармированные образцы	1	1	1	1	1	1
Образцы с 1 % армированием полипропиленовой фиброй	2,02	1,97	9,73	1,18	1,6	0,8
Образцы с 2 % армированием полипропиленовой фиброй	3,14	2,68	19,09	1,58	2,12	0,76

По результатам испытаний также были построены графики зависимости значений удельного сцепления и угла внутреннего трения от типа армирования образцов грунта (рис. 2–5).

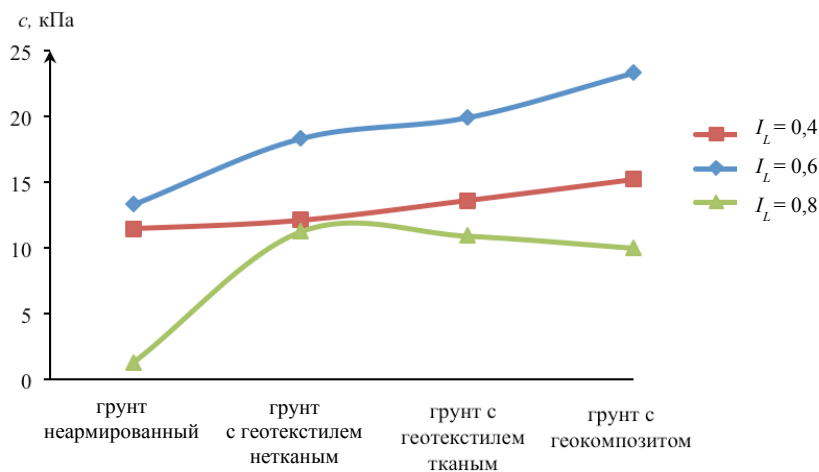


Рис. 2. Зависимость значений удельного сцепления от типа армирования грунта для площадки 1

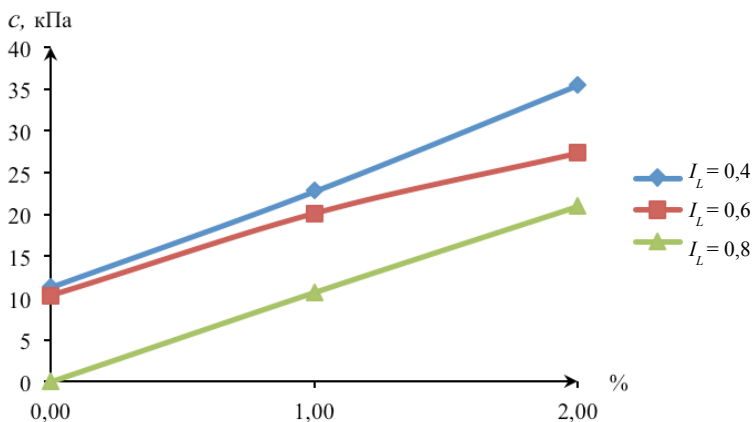


Рис. 3. Зависимость значений удельного сцепления от процента армирования грунта для площадки 2

Анализ результатов лабораторных испытаний по методу одноплоскостного среза показал, что армирование грунтов различными типами геосинтетических материалов способствует увеличению прочностных характеристик. Исключения составили значения угла внутреннего трения армированного грунта с пока-

затемлем текучести $I_L = 0,8$. При этом существует тенденция снижения эффективности любого из предложенных видов армирования с увеличением влажности.

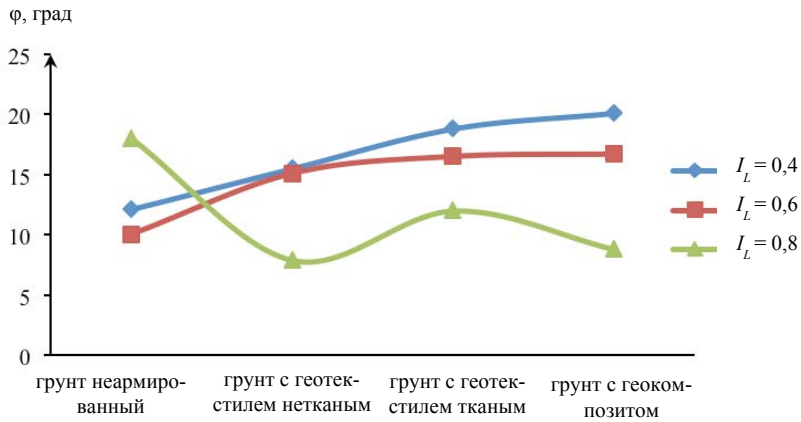


Рис. 4. Зависимость значений угла внутреннего трения от типа армирования грунта для площадки 1

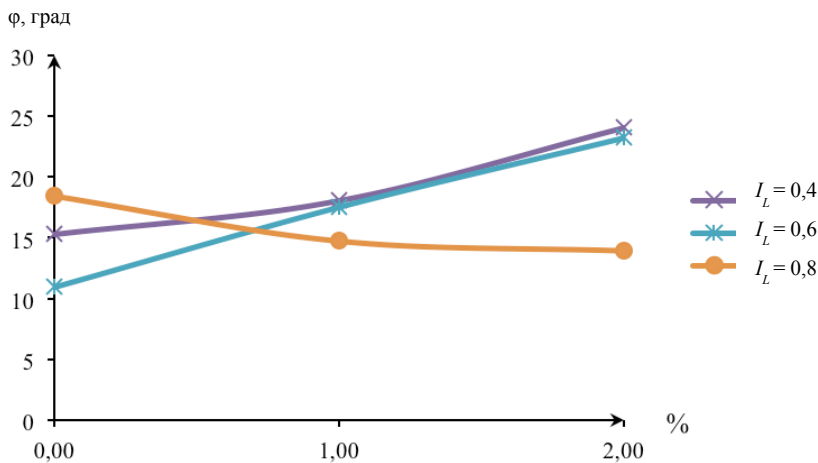


Рис. 5. Зависимость значений угла внутреннего трения от процента армирования грунта для площадки 2

Выводы:

1. С увеличением влажности прочностные характеристики глинистого грунта ухудшаются.

2. По результатам исследования можно отметить, что армирование грунтов геосинтетическими материалами в целом благоприятно влияет на прочностные характеристики грунтов.

3. Наиболее положительное влияние на значения прочностных свойств глинистых грунтов достигается при внедрении в грунт полипропиленового волокна (см. табл. 4). При этом с увеличением процента содержания волокон полипропилена увеличиваются и параметры прочности грунта, эффективность армирования повышается.

4. Наиболее эффективным из ленточных геосинтетиков для увеличения параметров прочности глинистого грунта туго- и мягкопластичной консистенции оказался тканый геотекстиль. Армирование грунта этим материалом позволило увеличить значение удельного сцепления на 33–75 %, значения угла внутреннего трения – на 50–65 %.

5. Армирование грунтов текучепластичной консистенции снижает значение угла внутреннего трения. При армировании полипропиленовым волокном значения угла внутреннего трения ухудшаются до 20 %, при армировании ленточными геосинтетиками – до 48 %.

Библиографический список

1. The use of synthetic materials in the highway engineering in the Urals / A.A. Bartolomey, V.I. Kleveko, V.G. Ofrikhter, A.B. Ponomarev, A.N. Bogomolov // 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. Кузнецова А.С., Пономарев А.Б. Лабораторные исследования прочностных характеристик фиброармированного песка различной степени водонасыщения // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 6. – С. 127–132.

3. Машенко 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.

4. Hejazi S.M., Sheikhzadeh M.A. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers // Construction and Building Materials. – 2012. – № 30. – С. 101–116.

5. Fiber reinforced sands: experiments and modeling / A. Diambra, E. Ibraim, M. Wood, A. Russell // Geotextiles and Geomembranes. – 2010. – № 28. – С. 238–250.

6. Yetimoglu T., Salbas O. A study on shear strength of sands reinforced with randomly distributed discrete fibers // *Geotextiles and Geomembranes*. – 2003. – № 21. – С. 103–110.

7. Анализ влияния различных типов армирования на деформационные характеристики глинистого грунта / А.Н. Богомолов, А.Б. Пономарев, А.В. Машенко, А.С. Кузнецова // *Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая*. – 2014. – № 4(35). – С. 11. – URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

8. Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса. – Пенза: Изд-во ПГУАС, 2008. – 696 с.

9. Калошина С.В., Пономарев А.Б. Об инженерно-геологических условиях строительства г. Перми // *Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях: тр. междунар. науч.-техн. конф., посвященной 50-летию БашНИИСтроя: в 3 т.* – Уфа, 2006. – Т. 2. – С. 119–124.

10. Кузнецова А.С., Пономарев А.Б. Планирование и подготовка эксперимента трехосного сжатия глинистого грунта, улучшенного фибровым армированием // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. – 2013. – № 1. – С. 151–161.

11. Татьянников Д.А., Пономарев А.Б., Клевеко В.И. Определение линейной жесткости геосинтетических материалов // *Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая*. – 2013. – № 2(27). – С. 19. – URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

12. Определение характеристик трения для двух типов геосинтетических материалов путем проведения испытаний на сдвиг / Д.А. Татьянников, А.Б. Пономарев, В.И. Клевеко, S. Schlomp, S. Schwerdt // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. – 2014. – № 1. – С. 174–186. – URL: dx.doi.org/10.15593/2224-9826/2014.1.15.

13. Fiber reinforced sands: experiments and modeling / E. Ibraim, A. Diambra, A.R. Russell, D.M. Wood // *Geotextiles and Geomembranes*. – 2012. – № 34. – С. 69–79.

14. Результаты исследований фиброармированного песка / А.Б. Пономарев, А.С. Кузнецова, О.А. Богомолова // *Актуальные проблемы геотехники: сб. статей, посвященный 60-летию профессора А.Н. Богомолова*. – Волгоград, 2014. – С. 140–147.

15. Kleveko V.I. Research of the clay soil reinforced bases work // *EuroGeo-5: Proc. of the Fifth Geosynthetics Congress: in 4 vol.* – Valencia, Spain, 2012. – Vol. 4. – P. 317–321.

References

1. Bartolomey A.A., Kleveko V.I., Ofrikhter V.G., Ponomarev 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. Kuznetsova A.S., Ponomarev A.B. Laboratornye issledovaniya prochnostnykh kharakteristik fibroarmirovannogo peska razlichnoj stepeni vodonasyshcheniya. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2014, no. 6, pp. 151–161.

3. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. Analiz izmeneniya prochnostnykh i deformatsionnykh svoystv grunta, armirovannogo geosinteticheskimi materialami pri raznoj stepeni vodonasyshteniya. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 4, pp. 264–273.
4. Hejazi S.M., Sheikhzadeh M.A. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers. *Construction and Building Materials*, 2012, no. 30, pp. 101–116.
5. Diambra A., Ibraim E., Wood M., Russell A. Fiber reinforced sands: experiments and modeling. *Geotextiles and Geomembranes*, 2010, no. 28, pp. 238–250.
6. Yetimoglu T., Salbas O. A study on shear strength of sands reinforced with randomly distributed discrete fibers. *Geotextiles and Geomembranes*, 2003, no. 21, pp. 103–110.
7. Bogomolov A.N., Ponomarev A.B., Mashchenko A.V., Kuznetsova A.S. Analiz vliyaniya razlichnykh tipov armirovaniya na deformatsionnye kharakteristiki glinistogo grunta. *Internet-vestnik VolgGASU. Seriya: Politematicheskaya*, 2014, no. 4(35), p. 11, available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
8. Boldyrev G.G. Metody opredeleniya mekhanicheskikh svoystv gruntov. Sostoyanie voprosa. Penza, 2008. 696 p.
9. Kaloshina S.V., Ponomarev A.B. Ob inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh stroitel'stva g. Permi. *Trudy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Problemy mekhaniki gruntov i fundamentostroeniya v slozhnykh gruntovykh usloviyakh»*. Ufa, 2006, vol. 2, pp. 119–124.
10. Kuznetsova A.S., Ponomarev A.B. Planirovanie i podgotovka eksperimenta trekhsnogo szhatiya glinistogo grunta, uluchshennogo fibrovym armirovaniem. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 1, pp. 151–161.
11. Tatiannikov D.A., Ponomarev A.B., Kleveko V.I. Opredelenie lineinoj zhestkosti geosinteticheskikh materialov. *Internet-vestnik VolgGASU. Seriya: Politematicheskaya*, 2013, no. 2(27), p. 19, available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
12. Tatiannikov D.A., Ponomarev A.B., Kleveko V.I., Schlomp S., Schwerdt S. Opredelenie kharakteristik treniya dlya dvukh tipov geosinteticheskikh materialov putem provedeniya ispytaniy na sdvig. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 1, pp. 174–186, available at: dx.doi.org/10.15593/2224-9826/2014.1.15.
13. Ibraim E., Diambra A., Russell A.R., Wood D.M. Fiber reinforced sands: experiments and modeling. *Geotextiles and Geomembranes*, 2012, no. 34, pp. 69–79.
14. Ponomarev A.B., Kuznetsova A.S., Bogomolova O.A. Rezultaty issledovaniy fibroarmirovannogo peska. *Aktualnye problemy geotekhniki*. Volgograd, 2014, pp. 140–147.
15. Kleveko V.I. Research of the clay soil reinforced bases work. *Proceedings of the Fifth Geosynthetics Congress «EuroGeo-5»*. Valencia, Spain, 2012, vol. 4, pp. 317–321.

Получено 31.10.15

A. Grishina, A. Mashchenko, A. Ponomarev

RESULTS OF STRENGTH RESEARCH OF CLAY SOIL REINFORCED BY DIFFERENT GEOSYNTHETICS

The aim of this article is investigate the influence of reinforcement on the bearing capacity of clay soils with different consistency in Perm region. Reinforcement is strengthening of the ground arrays with materials. One of these materials is geosynthetics. Geosynthetics is the class of synthetic construction materials used for creating layers with different purposes (reinforcing, draining, protecting, filtrating, waterproofing, thermal insulating) in transport, civil and hydraulic engineering. The researches were performed in the laboratory of the department "Building production and geotechnics" of PNRPU using a complex of automated test systems in construction "ASIS-6". There is a preparation technology of samples with specified physical properties and the results of shear tests. Test method is also described. Following materials were selected for research as a geosynthtic materials: geotextiles, geocomposite, polypropylene fiber. Their physical and mechanical characteristics obtained from the results of tests on a tensile testing machine MT-136 were described. Shear test with reinforcing with above-listed geosynthetic materials was performed. The article presents test results of reinforced samples of soil. Analysis of different reinforcement layers on the strength properties of clay soil with different consistency was executed.

Keywords: strength properties, clay soil, geosynthetics, shear tests.

Гришина Алла Сергеевна (Пермь, Россия) – аспирант, ассистент кафедры «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: koallita@yandex.ru).

Мащенко Александра Витальевна (Пермь, Россия) – аспирант, ассистент кафедры «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: lybra013@yandex.ru).

Пономарев Андрей Будимирович (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: spstf@pstu.ru).

Grishina Alla (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student, assistant of the Department of "Building production and geotechnics", Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: koallita@yandex.ru).

Mashchenko Aleksandra (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student, assistant of the Department of "Building production and geotechnics", Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: lybra013@yandex.ru).

Ponomarev Andrej (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technics, Professor, Head of Department of Construction Technology and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: spstf@pstu.ru).