



# Взаимодействие геосинтетиков с грунтом армогрунтовых стен



Андрей КОСТОУСОВ

Andrey N. KOSTOUSOV

**Надежность и прочность армогрунтовых стен обеспечивают безопасное функционирование насыпей и конструкций, защитных слоев подбалластного основания железных дорог. Автор публикации в рамках исследования взаимодействия армирующих материалов и грунта решает задачи определения коэффициента такого взаимодействия по поверхности грунт-геосинтетик и эмпирических зависимостей между углом внутреннего трения грунта и коэффициентом взаимодействия для различных типов геосинтетиков.**

*Ключевые слова:* железная дорога, армогрунтовые стены, геосинтетики, грунт, подбалластное основание, проектирование, надежность, коэффициент взаимодействия.

*Костоусов Андрей Николаевич — аспирант Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).*

**П**роектирование армогрунтовых стен требует знания механических и деформационных свойств как армирующего материала (например геосинтетика), так и грунта засыпки. Однако следует отметить еще один параметр, который влияет на работу всей конструкции — он оценивает взаимодействие между армирующим элементом и грунтом, нахождение его значений много определяет в ходе проектирования. Стоит помнить, что основная функция армирующего элемента — перераспределение напряжений в грунте, передача их из неустойчивой зоны в стабильную. Это вызывает и деформацию самого армирующего элемента (растяжение), и его перемещение по отношению к грунту.

Расчетами коэффициента взаимодействия различных видов армирующего материала и грунта занимались многие исследователи — в частности, Teixeira [1] Palmeira и Milligan [2] Moraci [3] Середин [4]. В данном случае ставится задача определить коэффициент взаимодействия по поверхности грунт — геосинтетик при его выдергивании для различных типов армирующих элементов и несвязного грунта, а также найти эмпирические зависимости между углом внутреннего трения грун-

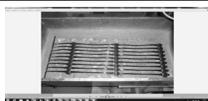
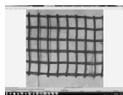
Таблица 1

## Физико-механические характеристики грунтов

Тип грунта	Коэффициент неоднородности	Средний размер частиц	Максимальная плотность сухого грунта	Оптимальная влажность, %	Угол внутреннего трения °	Сцепление, С кПа
Песок средней крупности	2,6	0,31	1,62	13	34	7
Песок гравелистый	10	0,9	1,79	13,6	38	5
Гравийно-песчаная смесь	22,2	7	-	-	45	-

Таблица 2

## Армирующие материалы, используемые в исследовании

№	Описание	Фотография
1	Экструдированная одноосная георешетка из полиэтилена высокой плотности HDPE Tensar 120 RE	
2	Тканая георешетка из высокомодульных полиэфирных нитей с защитным полимерным покрытием Fortrac R 80/80-х Т	
3	Геотекстиль, тканый из высокопрочных полиэфирных нитей Stablenka 120/120	

та и коэффициентом взаимодействия для разных геосинтетиков.

### КОНСТРУКЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ НА ВЫДЕРГИВАНИЕ

Испытательный стенд включает: металлический ящик длиной 590, шириной 280 и высотой 330 мм с закрепленным на нем устройством на выдергивание, гидравлический пресс, измерительную систему с программным обеспечением «Мера», тензометрический динамометр, штамп.

Металлический ящик с устройством на выдергивание располагаются на единой плите. В выдергивающем устройстве установлен тензометрический динамометр, представляющий собой пластину сечением 4 см<sup>2</sup>, на которую наклеены по мостовой схеме тензодатчики. Сигнал от динамометра фиксируется и записывается измерительной аппаратурой. Выдергивающий механизм устанавливается на пресс, который создает вертикальную нагрузку на образец.

### ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для выполнения исследований на выдергивание геосинтетических материалов

из грунта в качестве заполнителя были выбраны несвязные грунты с различным гранулометрическим составом (рис. 1). Гранулометрические компоненты, определяются согласно ГОСТ 12536-79 [8], максимальная плотность сухого грунта соответствует ГОСТ 22733-2002 [9]. По классификации по ГОСТ 25100-95 [10] два образца грунта имеют разновидность: песок гравелистый и песок средней крупности. Третий образец получен искусственно смешиванием фракций грунта в определенной пропорции, близкой к приведенной в ТУ на смеси щебеночно-песчано-гравийной для защитных слоев подбалластного основания железных дорог [11], и его можно классифицировать как гравийно-песчаную смесь.

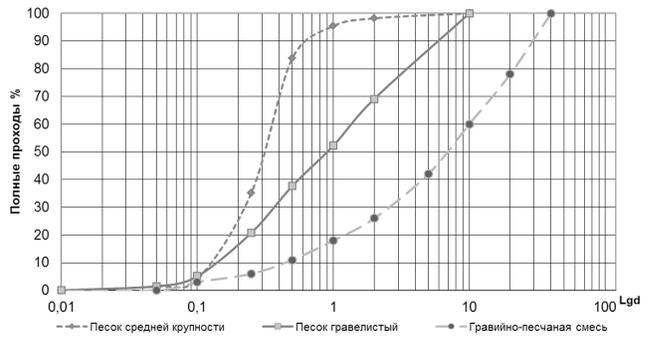
Физико-механические характеристики исследуемых грунтов приведены в таблице 1.

Для песка средней крупности и песка гравелистого были выполнены испытания на одноплоскостный сдвиг согласно ГОСТ 12248-96 [12]. Испытания песка средней крупности проходили при влажности  $W=5\%$ , плотности  $\rho = 1,79 \text{ г/см}^3$ , пористости  $n=36\%$  и нормальных давлениях 100,





**Рис. 1. Кривые гранулометрического состава грунтов, используемых в исследовании.**



**Таблица 3**

**Геометрические и механические характеристики геосинтетических материалов**

Параметры	Значение		
	Tensar 120 RE	Fortrac R 80/80-x T	Stabilenka 120/120
Кратковременная прочность при разрыве, кН/м	137	80	120
Относительное удлинение при разрыве (%)	11,5	10	10
Размер отверстий, мм	219x16	40x40	сплошная
Толщина поперечного ребра, мм	5,5	1,5	-

**Таблица 4**

**Программа проведения испытаний**

Тип армирующего элемента	Тип грунта	Влажность, %	Максимальная плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Вертикальное давление, кПа
Tensar 120 RE	Песок средней крупности	9	1,58	27,3
				54,6
				109,1
	Песок гравелистый	6	1,68	27,3
				54,6
				109,1
Гравийно-песчаная смесь	-	-	27,3	
			54,6	
Fortrac R 80/80-x T	Песок средней крупности	4-5	1,57	27,3
				54,6
				68,2
	Песок гравелистый	6-7	1,76	6,8
				20,5
				34,1
	Гравийно-песчаная смесь	-	-	6,8
				20,5
				34,1
Stabilenka 120/120	Песок средней крупности	4-5	1,58	27,3
				54,6
				81,9
	Песок гравелистый	6-7	1,7	20,5
				40,9
				61,4
	Гравийно-песчаная смесь	-	-	13,6
				27,3

200, 300 кПа, а песка гравелистого при влажности  $W = 5,8\%$ , плотности  $\rho = 1,90$  г/см<sup>3</sup>, пористости  $n = 33\%$  и нормальных давлений 25 и 50 кПа. Угол внутреннего трения для гравийно-песчаной смеси был определен как угол естественного откоса с использованием прибора УО конструкции Знаменского.

В качестве армирующих материалов взяты геосинтетики, представленные в таблице 2.

Геометрические и механические характеристики геосинтетических материалов, имеющих различную геометрию поверхности, представлены в таблице 3.

### ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Испытания на выдергивание проводились в соответствии с программой (см. таблицу 4). Следует подчеркнуть, что испытание с одним значением вертикального давления повторялось три раза.

Перед укладкой грунта в металлический ящик ему задается требуемая влажность  $W$ . Он перемешивается до равномерного распределения воды по всему объему. Перед укладкой песка предварительно смазывалась передняя стенка ящика. В ящик песок размещался послойно (три слоя толщиной по 8 см каждый). После отсыпки первого и второго слоя проводилось уплотнение механическим способом до достижения коэффициента уплотнения  $K_{упл} = 0,95 - 0,98$  от  $\gamma_{dmax}$ . Для контроля влажности и плотности методом режущего кольца согласно ГОСТ 5180-84 [15] отбирались две пробы. На поверхность второго слоя укладывался геосинтетический материал, имеющий длину 750 и ширину 205 мм (внутри ящика образец имеет размеры 590x205 мм,  $S_{об} = 0,12095$  м<sup>2</sup>). Один конец армирующего материала выводится через отверстие в передней стенке и крепится в металлический зажим. На армирующий материал укладывался третий слой песка с последующим его уплотнением и отбором проб на плотность и влажность. Поверх устанавливался деревянный штамп длиной 575 и шириной 250 мм ( $S_{шв} = 0,14375$  м<sup>2</sup>).

Укладка гравийно-песчаной смеси в ящик для выдергивания проводится в два

слоя толщиной по 10,5 см. После размещения первого слоя уплотнение проводилось с использованием деревянного штампа и гидравлического пресса при вертикальном давлении 200 кПа. Затем укладывался геосинтетик, который выводился через отверстие в передней стенке и крепился к зажиму. Второй слой смеси уплотнялся идентичным образом.

Через плоский штамп от гидравлического пресса на грунт передавалось вертикальное давление с интенсивностью, указанной в программе испытаний. Горизонтальная нагрузка, создаваемая вращением винта, прикладывалась со скоростью 20 мм/мин. Выдергивающая сила фиксировалась тензометрическим динамометром и записывалась на жесткий диск компьютера.

### ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

По данным, полученным в ходе испытаний на выдергивание, были выполнены расчеты нормальных  $\sigma_p$  и выдергивающих напряжений  $\tau_p$ . Нормальные, действующие на поверхности грунт-георешетка определялись из выражения:

$$\sigma_{pi} = \left( \frac{P_{np}}{S_{um}} + \gamma \cdot h \right) \cdot k. \quad (1)$$

где  $\sigma_p$  – нормальные напряжения на поверхности грунт-георешетка;

$P_{np}$  – показания на шкале гидравлического пресса, кг;

$S_{um}$  – площадь штампа, м<sup>2</sup>;

$\gamma$  – удельный вес грунта, кг/м<sup>3</sup>;

$h_{ca}$  – толщина слоя грунта над георешеткой, м

$k$  – переводной коэффициент для перевода в кПа,  $k = 101,989$ .

Касательные напряжения  $\tau_p$ , действующие на поверхности грунт-георешетка, определялись из выражения:

$$\tau_p = \frac{F_p}{2 \cdot S_{об}}, \quad (2)$$

где  $F_p$  – максимальное значение выдергивающей силы, кН;

$S_{об}$  – площадь образца, включенного в ящик для выдергивания, м.





Таблица 5

Коэффициент взаимодействия  $f_p$  для различных видов геосинтетиков и грунта

Тип грунта	Тип геосинтетика	Угол внутреннего трения грунта, $\varphi_s$	Угол трения грунта по георешетке, $\varphi_p$	Коэффициент взаимодействия, $f_p$
Песок средней крупности	Tensar 120 RE	28	20	0,68
	Fortrac R 80/80-х Т	34	25	0,7
	Stabilenka 120/120	34	16	0,43
Песок гравелистый	Tensar 120 RE	38	33	0,83
	Fortrac R 80/80-х Т	38	31	0,78
	Stabilenka 120/120	38	19	0,44
Гравийно-песчаная смесь	Tensar 120 RE	45	42	0,9
	Fortrac R 80/80-х Т	45	43	0,93
	Stabilenka 120/120	45	38	0,78

Полученные значения нанесены на график зависимости выдергивающих напряжений  $\tau_p$  от нормальных напряжений  $\sigma_p$ , действующих на поверхности грунт-геосинтетик, и аппроксимированы по методу наименьших квадратов. По построенным прямым, согласно закону Мора-Кулона, выведен угол трения грунт-геосинтетик  $\tan\varphi_{sg}$  (таблица 5) для трех типов грунта и трех видов геосинтетиков одноосной георешетки Tensar 120 RE тканой георешетки Fortrac R 80/80-х Т и геотекстиля Stabilenka 120/120.

Коэффициент взаимодействия (трения)  $f_p$  на поверхности грунт-геосинтетик определялся из выражения (таблица 5):

$$f_p = \frac{\tan\varphi_{sg}}{\tan\varphi_s} \tag{3}$$

Для различных типов геосинтетиков получены эмпирические зависимости коэффициента взаимодействия от угла внутреннего трения (взяты сыпучие грунты):

– для экструдированной одноосной георешетки Tensar 120 RE

$$f_p = 0,0131\varphi_s - 0,3193; \tag{4}$$

– для двуслойной тканой георешетки из высокомодульных полиэфирных нитей Fortrac R 80/80-х Т

$$f_p = 0,021\varphi_s - 0,0144; \tag{5}$$

– для тканого геотекстиля из высокопрочных полиэфирных нитей Stabilenka 120/120

$$f_p = 0,037\varphi_s - 0,7647. \tag{6}$$

**ВЫВОДЫ**

Коэффициент взаимодействия на поверхности грунт-геосинтетик  $f_p$  принимает различные значения в зависимости от типа грунта и вида армирующего элемента. Для георешеток он увеличивается с увеличением фракции песка, что свидетельствует о значительном вкладе поперечных ребер в сопротивление выдергиванию.

Однако следует отметить, что для гравийно-песчаной смеси коэффициент взаимодействия  $f_p$  одинаково увеличивается для всех типов геосинтетиков и приближается к углу внутреннего трения грунта. Коэффициенты взаимодействия для одноосной георешетки Tensar 120 RE и Fortrac R 80/80-х Т практически одинаковы, хотя и различаются с учетом геометрии (толщины) и количества поперечных ребер. Это можно объяснить тем, что толщина ребер в одноосной решетке Tensar 120 RE эквивалентна работе большего количества ребер в георешетке Fortrac R 80/80-х Т.

Полученные эмпирические значения коэффициента взаимодействия  $f_p$  рекомендуется использовать как при проектировании армогрунтовых стен, так и анализе их работы в различных условиях, в том числе используя метод конечных элементов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Sidnei H. C. Teixeira; Benedito S. Bueno и Jorge G. Zornberg, (2007), Pullout Resistance of Individual Longitudinal and Transverse Geogrid Ribs, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 133, No. 1, January 1, 2007, pp. 37–50.
2. Palmeira E. M., Milligan G. W.E. 1989. Scale and other factors affecting the results of pull-out tests of grids buried in sand. Geotechnique, 39 (3), 511–524.

3. Moraci N., Gioffre D., Romano G., Montanelli F., Rimoldi P. (2002) Pullout behavior of geogrid embedded in granular soils, *Geosynthetics – 7th ICG – Delmas, Gourc & Girard (eds) © 2002 Swets & Zeitlinger*, pp. 1345–1348.

4. Середин А. И. Усиление и стабилизация эксплуатируемых насыпей армогрунтом / Дис... канд. техн. наук. – М.: МИИТ, 1989. – 187 с.

5. BS EN 13738:2004 Geotextiles and geotextile-related products – Determination of pullout resistance in soil. British Standard.

6. ASTM D6706–01, 2001, «Standard Test Method for Measuring Geosynthetic Pullout Resistance in Soil» Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA.

7. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента – М.: Metallurgia, 1968. – 155 с.

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

9. ГОСТ 22733–2002. Грунты. Методы лабораторного определения максимальной плотности.

10. ГОСТ 25100–95. Грунты. Классификация.

11. Технические условия на смеси щебеночно-песчано-гравийные для защитных слоев подбалластного основания железных дорог / Утверждены департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» 14.08.2008 г.

12. ГОСТ 12248–96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.

13. СТО 71664637–001–2010. Георешетки полимерные тканые рулонные строительного назначения Хателит, Фортрак, Форнит, ДуоGRID.

14. СТО 71664637–002–2010. Материалы геотекстильные рулонные строительного назначения Стабиленка, Робутек, Комтрак, Хате.

15. ГОСТ 5180–84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. ●

## INTERACTION BETWEEN GEOSYNTHETICS AND THE SOIL OF ARMED SOIL WALLS

**Koustousov, Andrey N.** – Ph.D. student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

*Reliability and strength of armed soil walls ensure safe operation of embankments, facilities and protective layers of subballast basement of railways. The study on interaction of reinforcing elements and the soil solves the problems of defining of the*

*coefficients of such interaction along the surface earth – geosynthetic, of empirical dependence between the angle of internal friction of the soil and the coefficients of interaction for different types of geosynthetics.*

**Key words:** railway, armed soil walls, geosynthetics, soil, earth, subballast basement, designing, reliability, interaction coefficient.

## REFERENCES

1. Sidnei H. C. Teixeira; Benedito S. Bueno и Jorge G. Zornberg, (2007), Pullout Resistance of Individual Longitudinal and Transverse Geogrid Ribs, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 133, No. 1, January 1, 2007, pp. 37–50.

2. Palmeira E. M., Milligan G. W.E. 1989. Scale and other factors affecting the results of pull-out tests of grids buried in sand. *Geotechnique*, 39 (3), pp. 511–524.

3. Moraci N., Gioffre D., Romano G., Montanelli F., Rimoldi P. (2002) Pullout behavior of geogrid embedded in granular soils, *Geosynthetics – 7th ICG – Delmas, Gourc & Girard (eds) © 2002 Swets & Zeitlinger*, pp. 1345–1348.

4. Seredin A. I. Reinforcement and stabilization of operated embankments with the help of armed soil [*Usilenie i stabilizatsiya ekspluatiruemykh nasypей armogruntom*]. Ph.D. (Tech) candidate thesis. Moscow, MIIT, 1989, 187 p.

5. BS EN 13738:2004 Geotextiles and geotextile-related products – Determination of pullout resistance in soil. British Standard.

6. ASTM D6706–01, 2001, «Standard Test Method for Measuring Geosynthetic Pullout Resistance in Soil» Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA.

7. Adler Yu.P. Introduction in experience planning [*Vvedenie v planirovanie experimenta*]. Moscow, Metallurgia, 1968, 155 p.

8. State standard GOST 12536–79. Soils. Methods of laboratory identification of granulometric (grain size) and micro aggregate composition.

9. State standard GOST 22733–2002. Soils. Methods of laboratory identification of maximum density.

10. State standard GOST 25100–95. Soils. Classification.

11. Specification for macadamized, sandy and gravel mixtures for protective layers of subballast basements of railways. Approved by department of track and facilities of JSC Russian Railways, of 14.08.2008.

12. State standard GOST 12248–96. Soils. Methods of laboratory identification of characteristics of strength and deformability.

13. Standards of organizations STO 71664637–001–2010. Polymeric woven roll geogrids for construction Ha Telit, Fortrack, Fornit, Duogrid.

14.. Standards of organizations STO 71664637–002–2010. Geotextiles roll materials for construction Стабиленка, Робутек, Комтрак, Ха Те.

15. State standard GOST 5180–84. Soils. Methods of laboratory identification of physical features.

Координаты автора (contact information): Костюсов А. Н. (Koustousov A. N.) – koustousov@mail.ru.

Статья поступила в редакцию / received 04.03.2013  
Принята к публикации / accepted 28.03.2013

