

УДК 624.138.9

Д.А. Татьянников, А.Б. Пономарев, В.И. Клевико

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

Sven-Henning Schlömp, Sven Schwerdt

Hochschule Magdeburg-Stendal (Германия)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕНИЯ ДЛЯ ДВУХ ТИПОВ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА СДВИГ

Представлено описание сдвиговых испытаний с целью определения характеристик трения для двух типов геосинтетических материалов, проведенных согласно немецкому стандарту DIN 12957-1. Полученные в ходе испытаний зависимости представляют особый интерес при проектировании армированных фундаментных подушек, поскольку позволяют вести расчет согласно европейским нормам EBGEO. Также полученные характеристики трения геосинтетических материалов позволяют установить зависимости между другими механическими характеристиками армированных фундаментных подушек.

Ключевые слова: сдвиг, коэффициент трения, касательное напряжение, нормальное напряжение, коэффициенты эффективности, армированная фундаментная подушка, геосинтетические материалы.

В настоящее время уже трудно представить себе любую строительную площадку без наличия на ней геосинтетических материалов. Из-за своих уникальных свойств эти материалы нашли широкое применение во всех областях строительства. Однако, как показывает практика, в нашей стране данный тип материалов используется, как правило, бездумно, или же, наоборот, используется в ограниченном объеме, что связано с отсутствием грамотной нормативной базы и, как следствие, отсутствием какого-либо контроля качества этих материалов. Такое положение дел объясняется тем, что в нашей стране геосинтетические материалы нашли широкое применение лишь в конце прошлого века, в то время как в Европе к этому моменту не только была накоплена теоретическая база по их применению, но и велась подготовка специалистов, способных работать с этими материалами [1].

Российские ученые-геотехники в настоящее время ведут комплексное исследование всех типов геосинтетических материалов, возможности их применения в различных инженерно-геологических

условиях [2–10]. Но несмотря на это, остается достаточно большое количество незатронутых вопросов, среди которых – исследование взаимодействия геосинтетических материалов с грунтом. Данное взаимодействие возможно оценить путем проведения испытаний на сдвиг и испытаний на выдергивание геосинтетического материала из грунта [11]. Подобные эксперименты не проводились в нашей стране ввиду отсутствия необходимого оборудования, поэтому авторы задались целью провести данные исследования, чтобы установить необходимые параметры взаимодействия геосинтетиков с грунтом. Эти параметры необходимы для грамотного проектирования армированных фундаментных подушек, что и является конечной целью исследований. В данной статье авторами подробно освещены испытания на сдвиг (*shear test*).

Согласно нормативной документации¹ испытания на сдвиг армированного грунта предназначены для оценки характеристик трения в контакте геосинтетический материал – песок. Конечным результатом является определение коэффициента трения, угла внутреннего трения и сцепления.

Приборы и оборудование

Все эксперименты проводились на базе строительного факультета Hochschule Magdeburg-Stendal (Германия). В качестве экспериментального оборудования использовался специальная сдвиговая установка (рис. 1).

Данная установка выполнена в соответствии с требованиями нормативов². Основная часть установки состоит из управляемого зажимного устройства и разделенной на две части коробки размерами 500×500×200 мм. Геосинтетический материал располагается между заполненными песком верхней и нижней частями коробки и закреплен в зажимном устройстве. Вертикальная нагрузка создается с помощью пневмокомпрессора, горизонтальное смещение геосинтетика происходит с помощью зажимного устройства, оснащенного шаговым двига-

¹ DIN EN ISO 12957-1. Geokunststoffe – Bestimmung der Reibungseigenschaften – Teil 1: Scherkastenversuch (ISO 12957-1:2005); Deutsche Fassung EN ISO 12957-1:2005.

² Там же.

телем. Процесс проведения испытания полностью автоматизированный, все входные данные задаются в специальной программе на ПК.



Рис. 1. Установка для прямого сдвига

В качестве грунта использовался песок с определенными [8] физико-механическими характеристиками, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики песка

Характеристика	Обозначение, ед. изм.	Значения
Плотность частиц грунта	ρ_s , кг/м ³	1944
Плотность грунта	ρ , кг/м ³	1483
Удельный вес	γ , кН/м ³	14,53
Коэффициент пористости	e	0,32

Исходя из полученного гранулометрического состава, определенного в соответствии с ГОСТом³, песок однородный, средней крупности.

При проведении испытания на сдвиг использовались два типа геосинтетических материалов: георешетка **Secugrid** (NAUE GmbH & Co) и тканый геотекстиль **Геоспан** (Гекса) (рис. 2, табл. 2).

³ ГОСТ 12536–79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.

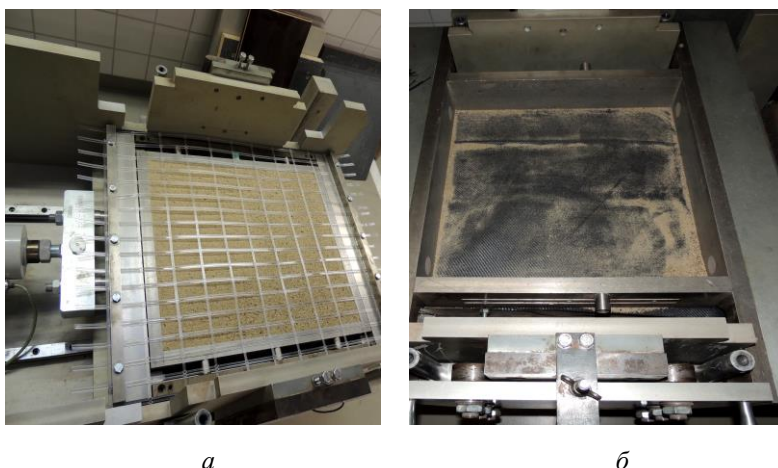


Рис. 2. Геосинтетические материалы:
a – георешетка; *б* – тканый геотекстиль

Таблица 2

Паспортные физико-механические
 характеристики геосинтетических материалов

Характеристика	Значение	
	Георешетка	Геотекстиль
Поверхностная плотность	380 г/м ²	275 г/м ²
Максимальная нагрузка при испытании на растяжение вдоль/поперек	80/20 кН/м	50 кН/м
Относительное удлинение при максимальной нагрузке вдоль/поперек	8 %	17/15 %

Методика проведения сдвиговых испытаний

Испытания проводились в соответствии с требованиями нормативной документации⁴. В нижнюю часть сдвиговой коробки высотой 10 см укладывается песок с послойным уплотнением через каждые 2,5 см. Далее идет закрепление геосинтетического материала в зажимном устройстве (рис. 2, *a*), размеры геосинтетического материала должны полностью перекрывать площадь сдвиговой коробки и составляют 850×580 мм. Затем устанавливается верхняя часть коробки, также с послойным уплотнением песка, на этом заканчиваются подготовительные работы.

Испытание на сдвиг начинается с приложения вертикальной нагрузки, которая выдерживается в течение часа, после чего начинается горизонтальное перемещение зажима с материалом. В качестве вер-

⁴ DIN EN ISO 12957-1. Geokunststoffe – Bestimmung der Reibungseigenschaften – Teil 1: Scherkastenversuch (ISO 12957-1:2005); Deutsche Fassung EN ISO 12957-1:2005.

тикальной нагрузки были приняты следующие: 12,5 кН (50 кПа), 25 кН (100 кПа), 50 кН (200 кПа). Скорость движения зажима была установлена 0,5 мм/мин.

Испытание заканчивается при одном из следующих параметров:

- перемещение зажима составляет 140 мм;
- в геосинтетическом материале возникают необратимые деформации.

Всего было проведено три серии испытаний при всех вертикальных нагрузках:

1. Испытание системы песок – георешетка в направлении рабочих полос.
2. Испытание системы песок – геотекстиль.
3. Испытание системы песок – песок без армирующих материалов.

Основные результаты испытаний

Одной из основных задач экспериментальных исследований являлось установление зависимости развития касательного напряжения от смещения материала для различных типов систем.

По результатам проведенных экспериментов получены графики зависимости смещения от касательного напряжения (рис. 3–5). Полученные данные являются исходным материалом при изучении взаимодействия грунт – геосинтетик.

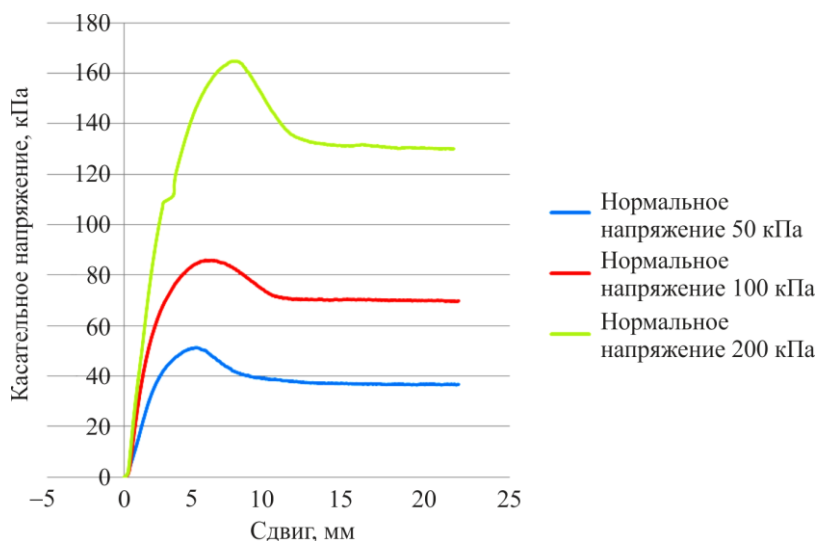


Рис. 3. Результаты испытаний на сдвиг для системы песок – песок в виде графиков зависимости касательного напряжения от сдвига

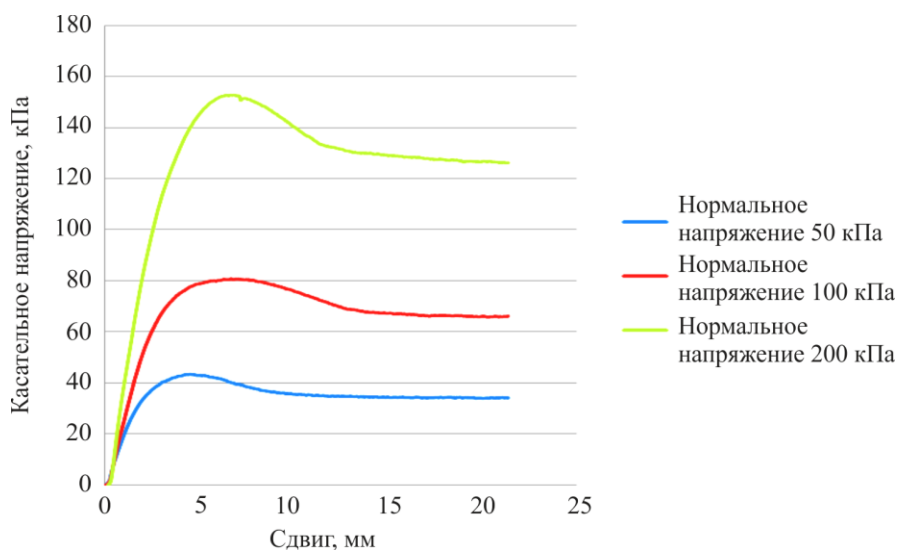


Рис. 4. Результаты испытаний на сдвиг для системы песок – георешетка в виде графиков зависимости касательного напряжения от сдвига

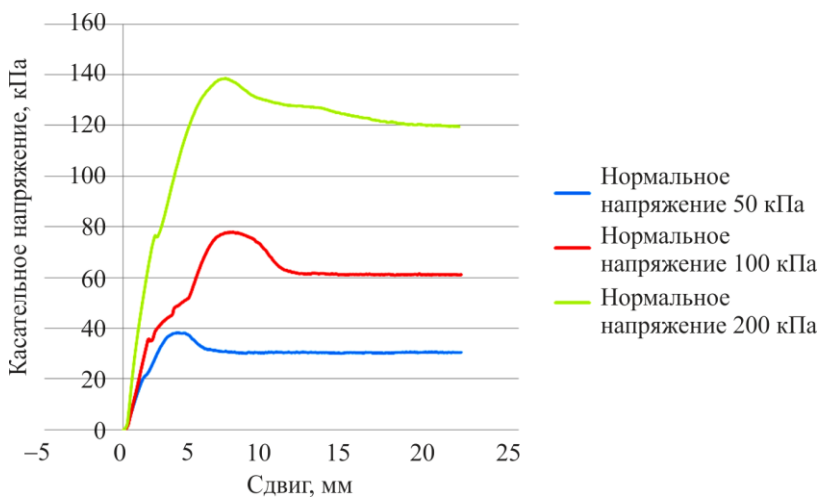


Рис. 5. Результаты испытаний на сдвиг для системы песок – геотекстиль в виде графиков зависимости касательного напряжения от сдвига

Для более полной и точной оценки взаимодействия геосинтетического материала с грунтом вводится коэффициент трения для сдвигов⁵, который определяется по формуле

⁵ DIN EN ISO 12957-1. Geokunststoffe – Bestimmung der Reibungseigenschaften – Teil 1: Scherkastenversuch (ISO 12957-1:2005); Deutsche Fassung EN ISO 12957-1:2005.

$$f_g(\sigma) = \frac{\tau^{\max}(\sigma)}{\tau_s^{\max}(\sigma)}, \quad (1)$$

где $\tau^{\max}(\sigma)$ – максимальное касательное напряжение, возникающее при соответствующем нормальном напряжении σ при испытании на сдвиг системы грунт – геосинтетический материал; $\tau_s^{\max}(\sigma)$ – максимальное касательное напряжение, возникающее при соответствующем нормальном напряжении σ при испытании на сдвиг системы грунт – грунт.

Полученные значения коэффициента трения сведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Значения коэффициентов трения

Тип системы	Нормальное напряжение, кПа	Коэффициент трения
Песок – георешетка	50	0,846
	100	0,939
	200	0,927
Песок – геотекстиль	50	0,745
	100	0,907
	200	0,841

Согласно требованиям нормативов⁶ и работе [12] для данных типов испытаний по закону Мора – Кулона возможно определить прочностные характеристики (угол внутреннего трения и сцепление) для систем: песок – песок и песок – геосинтетический материал. А для сравнения данных характеристик при двух системах вводятся следующие коэффициенты эффективности⁷:

$$E_c = \frac{c_a}{c} 100 \%, \quad (2)$$

$$E_\varphi = \frac{\text{tg}\delta}{\text{tg}\varphi} 100 \%, \quad (3)$$

где E_c – коэффициент эффективности по сцеплению; E_φ – коэффициент эффективности по трению; c_a – сцепление для системы грунт – геосинтетический материал, кПа; c – сцепление для системы грунт – грунт, кПа;

⁶ DIN EN ISO 12957-1. Geokunststoffe – Bestimmung der Reibungseigenschaften – Teil 1: Scherkastenversuch (ISO 12957-1:2005); Deutsche Fassung EN ISO 12957-1:2005.

⁷ Там же.

δ – угол внутреннего трения для системы грунт – геосинтетический материал; φ – угол внутреннего трения для системы грунт – грунт.

Полученные результаты сведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты испытаний на сдвиг

Тип системы	Сравнение угла внутреннего трения		Сравнение сцепления	
	Значение угла внутреннего трения	Коэффициент эффективности по трению, %	Значение сцепления, кПа	Коэффициент эффективности по сцеплению, %
Песок – песок	32,1	100	5,85	100
Песок – георешетка	31,7	98,7	3,5	60
Песок – геотекстиль	30	93	2,87	49,5

Анализ результатов испытаний на сдвиг

По итогам выполненных испытаний на сдвиг можно сделать следующие выводы:

1. Исходя из анализа экспериментальных зависимостей на рис. 3–5 видно, что сопротивление сдвигу для системы песок – песок достаточно близко аналогичному показателю системы песок – георешетка, система песок – геотекстиль имеет худшие результаты.

2. Значение коэффициента трения растет при увеличении нормального напряжения до пикового значения, а затем снижается для обоих типов систем с геосинтетическими материалами. Данную зависимость необходимо учитывать при проектировании армогрунтовых конструкций.

3. Полученные коэффициенты эффективности (см. табл. 4) означают, что армирование уменьшает прочностные характеристики грунтов по контакту с армирующими материалами.

4. В конструкциях, которые воспринимают значительные сдвиговые усилия, использование георешеток целесообразнее, чем использование геотекстильных материалов. Данный вывод подтверждается полученными коэффициентами трения и коэффициентами эффективности.

Определенные в результате испытаний зависимости характеристик трения по контакту геосинтетический материал – грунт представляют значительный интерес для изучения этого взаимодействия и сравнения данных результатов с тестами на выдергивание, а также

позволяют проектировать армогрунтовые конструкции согласно европейским нормам ЕВГЕО и апробировать их в российских инженерно-геологических условиях.

Библиографический список

1. Пономарев А.Б., Офрихтер В.Г. Анализ и проблемы исследований геосинтетических материалов в России // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 68–73.
2. Клевеко В.И. Оценка величины осадки фундамента на глинистых основаниях, армированных горизонтальными прослойками // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2012. – №1. – С. 89–98.
3. Кузнецова А.С., Пономарев А.Б. Планирование и подготовка эксперимента трехосного сжатия глинистого грунта, улучшенного фибровым армированием // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1. – С. 151–161.
4. Золотозубов Д.Г., Пономарев А.Б. Экспериментальные исследования армированных оснований при провалах грунта // Вестник гражданских инженеров. – 2009. – № 2. – С. 91–94.
5. Пономарев А.Б., Золотозубов Д.Г. Влияние глубины заложения армирующего материала на несущую способность основания при провалах грунта // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – № 2 (23). – С. 100–104.
6. Пономарев А.Б., Татьянников Д.А., Клевеко В.И. Определение линейной жесткости геосинтетических материалов [Электронный ресурс] // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2013. – Вып. 2(27). – URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevTatyannikovKleveko-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevTatyannikovKleveko-2013_2(27).pdf).
7. Татьянников Д.А., Клевеко В.И. Влияние сжимаемости армирующего материала на осадку фундамента при штамповых модельных испытаниях на примере геокомпозита // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 124–132.
8. Татьянников Д.А., Клевеко В.И., Пономарев А.Б. Анализ работы армированного песчаного основания на основе штамповых модельных испытаний // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Урбанистика. – 2012. – № 4. – С. 92–103.

9. Тимофеева Л.М., Тимофеев М.Р. О проблемах применения геосинтетических материалов в современном дорожном строительстве // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч. практ. конф. – 2012. – Т. 3. – С. 210–214.

10. Усманов Р.А. Повышение эффективности применения уплотненных грунтовых подушек на слабых грунтах // Вестник МГСУ. – 2013. – № 5. – С. 69–79.

11. Alfaro M.C., Miura N., Bergado D.T. Soil Geogrid Reinforcement Interaction by Pullout and Direct Shear Tests // Geotechnical Testing Journal, GTJODJ. – 1995. – Vol. 18, № 2. – P. 157–167.

12. Robert M. Koerner. Designing with Geosynthetics. Upper Saddle River, New Jerse, 1999.

References

1. 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.

2. Kleveko V.I. Otsenka velichiny osadki fundamenta na glinistykh osnovaniakh, armiro-vannykh gorizontalmymi prosloikami [Estimation of size of settlement of the foundation on the clay soil reinforced by horizontal layers]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Okhrana okruzhaiushchei sredy, transport, bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti*. 2012, no. 1, pp. 89–98.

3. Kuznetsova A.S., Ponomarev A.B. Planirovanie i podgotovka eksperimenta trekhosnogo szhatiia glinistogo grunta, uluchshennogo fibrovym armirovaniem [Experimental design and triaxial test preparation of clay soils treated by fiber reinforcement]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2013, no. 1, pp. 151–161.

4. Zolotozubov D.G., Ponomarev A.B. Eksperimental'nye issledovaniia armi-rovannykh osnovanii pri provalakh grunta [Experimental researches of the reinforced bases at under fall in ground mass]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2009, no. 2, pp. 91–94.

5. Ponomarev A.B., Zolotozubov D.G. Vliianie glubiny zalozheniia armiruiushche-go materiala na nesushchiu sposobnost' osnovaniia pri

provalakh grunta [Influence of depth of a contour interval of a reinforcing material on a base capacity at under fall in ground mass]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2010, no. 2 (23), pp. 100–104.

6. Ponomarev A.B., Tat'iannikov D.A., Kleveko V.I. Opredelenie lineinoi zhestkosti geosinteticheskikh materialov [Definition of linear stiffness of geosynthetic materials]. *Internet-vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Politematicheskaya*, 2013, no. 2 (27), available at: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevTatyannikovKleveko-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevTatyannikovKleveko-2013_2(27).pdf).

7. 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'stkogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 2, pp. 124–132.

8. Tat'iannikov D.A., Kleveko V.I., Ponomarev A.B. Analiz raboty armirovannogo peschanogo osnovaniia na osnove shtampovykh model'nykh ispytaniy [Analysis of reinforced sand base with punching model tests]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'stkogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2012, no. 4, pp. 92–103.

9. Timofeeva L.M., Timofeev M.R. O problemakh primeneniia geosinteticheskikh materialov v sovremennom dorozhnom stroitel'stve [Problems of application of geosynthetic materials in a modern road construction]. *Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v transportnom komplekse*, 2012, vol. 3, pp. 210–214.

10. Usmanov R.A. Povyshenie effektivnosti primeneniia uplotnennykh gruntovykh podushek na slabykh gruntakh [Improvement of efficiency of application of condensed soil cushions to loose soils]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta*, 2013, no. 5, pp. 69–79.

11. Alfaro M.C., Miura N., Bergado D.T. Soil Geogrid Reinforcement Interaction by Pullout and Direct Shear Tests. *Geotechnical Testing Journal, GTJODJ*, June 1995, vol. 18, no. 2, pp. 157–167.

12. Robert M. Koerner. *Designing with Geosynthetics*. Upper Saddle River. New Jersey, 1999.

**D.A. Tatyannikov, A.B. Ponomarev, V.I. Kleveko
Sven-Henning Schlömp, Sven Schwerdt**

DETERMINATION OF FRICTION CHARACTERISTICS WITH SHEAR TEST FOR TWO TYPES OF GEOSYNTHETICS

The article discusses the shift of tests to determine the friction characteristics for the two types of geosynthetics. Tests were carried out according to the German standard DIN 12957-1. Obtained from tests depending of particular interest in the design of reinforced foundation pads as allows calculation according to European standards EBGEО. Just received the friction characteristics of geosynthetics allow us to establish the relationship between other mechanical properties of reinforced foundation pads.

Keywords: shear, friction, shear stress, normal stress, efficiency ratios, reinforced foundation pads, geosynthetics.

Об авторах

Татьянников Даниил Андреевич (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

Пономарев Андрей Будимирович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

Клевекко Владимир Иванович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

Sven-Henning Schlömp (Магдебург, Германия) – магистр естественных наук, инженер лаборатории геотехники строительного факультета Университета Магдебург-Штендаль (e-mail: Sven-Henning.Schlo-emp@HS-Magdeburg.de).

Sven Schwerdt (Магдебург, Германия) – д-р техн. наук, профессор строительного факультета Университета Магдебург-Штендаль (e-mail: sven.schwerdt@hs-magdeburg.de).

About the authors

Tatiannikov Daniil Andreevich (Perm, Russia) – Graduate student, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

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

Kleveko Vladimir Ivanovich (Perm, Russia) – Ph.D in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

Sven-Henning Schlömp (Magdeburg, Germany) – M.Sc., Engineer of laboratory of Geotechnics, Civil Engineering Faculty University of Magdeburg-Stendal (e-mail: Sven-Henning.Schloemp@HS-Magdeburg.de).

Sven Schwerdt (Magdeburg, Germany) – Doctor of Technics, Professor, Civil Engineering Faculty University of Magdeburg-Stendal (e-mail: sven.schwerdt@hs-magdeburg.de).

Получено 19.12.2013