

УДК 625.855.3:691.87

**К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ АРМИРОВАНИЯ  
ПОКРЫТИЙ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ГЕОРЕШЕТКАМИ,  
ИЗГОТОВЛЕННЫМИ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ  
ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Канд. техн. наук, доцент **А.А. Игнатьев**,  
инженер **К.А. Куликова**,  
канд. тех. наук доцент **В.М. Дудин**  
(Ярославский государственный  
технический университет)  
Контактная информация: [ignatyevaa@ystu.ru](mailto:ignatyevaa@ystu.ru);  
[dudinvm@ystu.ru](mailto:dudinvm@ystu.ru);  
[kurochkinaka@ystu.ru](mailto:kurochkinaka@ystu.ru);  
8(4852) 44-03-67

---

*Рассмотрены основные геосинтетические материалы, используемые для изготовления георешеток, с позиции анализа их физико-механических показателей и устойчивости к окружающей среде. Сделаны выводы об эффективности применения георешеток, выполненных из различного исходного сырья, в покрытии автомобильных дорог.*

**Ключевые слова:** дорожная одежда, георешетка, геосинтетические материалы, модуль упругости, предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, водостойкость, химическая стойкость, биостойкость, светостойкость.

---

Обеспечение долговечности автомобильных дорог и улиц является важнейшей приоритетной задачей при реализации стратегий, очерченных Президентом РФ В.В. Путиным в 2018 г. В рамках ежегодного Послания Президента Федеральному собранию было отмечено: «Состояние дорог должно быть постоянно в центре внимания. Нужно наращивать качество и объемы дорожного строительства, использовать для этого новые технологии и решения». Одним из таких перспективных направлений является применение геосинтетических материалов в конструкциях дорожных одежд. Среди большого многообразия геосинтетических материалов наибольший интерес представляют георешетки, которые в основном используются для армирования оснований и покрытий дорожных одежд. В настоящее время на рынке представлены георешетки различных видов и производства. Каждая георешетка обладает своими уникальными характеристиками, которые напрямую зависят от способа и материала изготовления. К сожалению,

для успешного применения георешеток на практике оказывается недостаточно представленных производителями данных о требуемых характеристиках, что затрудняет выбор продукта из широкого спектра представленных на современном рынке георешеток.

При производстве георешеток используются такие материалы, как полипропилен (Polypropylene, PP), полиэтилен низкого давления (High Density Polyethylene, HDPE), полиэфир (PolyEthyleneTerephthalate, PET), полиамид (Polymeric Amide, PA), поливинилалкоголь (Polyvinyl Alcohol, PVA), стекловолокно (Glass Fibre, GF), базальтовое волокно (Basalt Fibre, BF) и ряд других материалов. В данной статье под материалами понимается исходное сырье, из которого изготавливаются георешетки. Способы их изготовления не рассматриваются. Однако следует обратить внимание, что способ изготовления может оказывать значительное влияние на итоговые характеристики георешетки.

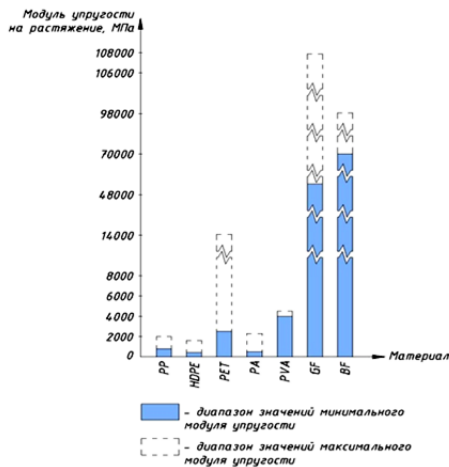
Поскольку каждый из перечисленных материалов обладает своими уникальными свойствами, в рамках представленной в настоящей статье работы был выполнен детальный анализ физико-механических, прочностных, химических и других важнейших показателей георешеток, которые оказывают влияние на эффективность армирования дорожных одежд.

При расчете монолитных слоев нежестких дорожных одежд на растяжение при изгибе решающее значение приобретают модули упругости. Поэтому при выборе георешеток обязательно следует ориентироваться на значения модулей упругости материалов на растяжение и изгиб. Для иллюстрации проанализированных данных [1-18] были построены диаграммы (рис. 1, 2).

Модуль упругости асфальтобетона на растяжение составляет от 1000 до 7000 МПа в зависимости от вида асфальтобетона. Исследуя его поведение, как упруго-пластичного материала, можно сделать вывод, что при соизмеримых модулях упругости армирующего и армируемого материала первый не сможет воспринимать избыточную деформацию удлинения при его изгибе. И, напротив, применение слишком жесткого армирования может приводить к быстрому износу георешетки в результате ее отслоения и последующего перетирания. Поэтому, выбирая георешетку, необходимо следить, чтобы модуль упругости георешетки не превышал модуля упругости асфальтобетона более чем на один порядок.

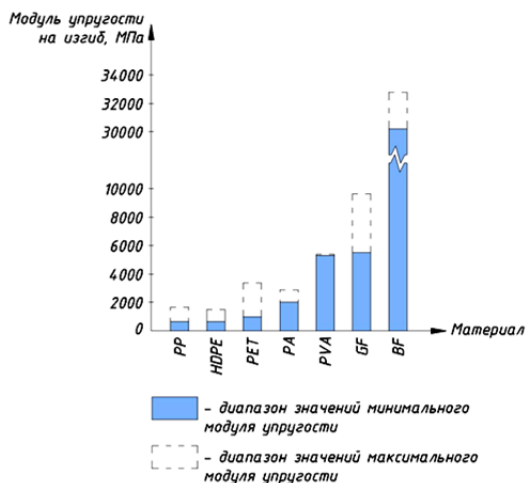
Способность исходных материалов сопротивляться изгибу при упругой деформации значительно хуже, чем их способность сопротивляться растяжению. Этот факт также необходимо учитывать при выборе георешеток.

Следующим важным критерием оценки совместной работы асфальтобетона в паре с георешеткой является прочность на разрыв при растяжении.



*Рис. 1. Модули упругости материалов георешеток на растяжение*

*Рис. 2. Модули упругости материалов георешеток на изгиб*



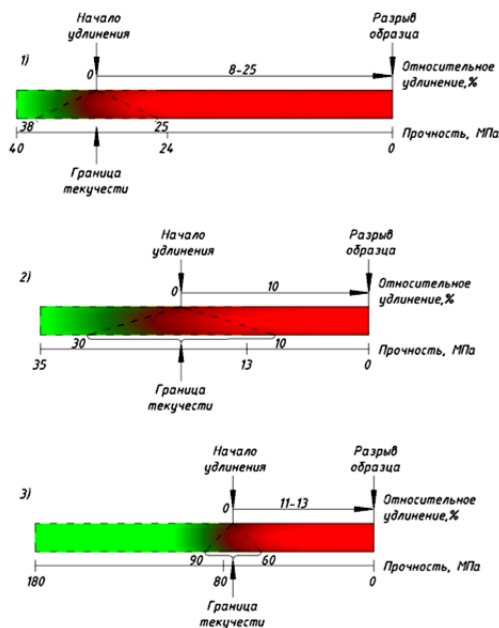
Предел прочности материалов на растяжение с учетом усталостных явлений от многократного приложения нагрузки во всех случаях должен превышать прочность асфальтобетона для достижения наибольшего армирующего эффекта. Для таких материалов, как стекловолокно и базальтовое волокно, *предел прочности на растяжение* соответствует понятию «*предел прочности на разрыв*», поскольку разрушение образца происходит при максимальных напряжениях. В полимерных материалах при разрушении образца наблюдается снижение прочности за счет ползучести, поэтому за предел прочности полимерных материалов принимается максимальная нагрузка, предшествующая разрушению образца. Относительное удлинение георешетки оказывает непо-

средственное влияние на образование трещин в асфальтобетоне, следовательно, чем ниже данный показатель – тем меньше будет вероятность трещинообразования.

Помимо предела прочности на растяжение не меньшее значение для армирования монолитных слоев дорожной одежды имеют предел прочности на изгиб, предел текучести и относительное удлинение материала, используемого при изготовлении георешетки. Так, превышение предела текучести материала в процессе службы дороги приведет к утрате георешеткой ее предназначения и способности сопротивляться возникающим напряжениям. В результате произойдет быстрое разрушение покрытия. Предел прочности на изгиб для полимерных материалов, в целом, соизмерим с пределом прочности на растяжение, в отличие от стекловолокна и базальтового волокна. Так, для них предел прочности на изгиб отличается до 10 раз в меньшую сторону по сравнению с пределом прочности на растяжение. Следует отметить, что георешетка в готовом виде, как правило, имеет минимальную толщину. Связано это с тенденцией минимизации поперечного сечения с целью экономии материала и обеспечения максимальной адгезии со слоями асфальтобетона. В результате малое поперечное сечение не способно воспринимать изгибающие нагрузки. Однако предел прочности на изгиб имеет не меньшее значение для эффективной работы георешетки, чем предел прочности на растяжение. Что касается относительного удлинения, то очевидно, что чем меньше эта величина, тем более эффективно будет воспринимать растягивающие напряжения георешетка. Однако отсутствие удлинения также крайне негативно сказывается на ее работе. Наиболее заметно это будет при температурных деформациях покрытия и георешетки. Отсутствие возможного удлинения будет приводить к интенсивному истиранию георешетки между слоями покрытия.

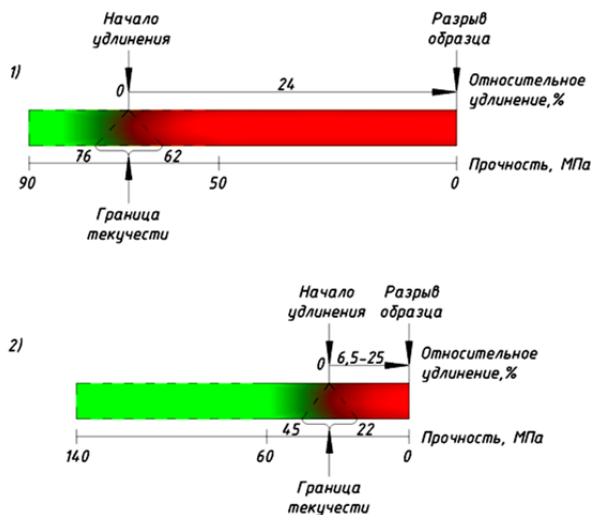
Производителями могут максимально снижаться затраты на исходное сырье (материал) и использоваться менее прочные аналоги с целью получения максимальной прибыли. Неучет таких особенностей при выборе готового изделия может привести к получению отрицательного результата. Для иллюстрации проанализированных данных [1-14, 19-26] для каждого материала были построены графики (рис. 3-5), при этом дополнительно показаны границы текучести и цветовая шкала эффективности.

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что георешетки на основе стеклянных и базальтовых волокон наиболее эффективны при армировании дорожных покрытий, а георешетки из полимерных материалов, обладающие меньшей прочностью и повышенной деформативностью, могут использоваться только при соответствующем технико-экономическом обосновании.



**Рис. 3. Зависимость относительного удлинения полимерных материалов от прочности:**

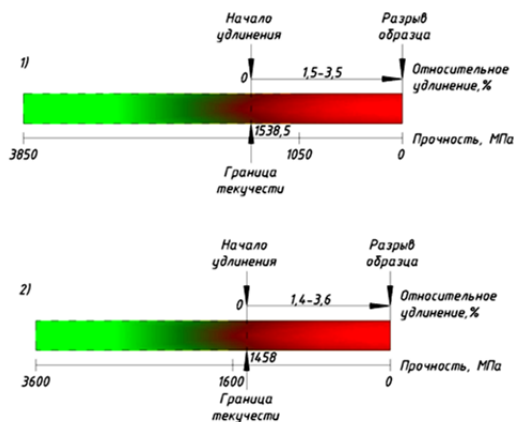
1 – полипропилен (PP), 2 – полиэтилен низкого давления (HDPE),  
3 – полиэфир (PET)



**Рис. 4. Зависимость относительного удлинения полимерных материалов от прочности:**

1 – полиамид (PA), 2 – поливинилалкоголь (PVA)

Помимо транспортных нагрузок георешетка активно подвергается различным природным воздействиям. Воздействие влаги, негативно влияющее на состояние дорожной одежды в целом, также может заметно снизить и прочность армирующего материала. Изначальная стабильность свойств большинства материалов при незначительном (кратковременном) водопоглощении со временем утрачивается, а масса поглощенной влаги увеличивается в несколько раз (от 4 до 17).

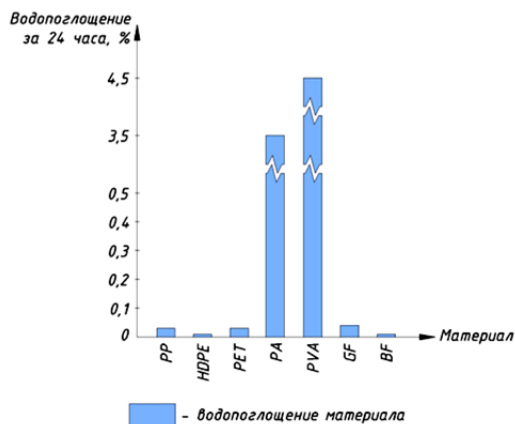


**Рис. 5. Зависимость относительного удлинения неорганических волокон от прочности:**

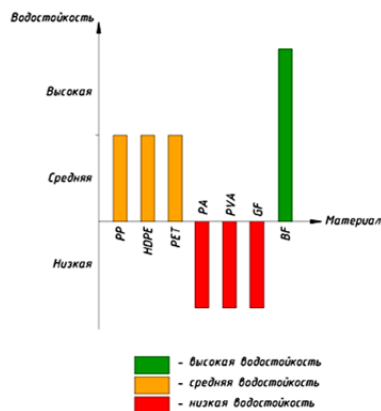
*1 – стекловолокно (GF), 2 – базальтовое волокно (BF)*

Некоторыми производителями утверждается, что для повышения водостойкости георешеток их обрабатывают специальными составами, что способствует продлению срока нормальной эксплуатации в районах с влажным климатом. Поскольку материал обработки является «ноу-хау» разработчиков, подробное его описание не приводится. На практике же, как показали результаты авторских исследований, наиболее распространенным материалом обработки является органическое вяжущее, которое не обеспечивает надежной защиты из-за сложности обработки (труднодоступные зоны). Кроме того, при укладке горячей асфальтобетонной смеси органическое вяжущее распадается, в результате чего защитный водостойкий слой быстро разрушается.

На основе детального анализа данных [1, 7, 8, 11, 14, 15, 27, 28] были построены диаграммы водопоглощения материалов за 24 ч при температуре окружающей среды и по степени сопротивляемости материалов воздействию влаги (рис. 6, 7).



**Рис. 6. Водопоглощение материалов за 24 ч**



**Рис. 7. Сводный график водостойкости материалов георешеток**

В процессе укладки и последующей эксплуатации георешетки испытывают постоянное воздействие химических элементов и соединений. Так, в составе самой асфальтобетонной смеси содержится углерод, водород, кислород, сера и азот. При содержании автомобильных дорог в зимнее время активно применяются противогололедные материалы на основе хлоридов, ацетатов, карбамидов и нитратов. Кроме того, в процессе эксплуатации дороги большое количество агрессивных реагентов попадает из технических жидкостей и масел, используемых для транспортных средств.

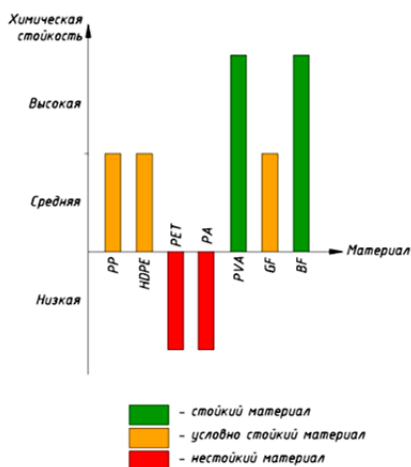
Можно выделить три степени стойкости материалов к воздействию химикатов [29]:

- *стойкий* (отсутствие изменений или небольшие изменения физических свойств: изменение веса менее чем на 1 %; изменение предела прочности менее чем на 5 %);
- *условно стойкий* (некоторые изменения физических свойств возникают после длительного воздействия, в случае если изменение веса больше чем 1 % или изменение предела прочности больше чем 5 %);
- *нестойкий* (существенные изменения физических свойств возникают после короткого периода воздействия: изменение веса более чем на 1 %, снижение предела прочности более чем на 5 %).

На **рис. 8** приведены результаты исследований [5, 7, 17, 28, 30, 31] по оценке химической стойкости материалов георешеток. К рас-

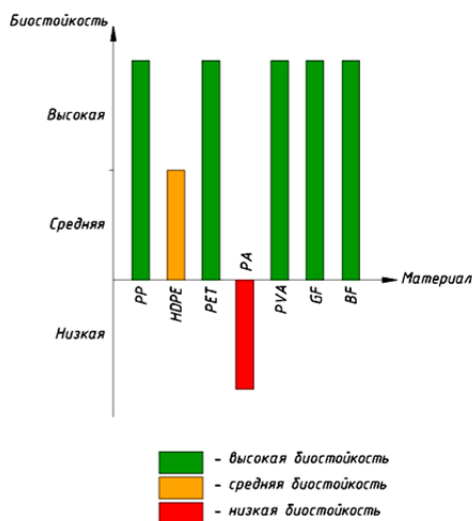
смотрению и анализу принимались элементы и соединения, наиболее часто воздействующие на дорогу и армирующий материал.

Также важным показателем при выборе георешеток является их биостойкость – способность материалов противостоять воздействию бактерий и грибов, вызывающих разрушающие биологические процессы. В результате воздействия могут наблюдаться не только поверхностные повреждения изделия, но и нарушение его работоспособного состояния.



*Рис. 8. Сводный график химической стойкости материалов георешеток*

*Рис. 9. Сводный график биостойкости материалов георешеток*



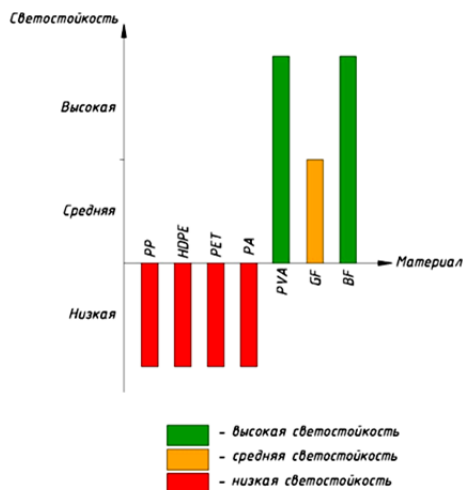
Помимо исходного сырья на биостойкость георешеток влияют такие факторы окружающей среды, как влажность, температура, сезонные перепады, наличие бактерий и различных микроорганизмов, а так-



же месторасположение конкретного участка строительства, например, в болотистой местности. Для повышения устойчивости георешеток воздействию бактерий и грибов возможно введение в состав исходных материалов наполнителей неорганического происхождения, а также обработка георешеток уже в готовом виде защитными добавками, обращая особое внимание при этом на тщательность ее выполнения. Результаты анализа полученных данных [30, 32] представлены в виде диаграммы светостойкости (рис. 9).

В процессе хранения и транспортировки георешетки подвергаются воздействию ультрафиолетового излучения (УФ-излучение). Способность материалов сохранять внешний вид, химические и физико-механические свойства под его воздействием называется светостойкостью. Чем меньше изменяются данные характеристики материалов, тем выше их светостойкость. На основе анализа результатов исследований [7, 11-13, 33, 34] была построена диаграмма светостойкости, представленная на рис. 10.

Об устойчивости к УФ-излучению можно судить по начальной стадии разрушения материала, а именно, по потере изначального внешнего вида. Путем введения специальных стабилизирующих добавок светостойкость материалов, вероятно, может быть повышена, однако добиться абсолютной изоляции сложно, поскольку достаточно трудно выполнить равномерную обработку.



*Рис. 10. Сводный график светостойкости материалов георешеток*

УФ-излучение может оказывать на георешетки дополнительное влияние и во время эксплуатации автомобильной дороги. Раскрываясь со временем, трещины в асфальтобетонном покрытии могут пропускать такое излучение внутрь дорожной конструкции, что неизбежно будет приводить к потере прочности армирования.

Опираясь на представленные результаты исследований в виде отдельных графиков и диаграмм, построенных на основе обработки массива накопленных данных, была сформирована итоговая таблица эффективности георешеток, изготовленных из различных материалов (табл. 1).

**Таблица 1**

*Сравнительные характеристики материалов, предназначенных для использования в дорожном покрытии*

Характеристики		Синтетические					Неорганические	
		PP	HDPE	PET	PA	PVA	GF	BF
Совместная работа с асфальтобетоном	Модуль упругости на растяжение							
	Модуль упругости на изгиб							
	Предел прочности							
	Относительное удлинение							
Устойчивость к природным воздействиям	Водостойкость							
	Светостойкость							
	Биостойкость							
	Химическая стойкость							

*Условные обозначения:*

	– низкая эффективность.
	– средняя эффективность.
	– высокая эффективность.

## ВЫВОДЫ

Анализируя данные, представленные в итоговой таблице, можно сделать следующие выводы:

1. При выборе георешеток предпочтительны изделия из геосинтетических материалов, обладающих высокой химической стойкостью, водо- и светостойкостью, повышенными прочностными характеристиками, низкими деформативными характеристиками и хорошей адгезией с асфальтобетоном.
2. Из большого многообразия георешеток следует особо выделить георешетки из базальтового волокна с повышенными физико-механическими, химическими и прочими характеристиками, характеризующиеся при этом невысокой стоимостью по сравнению с другими имеющимися на современном рынке материалами. Георешетки из стекловолокна обладают основными положительными показателями, но из-за низких водостойкости и химической стойкости для их применения в монолитных слоях дорожной одежды требуется технико-экономическое обоснование.
3. Показатели георешеток из полимерных материалов значительно ниже, чем у базальтового волокна и стекловолокна, следовательно, армирование полимерными георешетками не в полной мере может оправдать ожидаемый экономический эффект от их применения и может быть рассмотрено лишь при соответствующем технико-экономическом обосновании, либо в условиях, исключающих снижение их прочности в процессе укладки и эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Полиамид: получение, свойства, показатели, характеристики, аналоги [Электронный ресурс] // Информационный портал «РусТХим». – Электрон. данные. – URL: <http://poliamid.ru> (дата обращения 30.03.2016).
2. High density polyethylene [Электронный ресурс] // The company «Globichem». – Электрон. данные. – URL: <http://www.globichem.com/pdf/polyethylenere/hdpe/HDPE-60507.pdf> (дата обращения 31.03.2016).
3. Typical property values [Электронный ресурс] // San Diego Plastics, Inc. – Электрон. данные. – URL: <http://www.sdplastics.com> (дата обращения 07.04.2016).
4. Кузнецов Е.В. Альбом технологических схем производства полимеров и пластических масс на их основе / Е.В. Кузнецов, И.П. Прохорова, Д.А. Файзуллина // М.: Издательство «Химия». – 1976. – 108 с.

5. *Виды и свойства полиамидов [Электронный ресурс] // Информационный портал «Полимеры». – Электрон. данные. – URL: <http://www.polymer.ru/termoplast.php> (дата обращения 31.03.2016).*
6. *Flexural Strength Testing of Plastics [Электронный ресурс] // LLC «MatWeb». – Электрон. данные. – URL: <http://www.matweb.com/reference/flexuralstrength.aspx> (дата обращения 31.03.2016).*
7. *Описание и марки полимеров [Электронный ресурс] // Информационный портал «Полимерные материалы». – Электрон. данные. – URL: <http://www.polymerbranch.com/catalogp.html> (дата обращения 30.03.2016).*
8. *Гарбар М.И. Справочник по пластическим массам / М.И. Гарбар, М.С. Акутин, Н.М. Егоров. – М.: Химия. – 1967. – 200 с.*
9. *Fiberglass Properties [Электронный ресурс] // Architectural Fiberglass, Inc. – Электрон. данные. – URL: <http://www.fiberglassafi.com/fiberglass-properties.htm> (дата обращения 31.03.2016).*
10. *Bio-Based Fire Resistant Basalt Fibre Prepreg [Электронный ресурс] // The company «Basaltex». – Электрон. данные. – URL: [http://www.basaltex.com/files/cms1/Product Data Sheet\\_basalt\\_furan\\_prepreg.pdf](http://www.basaltex.com/files/cms1/Product Data Sheet_basalt_furan_prepreg.pdf) (дата обращения 31.03.2016).*
11. *Свойства полипропилена [Электронный ресурс] // Информационный портал «Plastic». – Электрон. данные. – URL: <http://www.korosplast.ru/svoystva-polipropilena> (дата обращения 31.03.2016).*
12. *Полиэтилен: основные свойства и области применения [Электронный ресурс] // ООО «Полтавхим». – Электрон. данные. – URL: <http://poltavhim.pl.ua/refernce/13-polyethylene.html> (дата обращения 31.03.2016).*
13. *Капранчик В.П. Свойства полиамидов и особенности их использования [Электронный ресурс] // Группа «CREON Energy». – Электрон. данные. – URL: [http://www.creonenergy.ru/upload/iblock/4b4/1.Kapranchik\\_Institut\\_Polimerov.pdf](http://www.creonenergy.ru/upload/iblock/4b4/1.Kapranchik_Institut_Polimerov.pdf) (дата обращения 31.03.2016).*
14. *Гутников С.И. Стекланные волокна: учеб. пособие / С.И. Гутников, Б.И. Лазорьяк, А.Н. Селезнев. – М., 2010. – 8 с.*
15. *Капранчик В.П. Свойства полипропилена и особенности его использования [Электронный ресурс] // Группа «CREON Energy». – Электрон. данные. – URL: [http://www.creonenergy.ru/upload/iblock/914/Kapranchik\\_institut\\_polimerov.pdf](http://www.creonenergy.ru/upload/iblock/914/Kapranchik_institut_polimerov.pdf) (дата обращения 31.03.2016).*
16. *Adel Ramezani Kakroodi. Mechanical, Thermal, and Morphological Properties of Nanocomposites Based on Polyvinyl Alcohol and Cellulose Nanofiber from Aloe Vera Rind / Adel Ramezani Kakroodi, Shuna Cheng, Mohini Sain, Abdullah M. Asiri [Электронный ресурс] // Journal of Nanomaterials. – 2014. – September. – Электрон. данные. – URL:*

- <https://www.researchgate.net/publication/266796848> (дата обращения 02.04.16).
17. Стеклонить (стекловолокно) [Электронный ресурс] // Информационный портал «SammaS». – Электрон. данные. – URL: <http://samma.ru/spravochnik-materialov/armiruyushchie-materialy/steklonit.html> (дата обращения 06.04.2016).
  18. Свойства базальтовых волокон и базальтопластиков [Электронный ресурс] // ЗАО «Нафтарос». – Электрон. данные. – URL: <http://www.naftaros.ru/articles/31/> (дата обращения 31.03.2016).
  19. Пустовгар Е.А. Исследование коррозионной стойкости базальтовых волокон в кислых и щелочных средах / Е.А. Пустовгар [Электронный ресурс] // Электронный журнал «Популярные нанотехнологии». – 2009. – Электрон. данные. – URL: <http://popnano.ru/studies/index.php?task=view&id=200> (дата обращения 07.04.2016).
  20. Физические свойства полимеров [Электронный ресурс] // Инженерный электронный справочник. – Электрон. данные. – URL: <http://www.dpva.info/Guide/GuideMaterials/ResinesElastomersPlasticsPolimers/phisPropPolTab/> (дата обращения 31.03.2016).
  21. Основные конструкционные пластмассы [Электронный ресурс] // ООО «Пластмассы Спб». – Электрон. данные. – URL: <http://magak.ru/wood-and-plastic/materials/104-13-?showall=1> (дата обращения 31.03.2016).
  22. Poly(ethylene terephthalate) (PET) [Электронный ресурс] // Information portal «Crow». – Электрон. данные. – URL: <http://polymerdatabase.com/polymers/polyethyleneterephthalate.html> (дата обращения 31.03.2016).
  23. Understanding the Relationship of Performance with Nanofiller Content in the Biomimetic Layered Nanocomposites [Электронный ресурс] // The Royal Society of Chemistry. – 2013. – Электрон. данные. – URL: <http://www.rsc.org/suppdata/nr/c3/c3nr00801k/c3nr00801k.pdf> (дата обращения 07.04.2016).
  24. PVA Guide [Электронный ресурс] // Company ATWIM. – Электрон. данные. – URL: <http://www.atwim.com/en/content/9-pva-guide> (дата обращения 07.04.2016).
  25. Lehman R. The mechanical properties of glass [Электронный ресурс] // Department of Ceramics and Materials Engineering Rutgers University. – Электрон. данные. – URL: <http://glassproperties.com/references/MechPropHandouts.pdf> (дата обращения 07.04.2016).
  26. Rarnalaishnan V. Performance Evaluation of 3-D Basalt Fiber Reinforced Concrete & Basalt Rod Reinforced Concrete [Электронный ресурс] // Transportation Research Board. National Research Council. – November, 1998. – Электрон. данные. – URL: [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/studies/idea/finalreports/highway/nchrp045\\_final\\_report.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/studies/idea/finalreports/highway/nchrp045_final_report.pdf) (дата обращения 07.04.2016).

27. Водопоглощение органических материалов [Электронный ресурс] / Электронная энциклопедия «Справочник химика 21». – Электрон. данные. – URL: <http://chem21.info/info/988829/> (дата обращения 16.03.2015).
28. Базальт [Электронный ресурс] / Компания «Relicom». – Электрон. данные. – URL: <http://www.relicom.ru/catalog/aerospace/siltex/basalt/> (дата обращения 16.03.2015).
29. Химическая стойкость поликарбоната [Электронный ресурс] / ООО «Экструзионные линии». – Электрон. данные. – URL: <http://www.extrusion-lines.ru> (дата обращения 27.03.2015).
30. Базальтовое волокно – современный материал с уникальными характеристиками [Электронный ресурс] / ООО «Техинвестстрой». – Электрон. данные. – URL: <http://teploizolyaciya-info.ru> (дата обращения 02.04.2015).
31. Виды полимерного сырья: идентификация полимеров [Электронный ресурс] / Информационный портал «PlastInfo». – Электрон. данные. – URL: <http://plastinfo.ru>. (дата обращения 03.04.2015).
32. Сахно О.Н. Биологическая устойчивость полимерных материалов / О.Н. Сахно, О.Г. Селиванов, В.Ю. Чухланов // Владимир: ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2014. – 64 с.
33. Воздействие атмосферных условий на стекловолокно [Электронный ресурс] / Предприятие «АВИОН». – Электрон. данные. – URL: <http://www.avion.ru> (дата обращения 17.03.2015).
34. Базальтовое волокно: характеристики и свойства [Электронный ресурс] / Информационный портал «Камни». – Электрон. данные. – URL: <http://kamni.ws> (дата обращения 17.03.2015).

## L I T E R A T U R A

1. Poliamid: poluchenie, svojstva, pokazateli, harakteristiki, analogi [Jelektronnyj resurs] // Informacionnyj portal «RustHim». – Jelektron. dannye. – URL: <http://poliamid.ru> (data obrashhenija 30.03.2016).
2. High density polyethylene [Jelektronnyj resurs] // The company «Globichem». – Jelektron. dannye. – URL: <http://www.globichem.com/pdf/polyethyenepe / hdpe/HDPE – 60507.pdf> (data obrashhenija 31.03.2016).
3. Typical property values [Jelektronnyj resurs] // San Diego Plastics, Inc. – Jelektron. dannye. – URL: <http://www.sdplastics.com> (data obrashhenija 07.04.2016).
4. Kuznecov E.V. Al'bom tehnologicheskikh shem proizvodstva polimerov i plasticheskikh mass na ih osnove / E.V. Kuznecov, I.P. Prohorova, D.A. Fajzullina // M.: Izdatel'stvo «Himija». – 1976. – 108 s.
5. Vidy i svojstva poliamidov [Jelektronnyj resurs] // Informacionnyj portal «Polimery». – Jelektron. dannye. – URL: <http://www.polimery.ru/termoplast.php> (data obrashhenija 31.03.2016).

6. *Flexural Strength Testing of Plastics [Jelektronnyj resurs]* // LLC «MatWeb». – Jelektron. dannye. – URL: <http://www.matweb.com/reference/flexuralstrength.aspx> (data obrashhenija 31.03.2016).
7. *Opisanie i marki polimerov [Jelektronnyj resurs]* // Informacionnyj portal «Polimernye materialy». – Jelektron. dannye. – URL: <http://www.polymerbranch.com/catalogp.html> (data obrashhenija 30.03.2016).
8. Garbar M.I. *Spravochnik po plasticheskim massam / M.I. Garbar, M.S. Akutin, N.M. Egorov.* – M.: Himija. – 1967. – 200 s.
9. *Fiberglass Properties [Jelektronnyj resurs]* // Architectural Fiberglass, Inc. – Jelektron. dannye. – URL: <http://www.fiberglassafi.com/fiberglass-properties.htm> (data obra-shhenija 31.03.2016).
10. *Bio-Based Fire Resistant Basalt Fibre Prepreg [Jelektronnyj resurs]* // The company «Basaltex». – Jelektron. dannye. – URL: [http://www.basaltex.com/files/cms1/Product Data Sheet\\_basalt\\_furan\\_prepreg.pdf](http://www.basaltex.com/files/cms1/Product Data Sheet_basalt_furan_prepreg.pdf) (data obrashhenija 31.03.2016).
11. *Svojstva polipropilena [Jelektronnyj resurs]* // Informacionnyj portal «Plastic». – Jelektron. dannye. – URL: <http://www.koros-plast.ru/svojstva-polipropilena> (data obrashhenija 31.03.2016).
12. *Polijetilen: osnovnye svojstva i oblasti primenenija [Jelektronnyj resurs]* // OOO «Poltavhim». – Jelektron. dannye. – URL: <http://poltavhim.pl.ua/refernce/13-polyethylene.html> (data obrashhenija 31.03.2016).
13. Kapranchik V.P. *Svojstva poliamidov i osobennosti ih ispol'zovanija [Jelektronnyj resurs]* // Gruppya «CREON Energy». – Jelektron. dannye. – URL: [http://www.creonenergy.ru/upload/iblock/4b4/1.Kapranchik\\_Institut\\_Polimerov.pdf](http://www.creonenergy.ru/upload/iblock/4b4/1.Kapranchik_Institut_Polimerov.pdf) (data obrashhenija 31.03.2016).
14. Gutnikov S.I. *Stekljannye volokna: ucheb. posobie / S.I. Gutnikov, B.I. Lazorjak, A.N. Seleznev.* – M., 2010. – 8 s.
15. Kapranchik V.P. *Svojstva polipropilena i osobennosti ego ispol'zovanija [Jelektronnyj resurs]* // Gruppya «CREON Energy». – Jelektron. dannye. – URL: [http://www.creonenergy.ru/upload/iblock/914/Kapranchik\\_institut\\_polimerov.pdf](http://www.creonenergy.ru/upload/iblock/914/Kapranchik_institut_polimerov.pdf) (data obrashhenija 31.03.2016).
16. Adel Ramezani Kakroodi. *Mechanical, Thermal, and Morphological Properties of Nanocomposites Based on Polyvinyl Alcohol and Cellulose Nanofiber from Aloe Vera Rind / Adel Ramezani Kakroodi, Shuna Cheng, Mohini Sain, Abdullah M. Asiri [Jelektronnyj resurs]* // *Journal of Nanomaterials.* – 2014. – September. – Jelektron. dannye. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/266796848> (data obrashhenija 02.04.16).
17. *Steklonit' (steklovolokno) [Jelektronnyj resurs]* // Informacionnyj portal «SammaS». – Jelektron. dannye. – URL: <http://sammass.ru/spravochnik-materialov/armiruyushchie-materialy/steklonit.html> (data obrashhenija 06.04.2016).

18. *Svojstva bazal'tovyh volokon i bazal'toplastikov [Jelektronnyj resurs] // ZAO «Naftaros». – Jelektron. dannye. – URL: <http://www.naftaros.ru/articles/31/> (data obrashhenija 31.03.2016).*
19. *Pustovgar E.A. Issledovanie korrozionnoj stojkosti bazal'tovyh volokon v kislyh i shhelochnyh sredah / E.A. Pustovgar [Jelektronnyj resurs] // Jelektronnyj zhurnal «Populjarnye nanotehnologii». – 2009. – Jelektron. dannye. – URL:<http://popnano.ru/studies/index.php?task=view&id=200> (data obrashhenija 07.04.2016).*
20. *Fizicheskie svojstva polimerov [Jelektronnyj resurs] // Inzhenernyj jelektronnyj spravochnik. – Jelektron. dannye. – URL:<http://www.dpva.info/Guide/GuideMaterials/ResinesElastomersPlasticsPolimers/phisPropPolTab/> (data obrashhenija 31.03.2016).*
21. *Osnovnye konstrukcionnye plastmassy [Jelektronnyj resurs] // OOO «Plastmassy Spb». – Jelektron. dannye. – URL:<http://magak.ru/wood-and-plastic/materials/104-13-?showall=1> (data obrashhenija 31.03.2016).*
22. *Poly(ethylene terephthalate) (PET) [Jelektronnyj resurs] // Information portal «Crow». – Jelektron. dannye. – URL:<http://polymerdatabase.com/polymers/polyethyleneterephthalate.html> (data obrashhenija 31.03.2016).*
23. *Understanding the Relationship of Performance with Nanofiller Content in the Biomimetic Layered Nanocomposites [Jelektronnyj resurs] // The Royal Society of Chemistry. – 2013. – Jelektron. dannye. – URL: <http://www.rsc.org/suppdata/nr/c3/c3nr00801k/c3nr00801k.pdf> (data obrashhenija 07.04.2016).*
24. *PVA Guide [Jelektronnyj resurs] // Company ATWIM. – Jelektron. dannye. – URL: <http://www.atwim.com/en/content/9-pva-guide> (data obrashhenija 07.04.2016).*
25. *Lehman R. The mechanical properties of glass [Jelektronnyj resurs] // Department of Ceramics and Materials Engineering Rutgers University. – Jelektron. dannye. – URL: <http://glassproperties.com/references/MechPropHandouts.pdf> (data obrashhenija 07.04.2016).*
26. *Rarnalaishnan V. Performance Evaluation of 3-D Basalt Fiber Reinforced Concrete & Basalt Rod Reinforced Concrete [Jelektronnyj resurs] // Transportation Research Board. National Research Council. – November, 1998. – Jelektron. dannye. – URL: [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/studies/idea/finalreports/highway/nchrp045\\_final\\_report.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/studies/idea/finalreports/highway/nchrp045_final_report.pdf) (data obrashhenija 07.04.2016).*
27. *Vodopogloshhenie organicheskikh materialov [Jelektronnyj resurs] / Jelektronnaja jenciklopedija «Spravochnik himika 21». – Jelektron. dannye. – URL: <http://chem21.info/info/988829/> (data obrashhenija 16.03.2015).*
28. *Bazal't [Jelektronnyj resurs] / Kompanija «Relicom». – Jelektron. dannye. – URL: <http://www.relicom.ru/catalog/aerospace/siltex/basalt/> (data obrashhenija 16.03.2015).*



29. *Himicheskaja stojkost' polikarbonata [Jelektronnyj resurs] / OOO «Jekstruzionnye linii». – Jelektron. dannye. – URL: <http://www.extrusion-lines.ru> (data obrashhenija 27.03.2015).*
30. *Bazal'tovoe volokno – sovremennyj material s unikal'nymi harakteristikami [Jelektronnyj resurs] / OOO «Tehinveststroj». – Jelektron. dannye. – URL: <http://teploizolyaciya-info.ru> (data obrashhenija 02.04.2015).*
31. *Vidy polimernogo syr'ja: identifikacija polimerov [Jelektronnyj resurs] / Informacionnyj portal «PlastInfo». – Jelektron. dannye. – URL: <http://plastinfo.ru>. (data obrashhenija 03.04.2015).*
32. *Sahno O.N. Biologicheskaja ustojchivost' polimernyh materialov / O.N. Sahno, O.G. Selivanov, V.Ju. Chuhlanov // Vladimir: VIGU im. A.G. i N.G. Stoletovyh, 2014. – 64 s.*
33. *Vozdejstvie atmosferynyh uslovij na steklovolokno [Jelektronnyj resurs] / Predpriyatje «AVION». – Jelektron. dannye. – URL: <http://www.avion.ru> (data obrashhenija 17.03.2015).*
34. *Bazal'tovoe volokno: harakteristiki i svojstva [Jelektronnyj resurs] / Informacionnyj portal «Kamni». – Jelektron. dannye. – URL: <http://kamni.ws> (data obrashhenija 17.03.2015).*

---

**ABOUT THE EFFECTIVENESS OF THE REINFORCEMENT OF  
NON-RIGID ROAD PAVEMENTS WITH GEOGRIDS MADE FROM  
DIFFERENT GEOSYNTHETIC MATERIALS**

*Ph. D. (Tech.), Associated Professor A.A. Ignatyev,  
Engineer C.A. Kulikova,*

*Ph. D. (Tech.), Associated Professor V.M. Dudin  
(Yaroslavl State Technical University)*

*Contact information: [ignatyevaa@ystu.ru](mailto:ignatyevaa@ystu.ru);  
[dudinvm@ystu.ru](mailto:dudinvm@ystu.ru);  
[kurochkinaka@ystu.ru](mailto:kurochkinaka@ystu.ru);  
8(4852) 44-03-67*

*The main geosynthetic materials used for manufacturing geogrids are considered on basis of the analysis of their physical and mechanical properties and environmental resistance. The conclusions about the effectiveness of using of geogrids made of different materials in road pavement are given.*

**Key words:** *road pavement, geogrid, geosynthetic materials, modulus of elasticity, tensile strength, yield strength, tensile strain, water resistance, chemical resistance, biostability, light resistance.*

---

Рецензент: канд. техн. наук А.П. Фомин (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 02.04.2018 г.