

**М.В. Рубцова, В.И. Клевеко**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,  
Россия

## **Планирование и подготовка испытаний горизонтально армированных образцов грунта на приборе трехосного сжатия**

Сегодня геосинтетические материалы играют важную роль в геотехнике. В зависимости от типа (геотекстиль, георешетка, геомат, геомембрана и другие) геосинтетики могут выполнять разные функции: армирование, фильтрация, дренаж, гидроизоляция, разделение.

Изучение влияния геосинтетических материалов на характеристики грунтов ведется учеными из разных городов мира. Многие из них особое внимание уделяют испытаниям усиленного песчаного грунта на устройстве трехосного сжатия. Тогда как научные статьи, посвященные трехосным испытаниям армированного глинистого грунта, встречаются значительно реже.

В статье представлена методика проведения эксперимента с помощью устройства с камерой трехосного сжатия. Более того, описаны подготовительные мероприятия по определению физических характеристик грунта будущих образцов. Также статья содержит краткий анализ изученности данной области.

Ключевые слова: прибор трехосного сжатия, геосинтетические материалы, глина, песок, прочностные и деформационные характеристики.

**M.V. Rubtsova, V.I. Kleveko**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **The planning and preparation of tests of horizontally reinforced soil samples on triaxial test system**

Today geosynthetic materials have an important role in geotechnics. Depending on the type (geotextile, geogrid, geomat, geomembrane and others) geosynthetics can perform different functions: reinforcement, filtration, drainage, waterproofing, separation.

The study of the influence of geosynthetic materials on soil characteristics is conducted by scientists from different cities of the world. Many of them pay special attention to tests of reinforced sand soil on triaxial test system. While scientific papers on triaxial testing of reinforced clay soil are much less common.

The paper a technique for conducting an experiment using triaxial test system is presented. Moreover, preparatory measures to determine the physical characteristics of the soil of future samples are described. Also, the paper contains a brief analysis of the study of this area.

Key words: triaxial test system, geosynthetic materials, clay, sand, strength and deformation characteristics.

### **1. Введение**

В наше время непрерывное увеличение темпов и объемов строительства приводит к использованию территорий, которые состоят из слабых, легкосжимаемых грунтов. В связи с этим часто возникает необходимость улучшения грунтового основания проектируемых зданий и сооружений [1-2].

В большинстве случаев геотехники предпочитают механические методы улучшения оснований, а именно – армирование геосинтетиками.

В процессе разработки конструкции армирования инженеры опираются на экспериментальные данные, полученные в полевых или лабораторных условиях.

Особое место в разнообразии лабораторных методов занимает испытание грунтового образца на приборе трехосного сжатия [3-15].

При помощи прибора трехосного сжатия можно достаточно точно определить прочностные и деформационные характеристики грунтов, так как устройство наиболее реально моделирует поведение грунтов, в том числе армированных [16].

Активная разработка приборов трехосного сжатия началась во второй половине двадцатого века в нескольких странах. Один из первых зарегистрировал свой патент на изобретение ученый из США [17]. Позднее в 1975 году группа ученых из СССР предложила устройство трехосного сжатия, в котором используется образец грунта кубической формы [18].

На сегодняшний день представлены различные конструкции стабилометра, однако принципиальная схема остается неизменной (рис.1) [19-21].

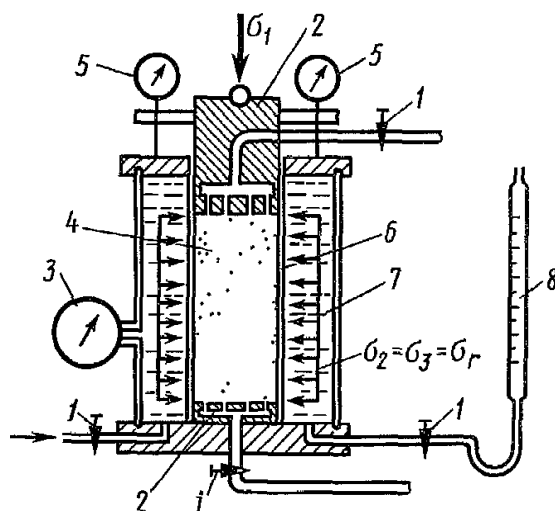


Рис. 1. Схема стабилометра: 1- краны; 2- штамп; 3- манометр; 4 – образец грунта; 5 – индикаторы перемещений; 6 – резиновая оболочка; 7 – рабочая камера прибора; 8 – градуированная трубка.

Научные работы, посвященные испытаниям усиленных грунтов в стабилометре, проводятся учеными по всему миру. Так, например, исследователи из Китая замеряли остаточную деформацию нетканого геотекстиля в образце из песка, используя для обработки изображения специальные программные комплексы [22]. Таким образом они смогли найти усилия, способствующие растягиванию геосинтетика в конструкции.

На конференции 2015 года в Японии Madhavi Latha. G. и Nandhi Varman. A.M. также представили научную статью по данной тематике [23]. Образцы из армированного сухого песка диаметром 300 мм и высотой 600 мм подвергались испытаниям по динамической и статической схеме нагружения. В качестве горизонтальных слоев армирования был выбран тканый геотекстиль толщиной 1 мм. В результате своих экспериментов исследователи выявили определенную зависимость эффективности геосинтетика от бокового давления при статической схеме нагружения. Кроме того, увеличение динамического модуля усиленных образцов при возрастании давления в камере прибора.

Из вышеописанного следует, что исследования в этой области геотехники проводятся довольно давно, однако, испытания армированных глинистых грунтов практически не проводились.

Испытание в приборе трехосного сжатия армированного глинистого образца позволит выявить степень изменения прочностных и деформационных характеристик таких грунтов.

## 2. Основная часть

Целью планируемого эксперимента является изучение влияния горизонтального армирования на прочностные и деформационные характеристики грунтов в приборе трехосного сжатия. Для достижения поставленной цели необходимо решить некоторые задачи:

- определить физико-механические характеристики грунта будущих образцов и подобрать необходимую влажность грунта;
- составить матрицу планирования эксперимента;
- осуществить испытания образцов;
- обработать полученные результаты;
- сформулировать выводы.

Подготовка и выполнение опытов осуществляется на основе материально-технической базы экспертной лаборатории кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Испытания образцов грунта будут проводиться на стабилометре с камерой трехосного сжатия типа А, помимо рабочей камеры имеется устройство силового нагружения и панель управления давлением. Необходимые параметры испытания задаются при помощи автоматизированной системы АСИС-6.

Согласно ГОСТ 12248-2010 «Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости» для определения прочностных характеристик подобрана схема неконсолидированно-недренированного испытания. Модуль общей деформации планируется найти с использованием консолидированно-дренированной схемы нагружения.

Эксперимент заключается в проведении трехосных испытаний армированных и неармированных образцов из глины и песка. Стабилометр позволяет испытывать образцы высотой 200 мм и диаметром 100 мм. Материалом армирования послужит тканый геотекстиль, расположение слоев можно увидеть на рисунке 2. В дальнейшем планируется произвести моделирование работы армированного грунта в адаптированном программном комплексе.

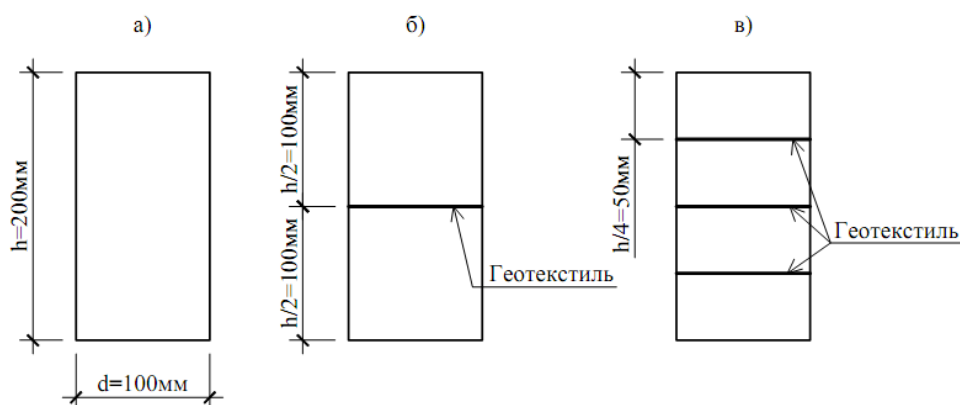


Рис. 2. Расположение армирующего слоя в образцах: а) без армирования; б) с одним армирующим слоем; в) с тремя армирующими слоями.

Для получения необходимой консистенции глины были определены следующие характеристики: влажность на границе раскатывания и влажность на границе текучести по ГОСТ 5180-2015 «Методы лабораторного определения физических характеристик». Затем было рассчитано число пластичности грунта и подобрана, с учетом

определенного значения показателя текучести ( $I_L = 0,6$  – мягкопластичная глина), требуемая влажность грунта.

С целью систематизации исходных данных и корректного определения параметров оптимизации составляется матрица планирования эксперимента (табл.1).

В роли входных варьируемых параметров выступают  $X_1$  – вид армирования («-1» – без армирующего элемента; «+1» – с одним армирующим слоем геотекстиля; «+2» – с тремя армирующими слоями геотекстиля) и  $X_2$  – тип грунта («-2» – песок мелкий; «-1» – глина мягкопластичная; «+1» – составной образец из 50% глины и 50% песка мелкого). Параметрами оптимизации будут являться следующие значения:  $Y_1$  – угол внутреннего трения;  $Y_2$  – удельное сцепление;  $Y_3$  – модуль общей деформации;  $Y_4, Y_5, Y_6$  – те же значения (соответственно) при расчете методом конечных элементов (МКЭ) в программном комплексе.

В связи с тем, что значения угла внутреннего трения и удельного сцепления можно рассчитать исходя из результатов минимум трех испытаний при разной нагрузке, то вертикальное давление, действующее на образец в камере прибора, будет равно 50, 75 и 100 кПа.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

№	$X_1$	$X_2$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$ (МКЭ)	$Y_5$ (МКЭ)	$Y_6$ (МКЭ)	Кол-во опытов
1	-1	-2	$X_1^1 X_2^1 Y_1$	$X_1^1 X_2^1 Y_2$	$X_1^1 X_2^1 Y_3$	$X_1^1 X_2^1 Y_4$	$X_1^1 X_2^1 Y_5$	$X_1^1 X_2^1 Y_6$	3
	-1	-1	$X_1^1 X_2^2 Y_1$	$X_1^1 X_2^2 Y_2$	$X_1^1 X_2^2 Y_3$	$X_1^1 X_2^2 Y_4$	$X_1^1 X_2^2 Y_5$	$X_1^1 X_2^2 Y_6$	3
	-1	+1	$X_1^1 X_2^3 Y_1$	$X_1^1 X_2^3 Y_2$	$X_1^1 X_2^3 Y_3$	$X_1^1 X_2^3 Y_4$	$X_1^1 X_2^3 Y_5$	$X_1^1 X_2^3 Y_6$	3
2	+1	-2	$X_1^2 X_2^1 Y_1$	$X_1^2 X_2^1 Y_2$	$X_1^2 X_2^1 Y_3$	$X_1^2 X_2^1 Y_4$	$X_1^2 X_2^1 Y_5$	$X_1^2 X_2^1 Y_6$	3
	+1	-1	$X_1^2 X_2^2 Y_1$	$X_1^2 X_2^2 Y_2$	$X_1^2 X_2^2 Y_3$	$X_1^2 X_2^2 Y_4$	$X_1^2 X_2^2 Y_5$	$X_1^2 X_2^2 Y_6$	3
	+1	+1	$X_1^2 X_2^3 Y_1$	$X_1^2 X_2^3 Y_2$	$X_1^2 X_2^3 Y_3$	$X_1^2 X_2^3 Y_4$	$X_1^2 X_2^3 Y_5$	$X_1^2 X_2^3 Y_6$	3
3	+2	-2	$X_1^3 X_2^1 Y_1$	$X_1^3 X_2^1 Y_2$	$X_1^3 X_2^1 Y_3$	$X_1^3 X_2^1 Y_4$	$X_1^3 X_2^1 Y_5$	$X_1^3 X_2^1 Y_6$	3
	+2	-1	$X_1^3 X_2^2 Y_1$	$X_1^3 X_2^2 Y_2$	$X_1^3 X_2^2 Y_3$	$X_1^3 X_2^2 Y_4$	$X_1^3 X_2^2 Y_5$	$X_1^3 X_2^2 Y_6$	3
	+2	+1	$X_1^3 X_2^3 Y_1$	$X_1^3 X_2^3 Y_2$	$X_1^3 X_2^3 Y_3$	$X_1^3 X_2^3 Y_4$	$X_1^3 X_2^3 Y_5$	$X_1^3 X_2^3 Y_6$	3

Таким образом, общее количество планируемых испытаний образцов на приборе трехосного сжатия – не менее 27, с учетом трехкратного повторения испытания каждого сочетания.

### 3. Заключение

Полученная в результате трехосных испытаний информация послужит основой для создания сравнительных графиков и таблиц, описывающих влияние армирования на прочностные и деформационные характеристики образцов.

Кроме того, благодаря эксперименту появится возможность оценить степень эффективности горизонтальных слоев геосинтетического материала в глинистых грунтах.

## Библиографический список

1. Рубцова М.В., Клевеко В.И. Применение геосинтетического материала для обеспечения устойчивости автодорожной насыпи на слабом основании и сокращение сроков строительства // Вестник ПНИПУ. Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. – 2015. – №1. – С. 489-497.
2. Клевеко В. И. Оценка величины осадки фундамента на глинистых основаниях, армированных горизонтальными прослойками // Вестник ПНИПУ. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2012. – №1. – С. 89-98.
3. Broms, B.B. Triaxial tests with fabric-reinforced soil: proceedings of the International Conference on the Use of Fabric in Geotechnics, Vol. 3, Ecole Nationale des Ponts et Chaussees - Paris, 1977. - pp. 129-134.
4. McGown, A., Andrawes, K.Z., Al-Hasani, M.M. Effect of inclusion properties on the behavior of sand // Geotechnique. – 1978. – №28 (3), P. 327-347.
5. Haeri S.M., Noorzad R., Oskoorouchi A.M. Effect of geotextile reinforcement on the mechanical behavior of sand // Geotextile Geomemb. – 2000. – №18, P. 385-402.
6. Madhavi Latha G., Vidya S. Murthy. Effects of reinforcement form on the behavior of geosynthetic reinforced sand // Geotextiles and Geomembranes. – 2007. – №25. – P. 23-32.
7. Кузнецова А.С., Офрихтер В.Г. Испытания материалов отходов методом трехосного сжатия // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2011. – №1. – С. 40-44.
8. Кузнецова А.С., Офрихтер В.Г., Пономарев А.Б. Исследование прочностных характеристик грунта, армированного дискретными волокнами полипропилена // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2012. – №1. – С. 44-55.
9. Кузнецова А.С., Офрихтер В.Г. Оценка прочности фиброармированного песка по результатам испытаний на трехосное сжатие // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2012. – №2. – С. 37-44.
10. Yung-Shan Hong, Cho-Sen Wu. The performance of a sand column internally reinforced with horizontal reinforcement layers // Geotextiles and Geomembranes. – 2013. – №41. – P. 36-49.
11. Кузнецова А.С., Пономарев А.Б. Планирование и подготовка эксперимента трехосного сжатия глинистого грунта, улучшенного фибровым армированием // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1. – С. 151-161.
12. Naeini S.A., Gholampoor N. Cyclic behaviour of dry silty sand reinforced with a geotextile // Geotextiles and Geomembranes. – 2014. – №42. – P. 611-619.
13. Wils L., Haegeman W. and Van Impe P.O. Triaxial compression tests on a crushable sand in dry and wet conditions // Proceedings of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development – Edinburgh, 2015. – P. 3449-3454.
14. Triaxial test of drained sand reinforced with plastic layers / Nouri S. [et al] // Arab J Geosci. – 2016. – №53. – P. 1-9.
15. Markou I. Effect of Grain Shape and Size on the Mechanical Behavior of Reinforced Sand // Advances in Transportation Geotechnics 3. The 3rd International Conference on Transportation Geotechnics (ICTG 2016) – Portugal, 2016. – vol.143. – P. 146-152.
16. Рубцова М.В., Клевеко В.И. Анализ возможности использования приборов трехосного сжатия для изучения прочностных и деформационных характеристик армированных грунтов // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2016. – Т.7, №4. – С. 143-150.

17. Triaxial compression test apparatus: пат. №3728895 Соединенные Штаты Америки / Garrett D.Shaw. №3728895; опубл. 24.04.1973 г.
18. Прибор для исследования свойств грунтов в условиях трехосного сжатия: пат. №700838 СССР / З.Г. Тер-Мартirosян, Д.М. Ахпателов, Ю.С. Григорьев, В.А. Тищенко. №2629174/29-33; заявл. 06.09.1975; опубл. 30.11.1979. Бюл. № 44.
19. Механика грунтов, основания и фундаменты: учебник / Ухов С.Б. [и др.]. – М.: Издательство АСВ, 1994 – 520 с.
20. Прибор трехосного сжатия: пат. №2418283 Рос. Федерация / Болдырев Г.Г., Болдырева Е.Г., Идрисов И.Х., Елатонцев А.И. №2010108180; заявл. 04.03.2010; опубл. 10.05.2011. Бюл. № 13.
21. Прибор трехосного сжатия с измерением контактных напряжений: пат. №2467305 Рос. Федерация / Болдырев Г.Г., Болдырева Е.Г., Идрисов И.Х., Елатонцев А.И., Виноградов О.А. №2011124966/28; заявл. 17.06.2011; опубл. 2012.
22. Behavior of nonwoven-geotextile-reinforced sand and mobilization of reinforcement strain under triaxial compression / Nguyen M.D. [et al] // *Geosynthetics*. – 2013. – №20 (3), P. 207-225.
23. Madhavi Latha. G., Nandhi Varman. A. M. Static and cyclic load response of reinforced sand through large triaxial tests // *The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering – Japan, 2015*. – pp. 5.

## References

1. Rubtcova M.V., Kleveko V.I. Primenenie geosinteticheskogo materiala dlia obespecheniia ustoichivosti avtodorozhnoi nasypi na slabom osnovanii i sokrashchenie srokov stroitel'stva [Application of geosynthetic material to ensure stability of road embankment in the weak base and reduce construction time]. *Vestnik PNIPU. Ekologiya i nauchno-tekhnicheskii progress. Urbanistika, 2015, no. 1, pp. 489-497*.
2. Kleveko V.I. Otsenka velichiny osadki fundamenta na glinistyykh osnovaniyakh, armirovannykh gorizontal'nymi prosloikami [An estimate of the deformation of the foundation on the basis of clay reinforced with horizontal layers]. *Vestnik PNIPU. Ohrana okruzhayushhej sredy, transport, bezopasnost' zhiznedeyatel'nost, 2012. no. 1. pp. 89-98*.
3. Broms, B.B. Triaxial tests with fabric-reinforced soil. *Proceedings of the International Conference on the Use of Fabric in Geotechnics, Vol. 3, Ecole Nationale des Ponts et Chaussees*. Paris, 1977, pp. 129-134.
4. McGown, A., Andrawes, K.Z., Al-Hasani, M.M. Effect of inclusion properties on the behavior of sand. *Geotechnique*, 1978, no. 28, pp. 327-347.
5. Haeri S.M., Noorzad R., Oskoorouchi A.M. Effect of geotextile reinforcement on the mechanical behavior of sand. *Geotextile Geomemb.*, 2000, no. 18, pp. 385-402.
6. Madhavi Latha G., Vidya S. Murthy. Effects of reinforcement form on the behavior of geosynthetic reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 2007, no. 25, pp. 23–32.
7. Kuznetsova A.S., Ofrihter V.G. Ispytaniia materialov otkhodov metodom trekhosnogo szhatiia [Triaxial testing of waste materials]. *Vestnik PNIPU. Stroitelstvo i arhitektura, 2011, no. 1, pp. 40-44*.
8. Kuznetsova A.S., Ofrihter V.G., Ponomarev A.B. Issledovanie prochnostnykh harakteristik grunta, armirovannogo diskretnymi voloknami polipropilena [Strength research of sand reinforced by discrete polypropylene fibres]. *Vestnik PNIPU. Stroitelstvo i arhitektura, 2012, no. 1, pp. 44-55*.
9. Kuznetsova A.S., Ofrihter V.G. Otsenka prochnosti fibroarmirovannogo peska po rezul'tatam ispytaniia na trekhosnoe szhatie [Evaluation of the strength of fibro-reinforced sand

by the results of triaxial tests]. *Vestnik PNIPU. Prikladnaia ekologiia. Urbanistika*, 2012, no. 2, pp. 37-44.

10. Yung-Shan Hong, Cho-Sen Wu. The performance of a sand column internally reinforced with horizontal reinforcement layers. *Geotextiles and Geomembranes.*, 2013, no. 41, pp. 36-49.

11. Kuznetsova A.S., Ponomarev A.B. Planirovanie i podgotovka eksperimenta trekhosnogo szhatiia glinistogo grunta, uluchshennogo fibrovym armirovaniem [Planning and preparation of the experiment of triaxial tests of clay soil, improved by fiber reinforcement]. *Vestnik PNIPU. Stroitelstvo i arhitektura*, 2013, no. 1, pp. 151-161.

12. Naeini S.A., Gholampoor N. Cyclic behaviour of dry silty sand reinforced with a geotextile. *Geotextiles and Geomembranes.*, 2014, no. 42, pp. 611-619.

13. Wils L., Haegeman W. and Van Impe P.O. Triaxial compression tests on a crushable sand in dry and wet conditions. *Proceedings of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development*. Edinburg, 2015, pp. 3449-3454.

14. Nouri S., Nechnech A., Lamri B., Lurdes Lopes M. Triaxial test of drained sand reinforced with plastic layers. *Arab J Geosci.*, 2016, no. 53, pp. 1-9.

15. Markou I. Effect of Grain Shape and Size on the Mechanical Behavior of Reinforced Sand. *Advances in Transportation Geotechnics 3. The 3rd International Conference on Transportation Geotechnics*. Portugal, 2016, pp. 146-152.

16. Rubtcova M.V., Kleveko V.I. Analiz vozmozhnosti ispol'zovaniia priborov trekhosnogo szhatiia dlia izucheniia prochnostnykh i deformatsionnykh kharakteristik armirovannykh gruntov [Analysis of the possibility of using triaxial test system for the study of strength and deformation characteristics of reinforced soil]. *Vestnik PNIPU. Stroitelstvo i arhitektura*, 2016, no. 4, pp. 143-150.

17. Garrett D.Shaw. Triaxial compression test apparatus. Patent USA No.3728895, 1973.

18. Ter-Martirosyan Z.G., Ahpatelov D.M., Grigorev Yu.S., Tischenko V.A.. Pribor dlia issledovaniia svoystv gruntov v usloviyakh trehosnogo szhatiia [Device for the study of properties of soils under triaxial]. Patent SSSR No700838, 1979.

19. Uhov S.B., Semenov V.V., Znamenskiy V.V., Ter-Martirosyan Z.G., Chernyishev S.N. Mehanika gruntov, osnovaniya i fundamenty [Mechanics of soils, bases and foundations]. Moscow: Izdatelstvo ASV, 1994. 520 p.

20. Boldyirev G.G., Boldyireva E.G., Idrisov I.H., Elatontsev A.I. Pribor trehosnogo szhatiia [Triaxial compression test apparatus]. Patent RF No2418283, 2011.

21. Boldyirev G.G., Boldyireva E.G., Idrisov I.H., Elatontsev A.I., Vinogradov O.A. Pribor trehosnogo szhatiia s izmereniem kontaktnykh napryazheniy [Triaxial instrument with measurement of contact stresses]. Patent RF No2467305, 2012.

22. Nguyen M.D., Yang K. H., Lee S. H., Wu C.S., Tsai M. H. Behavior of nonwoven-geotextile-reinforced sand and mobilization of reinforcement strain under triaxial compression. *Geosynthetics.*, 2013, no. 20 (3), pp. 207-225.

23. Madhavi Latha. G., Nandhi Varman. A. M. Static and cyclic load response of reinforced sand through large triaxial tests. *The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Japan, 2015, pp. 5.

### **Об авторах**

**Рубцова, Мария Владимировна** (Пермь, Россия) – магистр кафедры «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, 29, e-mail: masharubzova@yandex.ru).

**Клевеко, Владимир Иванович** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, 29, e-mail: vlivkl@mail.ru).

### **About the authors**

**Mariia V. Rubtsova** (Perm, Russian Federation) – Master, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, Russian Federation, e-mail: masharubzova@yandex.ru).

**Vladimir I. Kleveko** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, Russian Federation, e-mail: vlivkl@mail.ru).