

УДК 624.138.9

**Д.Г. Золотозубов, О.А. Золотозубова**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОКОЛА НА СОПРОТИВЛЕНИЕ РАЗРЫВУ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Геосинтетические материалы широко применяются при строительстве дорог, полигонов твердых бытовых отходов, нефте- и газопроводов и других объектов, при этом они подвергаются внешним воздействиям как в процессе эксплуатации, так и в процессе укладки. Наиболее частым повреждением является образование прокола в результате воздействия гравия, мусора или корней деревьев в результате нарушения технологии укладки. На полигонах твердых бытовых отходов правильный подбор материалов особенно важен, поскольку он обеспечивает экологическую безопасность. Наличие дефектов в конструкции экрана полигона повлечет за собой попадание вредных веществ в почву. Для выбора материала, сохраняющего работоспособность в любых условиях, необходимо знать его сопротивляемость механическим воздействиям. Методика исследования заключалась в изучении механических характеристик геомембраны и геотекстиля типа «дорнит» по результатам испытаний на разрывной машине, а также на приборе, определяющем сопротивление материала падающему конусу. В результате проведенной работы были определены максимальное усилие и прочность геосинтетических материалов без прокола и с ним. По полученным данным были построены графики зависимости усилия от удлинения, рассчитана степень снижения показателей в результате повреждения, а также изучено изменение схемы работы геосинтетики с повреждением при растяжении. Итоги испытаний могут быть применены для оптимизации подбора материалов, применяемых на полигонах твердых бытовых отходов и в других сооружениях, где прочность является основным критерием, с целью обеспечения безопасности, долгого срока службы конструкции, экономии денежных средств.

**Ключевые слова:** геосинтетика, геомембрана, геотекстиль, дренаж, гидроизоляция, сопротивление проколу, прочность на растяжение.

Геосинтетические материалы применяются в различных отраслях строительства, например при сооружении полигонов ТБО, при строительстве дорог и т.д. Необходимо отметить, что наибольшая востребованность геосинтетических материалов наблюдается именно в дорожной отрасли [1]. Также растут масштабы использования геосинтетики при сооружении полигонов ТБО, когда геосинтетические материалы применяются в качестве гидроизоляции основания и рекультивационного слоя, как альтернатива глиняному замку, в качестве защитного слоя, а также поверхностного дренажа.

При строительстве полигонов ТБО используются различные виды геосинтетических материалов. Они применяются как для улучшения свойств оснований (армирование грунтов с целью повышения несущей способности), так и для предотвращения проникновения вредных веществ из тела полигона в окружающую среду. В последнем случае

используются в основном два вида геосинтетических материалов: геотекстиль (типа «дорнит») – для устройства дренажа, геомембрана – для устройства гидроизоляции, например в виде противодиффузионной мембраны, и закрытия сверху полигона после заполнения отходами перед проведением рекультивации.

Как показывают многочисленные российские и зарубежные исследования и примеры практического использования, применение геосинтетических материалов позволяет снизить затраты на сооружение оснований, в основном за счет использования местных, а не привозных материалов и снижения сроков строительства, а также создание рекультивационного слоя при закрытии полигонов ТБО [1].

При использовании материалов, применяемых при сооружении полигонов ТБО, актуальным является знание таких характеристик, как прочность геосинтетического материала на разрыв, сопротивление проколу, сопротивление продавливанию. Это связано с необходимостью обеспечения большей несущей способности оснований хранилищ отходов, долговечности материалов, используемых при строительстве, и обеспечить экологическую безопасность окружающей среды от инфильтрации вредных агентов полигонов в окружающий грунтовый массив и в окружающую среду.

Из перечисленных выше характеристик наиболее изученной является такая характеристика, как прочность геосинтетического материала на разрыв. На кафедре «Строительное производство и геотехника» ПНИПУ проводились и проводятся в настоящее время эксперименты по изучению прочности на разрыв различных геосинтетических материалов [2] и их связи с другими характеристиками, а также исследования по применению геосинтетических материалов для улучшения характеристик грунтов. Для этого проводятся экспериментальные исследования, посвященные изучению различных способов армирования грунтовых оснований в сложных инженерно-геологических условиях, в том числе:

- изучение влияния глубины расположения армирующих слоев [3, 4], результаты исследований нашли отражение в кандидатской диссертации одного из авторов;

- армирование сезоннопромерзающих грунтов, что позволяет расширить сферу применения геосинтетических материалов [5];

- использование грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов, что дает возможность возводить здания и сооружения на слабых грунтах, ранее считавшихся непригодными для строительства [6];

– применение геосинтетических материалов при строительстве на карстоопасных территориях, основной целью в этом случае является повышение надежности и безопасности эксплуатации сооружений различного назначения [3, 4, 9, 10].

Соппротивление проколу и сопротивление продавливанию геосинтетических материалов, а также их возможная связь между собой и с другими характеристиками изучены в меньшей степени. Экспериментальные исследования в этих направлениях в настоящее время проводятся на кафедре «Строительное производство и геотехника» несколькими научно-исследовательскими группами [7–10].

Целью научных исследований авторов является изучение: взаимосвязи различных характеристик сопротивления механическим воздействиям, способности геосинтетических материалов сопротивляться различным внешним воздействиям. На основе этого разрабатывается методика оптимального выбора материала для улучшения свойств грунтов, в частности при строительстве полигонов ТБО [7].

Для проведения исследований применяются приборы МТ-375 для определения сопротивления материала подающему конусу и МТ-136 машина испытательная разрывная. Последняя наиболее востребована и в большинстве случаев применяется для определения разрывных характеристик геосинтетических материалов [2, 7].

Прибор МТ-375 предназначен для определения сопротивления подающему конусу геотекстильных (нетканых, тканых, трикотажных) и других материалов, создаваемых на их основе (геокомпозитов, в том числе геодренов) по методу ISO 13433. Соппротивление проколу определяет сопротивляемость материала механическим воздействиям, которые возможны в процессе производства работ и эксплуатации. Этот показатель весьма важен для геомембран и геотекстилей. Результаты испытаний помогают обосновать выбор толщины геомембраны, в некоторых случаях и материала, из которого она изготовлена, и материала, который позволит обеспечить герметичность гидроизоляции в контакте с различными материалами и плотность геотекстиля, необходимую для обеспечения защитной функции. Соппротивление проколу характеризуется средним диаметром повреждений с указанием вариационного коэффициента испытаний.

Машина испытательная разрывная МТ-136 предназначена для измерений силы (нагрузки) и деформации (удлинения) при испытаниях на растяжение, сжатие и изгиб на образцах контролируемого материала.

ла (нити, ленте, текстильной ткани, проволоке, пленке, пластмассе, резины, черных и цветных металлов и других материалов в пределах технических возможностей машины).

Принцип действия машины основан на преобразовании силоизмерительным тензорезисторным датчиком силы натяжения, приложенной к испытываемому образцу, в аналоговый электрический сигнал, изменяющийся пропорционально силе натяжения испытываемого образца. Далее электрические сигналы от датчика подаются на блок аналогово-цифрового преобразователя, где аналоговый сигнал преобразовывается в цифровой код, который передается в микропроцессорный прибор или ЭВМ.

Эксперименты проводились с двумя типами геосинтетических материалов: нетканый геотекстиль типа «дорнит» и геомембрана из полиэтилена высокой плотности. Такой выбор связан с тем, что при строительстве полигонов ТБО эти материалы используются наиболее часто.

На первом этапе испытания проводились на приборе МТ-136 (рис. 1). Использовались образцы материала шириной 50 мм, зажимная длина составляла 100 мм. Разрыв, как правило, проходит по наиболее слабому сечению, хорошо просматривается «шейка» (рис. 2), причем как на геомембране, так и на геотекстиле. В результате испытаний были получены диаграммы зависимости растягивающего усилия от удлинения для каждого материала.

На втором этапе проходили испытания на приборе МТ-375 (рис. 3). Были измерены диаметры отверстий, образовавшихся в результате падения конуса. По результатам 10 испытаний для каждого материала среднее значение для геомембраны составило 3 мм, для геотекстиля – 21 мм.

Необходимо отметить, что для мембраны была характерна однородность результатов, тогда как диаметры отверстий в текстиле составляли от 17 до 29 мм. Это можно связать с неоднородностью «дорнита».



Рис. 1. Испытание на разрыв геомембраны на разрывной машине МТ-136

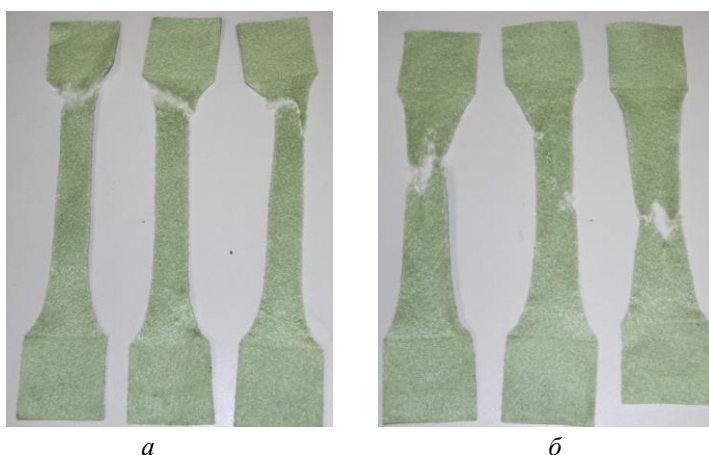


Рис. 2. Образцы геотекстиля после испытания на разрыв:  
*а* – цельный материал; *б* – материал с проколом



Рис. 3. Испытания геосинтетки на прокол

Третьим этапом стало испытание на разрыв образцов с проколом. Для каждого материала было проведено по 10 экспериментов. Разрушение проб происходило по наиболее слабому сечению, проходящему через место прокола (рис. 4).

В результате проведения испытаний с помощью управляющей программы разрывной машины были построены графики зависимости нагрузки (в кгс) от удлинения (мм) для каждого образца. Полученные данные были обработаны, что позволило с учетом известных размеров образцов вывести зависимость нагрузки на единицу ширины (в кН/м) от относительного удлинения (в процентах).

По полученным графикам видно (рис. 5), что результаты испытания геотекстиля имеют значительный разброс, как и при проколе, что не позволяет вывести определенной зависимости. Это может быть связано со структурой материала, его характеристиками. Однако анализ средних результатов показал, что образование прокола значительно повлияло на прочность материала, снизив ее на 21 %, максимальное усилие разрыва уменьшилось на 17 %.

На графиках (рис. 6) пунктирной линией обозначены результаты испытания образцов без прокола, сплошной – с проколом. По сводному графику испытаний геомембраны можно определить, что образцы с проколом и без разрушаются одинаковым образом. Повреждение материала практически не повлияло на его прочность и максимальное усилие. Вместе с тем существенно уменьшилось относительное удлинение.



Рис. 4. Испытание на разрыв геомембраны с проколом на разрывной машине МТ-136

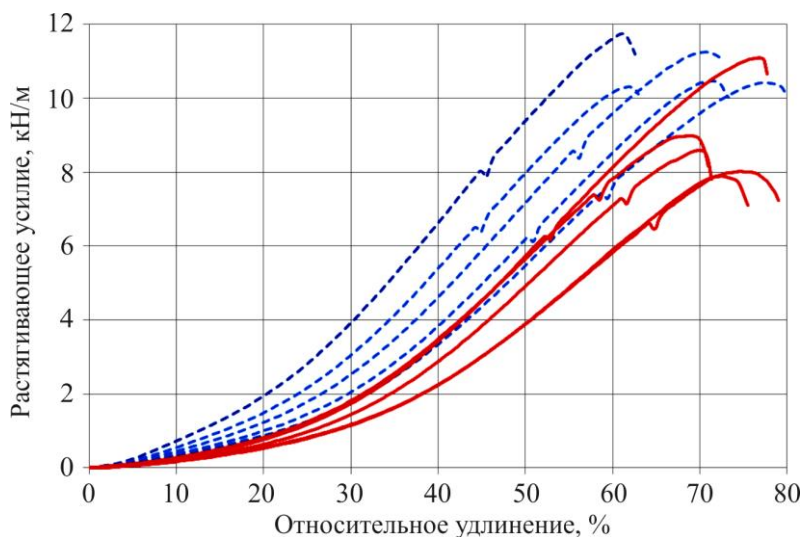


Рис. 5. Диаграммы зависимости растягивающего усилия от удлинения для геотекстиля типа «дорнит»

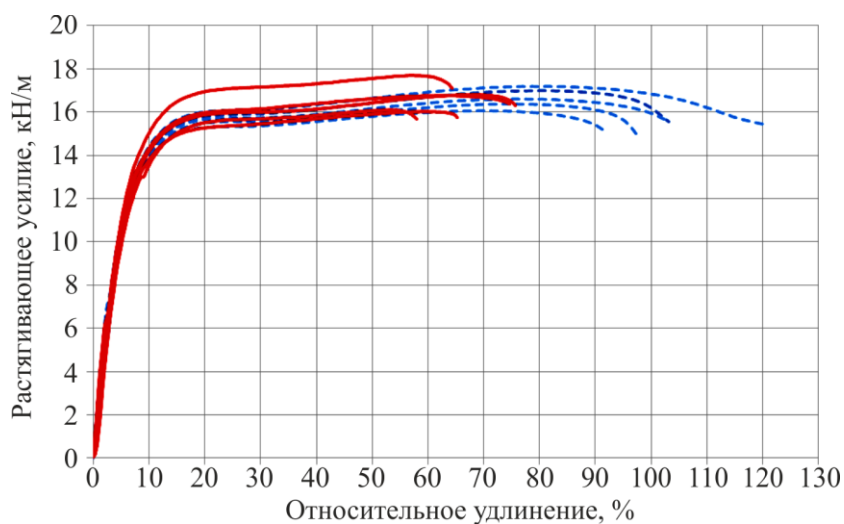


Рис. 6. Диаграммы зависимости растягивающего усилия от удлинения для геомембраны

В результате проведенных исследований было выявлено, что прокол по-разному влияет на геосинтетические материалы. В мембране более существенно изменились одни параметры – относительное удлинение  $\epsilon_{\max}$ , а в текстиле другие – максимальное усилие  $F_{\max}$  и прочность  $\alpha_f$ , при этом уменьшение значений оказалось примерно равным и составило порядка 21 %.

Значения параметров, полученные по результатам испытаний, представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Результаты испытаний геомембраны

Показатель	Без прокола	С проколом	Разница показателей, %
Максимальное усилие $F_{\max}$ , кгс	84,90	85,03	0,15
Относительное удлинение $\epsilon_{\max}$ , %	77,18	60,65	21,42
Прочность $\alpha_f$ , кН/м	16,66	16,68	0,15

Таблица 2

Результаты испытаний геотекстиля

Показатель	Без прокола	С проколом	Разница показателей, %
Максимальное усилие $F_{\max}$ , кгс	55,25	45,46	17,72
Относительное удлинение $\epsilon_{\max}$ , %	68,55	71,35	4,07
Прочность $\alpha_f$ , кН/м	10,84	8,52	21,41

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы, связанные с экспериментами:

- точность и разброс значений результатов зависят от структуры и плотности материалов;
- образцы с проколом и без разрушаются по одинаковой схеме;
- при испытании на разрыв материалов с проколом разрушение всегда происходит по ослабленному сечению;
- повреждение материала (образование прокола) ухудшает его прочностные характеристики, снижая некоторые показатели;
- в разных типах геосинтетических материалов образование прокола влияет на различные параметры: у геомембраны уменьшилось относительное удлинение, а у геотекстиля – максимальное усилие и прочность.

### 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. Ponomaryov, A.N. Bogomolov. Geotechnical engineering for transportation infrastructure. Proceedings of the 12th European conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Amsterdam, June 1999. – Netherlands, Amsterdam, 1999. – Vol. 2. – P. 1197–1202.

2. Овчаров А.С., Золотозубов Д.Г. Определения прочностных характеристик геосинтетических материалов // Вестник Перм. гос. техн. ун-та. Строительство и архитектура. – 2011. – С. 54–58.

3. Золотозубов Д.Г., Пономарев А.Б. Экспериментальные исследования армированных оснований при провалах грунта // Вестник гражданских инженеров. – 2009. – № 2. – С. 91–94.

4. 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.

5. Машенко А.В., Пономарев А.Б. К вопросу использования армированных сезоннопромерзающих пучинистых грунтов в качестве оснований фундаментов // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура. – 2012. – С. 56–80.

6. Шенкман Р.И., Пономарев А.Б. Применение грунтовых свай в оболочке из геосинтетических материалов в геологических условиях города Перми для возведения фундаментов зданий и сооружений //



Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Урбанистика. – 2012. – № 2 (6). – С. 28–36.

7. Золотозубов Д.Г., Золотозубова О.А. Методы определения характеристик сопротивления механическим воздействиям геосинтетических материалов // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1. – С. 97–103.

8. 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. 124–130.

9. Ponomaryov A., Zolotoubov D. Technique in reinforced soil base calculation under fall initiation in ground mass. Proceeding of 18th International Geosynthetics Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Parizh, 2013. – p. 2581–2584.

10. Ponomaryov A., Zolotozubov D. Several approaches for the design of reinforced bases on karst areas // Geotextiles and Geomembranes. DOI. – 2014. – № 42. – P. 48–51. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotextmem.2013.12.002>.

## 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, June 1999*, vol. 2, Netherlands, Amsterdam, 1999. pp. 1197–1202.

2. Ovcharov A.S., Zolotozubov D.G. Opredeleniia prochnostnykh kharakteristik geosinteticheskikh materialov [Testings of strength property of geosynthetic materials] // *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2011, pp. 54–58.

3. 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.

4. Ponomarev A.B., Zolotozubov D.G. Vliianie glubiny zalozheniia armiruiushche-go materiala na nesushchuiu 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.

5. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. K voprosu ispol'zovaniia armirovannykh sezonnopromerzaiushchikh puchinistykh gruntov v kachestve osnovanii fundamentov [The question of the use of reinforced seasonal freezing heaving soils as bases foundations]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2012, pp. 56–80.

6. Shenkman R.I., Ponomarev A.B. Primenenie gruntovykh svai v obolochke iz geosinteticheskikh materialov v geologicheskikh usloviakh goroda Permi dlia vozvedeniia fundamentov zdaniy i sooruzheniy [Application of soil stilts in a shell from geosynthetic materials in geological conditions of a city of Perm for erection of the bases of buildings and structures]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2012, no. 2 (6), pp. 28–36.

7. Zolotozubov D.G., Zolotozubova O.A. Metody opredeleniia kharakteristik soprotivleniia mekhanicheskim vozdeistviyam geosinteticheskikh materialov [Methods for determination of resistance to mechanical stress geosynthetics]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 1, pp. 97–103.

8. 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 natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 2, pp. 124–130.

9. Ponomarev A.B., Zolotozubov D.G. Technique in reinforced soil base calculation under fall initiation in ground mass. *Proceeding of 18th International Geosynthetics Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engeeniring*. Paris, 2013, pp. 2581-2584.

10. Ponomarev A.B., Zolotozubov D.G. Several approaches for the design of reinforced bases on karst areas. *Geotextiles and Geomembranes*, 2014, no. 4. pp. 48–51. DOI, available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2013.12.002>.

**D.G. Zolotozubov, O.A. Zolotozubova**

## **RESEARCH OF AGENCY OF THE PUNCTURE ON RUPTURE STRENGTH OF GEOSYNTHETIC MATERIALS**

Geosynthetic materials are widely used in the construction of roads, landfills of municipal solid waste, oil and gas conduits and other facilities, they are affected to external influences during exploitation as well as during stacking. The most wide spread defect is the formation of perforation as the result of influence of gravel, debris or tree roots because of violation of stacking technology. On landfills of municipal solid waste the right selection of materials is especially important, because it provides environmental safety. The presence of defects in the structure of a screen of the landfill can cause a leakage of harmful substances into the soil. To select material that maintains efficiency in all conditions, it is necessary to know its resistance to mechanical stress. Methodology of the study was to examine the mechanical characteristics of geomembrane and geotextiles of "dornit" type by series of tests on universal testing machine, as well as on the device, that determines the resistance of the material to the cone drop test. As a result of the study maximum exertion and durability of geosynthetics without perforation and with a perforation in them were identified. According to the obtained data graphs of dependence of exertion from prolongation were made, the degree of reduction in performance due to damage was calculated, and also the variation of the scheme of efficiency of geosynthetics with the damage caused by extension was studied. Results of the test can be used to optimize the selection of materials used for landfills of municipal solid waste and other facilities where durability is a major criterion, in order to ensure safety, increase life duration of construction, save money.

**Keywords:** geosynthetics, geomembrane, geotextile, drainage, waterproofing, puncture resistance, tensile strength.

### **Сведения об авторах**

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

**Золотозубова Ольга Андреевна** (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

### **About the authors**

**Zolotozubov Dmitriy Gennadevich** (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).

**Zolotozubova Olga Andreevna** (Perm, Russia) – Graduate student, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

Получено 20.12.2013