

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Геосинтетические материалы в дорожном строительстве

И.И. Дмитриев¹

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье

УДК 625.71.8

История

Подана в редакцию 04.10.2016

Ключевые слова

дорожное строительство;
строительство автодорог;
геосинтетические материалы;
геосинтетик;
геотекстиль;
георешетки;
полимерные материалы;

АННОТАЦИЯ

На фоне рыночных отношений, активно развивающихся в Российской Федерации, многие проектные организации, помимо проведения мер по улучшению качества и прочности дорожного полотна, стали активно задумываться о способах наиболее эффективно снизить стоимость строительства и реконструкции дорог, при этом оставляя на прежнем уровне, а то и повышая, эксплуатационную и экологическую безопасность. В этом на помощь строительным компаниям приходят современные технологии в виде геосинтетических материалов, которые обеспечивают высокую прочность конструкциям, при этом имея относительно низкую стоимость. В данной статье рассматривается обширная классификация геосинтетических материалов по различным характеристикам, рассмотрены основные способы их применения, а также даются рекомендации по использованию каждого типа геосинтетика в зависимости от его индивидуальных свойств. Также прилагается краткая историческая справка и примеры использования геосинтетических материалов на важных транспортных объектах России.

Содержание

1.	Введение	36
2.	Актуальность	38
3.	Классификация и свойства геосинтетических материалов	38
4.	Выводы	46

Контактный автор:

1. +7(911)7587771, dmitriev.ivashka@ya.ru (Дмитриев Иван Игоревич, студент)

1. Введение

В Нидерландах в 1953 году случилось самое тяжелое стихийное бедствие за всю историю страны. Сильные штормы затопили юго-западную часть Голландии, более 1800 человек утонуло, более 72 тыс. людей остались без крова. В качестве спасения от повторных катаклизмов нидерландские ученые создали геосинтетические материалы (далее – геосинтетики).

Простые мешки с песком в качестве защиты от прорыва плотин показали малую эффективность, что заставило органы власти искать альтернативное решение. По данным [1] за разработку новых синтетических волокон, которые могли бы укрепить в мешки с песком, взялась фирма Enka Industrial Systems (Colbond Geosynthetics). Решением этой сложной задачи стали полиамидные матрасы Энкалон, что послужило толчком для использования заполненных матов. Следующим прецедентом использования матов стало укрепление берегов для нефтяной фирмы в Рио Магдалене, Колумбия. После этого началась новая эпоха. Геосинтетические маты стали применять повсеместно.

Следующими ступенями на пути к современным геосинтетикам стали противоэрозийные маты Энкамат и дренажные маты Энкадрайн 1973 года. Из-за особенностей строения Энкамат прекрасно взаимодействовал с естественной корневой системой растений, что обеспечивало противоэрозионную защиту.

Советская химическая индустрия тоже не стояла на месте. По началу, как пишется в [2], советская промышленность была вынуждена закупать эти материалы за рубежом (в Венгрии и Чехословакии), но затем, в середине 70-х, после того как были изучены предоставленные зарубежными коллегами образцы и проведены научные исследования в отраслевых НИИ, начали появляться собственные разработки. Результатом наукоемких исследований стал полиэфирный материал Стабиленка 1976 года для армогрунтовых конструкций, который, по данным [1], мгновенно занял одну из лидирующих позиций в геосинтетической промышленности.

Первые опытные работы с использованием геосинтетиков были выполнены Союздорнии на автомобильной дороге Москва - Рига. При помощи геосинтетиков были устранены дефекты дорожного полотна. Это стало первым шагом в использовании этих материалов в СССР.

Исследования геосинтетических материалов продолжались, и в 1977 году, как пишет Львович Ю.М. [3], советские учёные создали, а затем и запустили в массовое производство первый нетканый геотекстиль - дорнит. Это способствовало увеличению темпов и качества строительства. Помимо этого были разработаны соответствующие технологии для применения этого материала в условиях вечномёрзлой мерзлоты Западной Сибири, что стало серьезным подспорьем при строительстве нефтепромысловых дорог.

На данный момент номенклатура геосинтетических материалов насчитывает порядка 400 видов, которые активно применяются в большинстве отраслей строительства. Но это не является конечной точкой развития геосинтетиков. Потребности в качестве, экономичности и экологичности строительства растут, а вместе с ними пополняется список синтезированных на данный момент геосинтетиков. Основными наукодвижущими силами России в данной отрасли химической промышленности являются такие научно-исследовательские организации как СоюздорНИИ, РосдорНИИ, МАДИ (Технический университет). Помимо этого за последние годы в России, по данным [4, 5], появились частные предприятия по выпуску геосинтетических материалов, оснащенные высокопроизводительным оборудованием известных западноевропейских фирм, что позволяет существенно расширить ассортимент, а так же начать применять на практике новые технологии производства. Изготовление некоторых видов нетканых материалов представляет собой технически несложные процессы, что привлекает в эту нишу мелких предпринимателей.

По мнению ведущих специалистов [6], в современной России значительно увеличился спрос на геосинтетики по объему и по номенклатуре, но масштабы применения геосинтетиков далеки от ситуации в Европе. Тем не менее, идёт постепенное наращивание производства дорожных работ при помощи данных материалов. С использованием геосинтетиков на данный момент были построены или отремонтированы следующие важные транспортные объекты:

- МКАД г. Москва;
- КАД г. Санкт-Петербург;
- Реконструкция путепровода г. Санкт-Петербург;
- Устройство путевого развития ладожского вокзала г. Санкт-Петербург;
- Строительство автодорожной насыпи г. Санкт-Петербург;
- Строительство подъездных дорог к карьере Мурманская область;
- Автомобильная дорога Ново-Александрово — Малахово;
- Стабилизация оползня Приморский край;

- Строительство сухого дока г. Находка;
- Автодорожная развязка г. Хабаровск;
- Реконструкция автодорог г. Хабаровск.

Ниже показаны фотографии применения различных видов геосинтетиков (Рис. 1-3).



Рис. 1. Применение георешетки с подложкой из геотекстиля при строительстве МКАД в качестве прослойки, армирующей асфальтовое покрытие.

В основании земляного полотна – пылеватые пески с активными просадками. Георешетки позволили разделить балластный слой (щебень) и грунт земляного полотна (пылеватый песок), а также распределить нагрузку на основание.



Рис. 2. Устройство путевого развития Ладужского вокзала. Санкт-Петербург

В Хабаровске было произведено уширение улицы. Для предотвращения отрыва и деформаций примыкающей части, устраиваемой на слабом основании, было произведено армирование георешеткой, что позволило предотвратить трещинообразование на границе примыкания уширяемой части.



Рис. 3. Реконструкция автодорог г. Хабаровск

По сведениям [6] активное использование геосинтетиков происходит и на территории Украины. Ярким примером может послужить реставрация Андреевской церкви в Киеве (Рис. 4). В результате проделанной

работы был уменьшен наклон грунта, сделана система дренажа, укреплены откосы. Это позволило предотвратить сползание грунта и сделать сдерживающую стену устойчивой к разрушению.



Рис. 4. Андреевская церковь в Киеве

2. Актуальность

В то время как на европейском рынке применение геосинтетиков в строительстве дорог имеет широкое распространение, в России только началось становление этой части рынка. По мнению [7], отечественные предприятия стали чаще применять геосинтетики в дорожной отрасли, что является хорошим толчком для ее развития.

Основной объем потребления на отечественном рынке геосинтетиков ложится на материалы, играющие наибольшую роль в дорожном строительстве, – геотекстиль и георешетки. За последние несколько лет, по данным [8], потребление геотекстиля выросло на 30%. Ежегодные темпы развития рынка геосинтетиков превышают 7%. Прирост отношения к показателям 2009 года по георешеткам на 2014 год составлял 34%. При этом именно автодорожная отрасль вносит значительный вклад в данный прирост. Только продажи геотекстиля в нее вносят до 30% совокупных продаж. Совокупные продажи георешеток в 2013 году составили порядка 43 млн. кв. м. И по данным [7, 9], можно смело констатировать факт, что количество дорог, построенных с использованием геосинтетики, растет и по сегодняшний день. Тем не менее, из-за сокращения финансирования дорожных программ в 2015-17гг. это происходит замедленными темпами, но с 2017 года ожидается возобновления роста рынка.

Для развития строительной дорожной отрасли в настоящее время существует большая потребность в распространении упорядоченных результатов научных исследований в области геосинтетических материалов. Данная статья поможет начинающему специалисту, не имеющему знаний в области геосинтетических материалов, получить общее представление о данном материале, его видах, а также рекомендации по его использованию. Эту статью можно использовать в учебном процессе при работе со студентами, получающими соответствующее профессиональное образование.

3. Классификация и свойства геосинтетических материалов

Определение (взято из работы [3]):

Геосинтетические материалы - общая классификационная терминология для всех видов синтетических материалов, которые используются в различных отраслях строительства, в том числе и дорожной. Этот термин включает: геотекстильные материалы, георешётки, геосетки, геомембраны и геокомпозиты.

Геосинтетические материалы обладают рядом уникальных свойств: (взято из работ [10-14]):

- высокой прочностью;
- химической стойкостью;
- долговечностью (срок эксплуатации до 100 лет)¹;
- высокой температуростойкостью;

¹ Однако в реальных условиях экспериментального исследования на износ [15] было выяснено, что потери прочности для геосетки из полиэстера составили вдоль волокон (вдоль действующей нагрузки) 17,3 %, поперек волокон 9,8 % при 27-летнем сроке эксплуатации, что с учетом экстраполяции свидетельствует о практически двойном снижении прочностных характеристик геосетки через 100 лет. Полученный понижающий коэффициент $A_1=1,61$. Он входит в эксплуатационный промежуток материала (1,5-2,5).

- низкой материалоемкостью;
- небольшим весом.

По структуре геосинтетические материалы подразделяются на:

- геотекстиль;
- георешетки;
- геосетки;
- геокомпозиты;
- геоматы;
- геокамеры;
- геомембраны.

По проницаемости геосинтетики разбивают на 5 категорий:

- Изоляционные;
- Влагонепроницаемые;
- Газонепроницаемые;
- Фильтрующие;
- Дренажные.

По форме и содержанию материалы делятся на: сыпучие, рулонные и геопены.

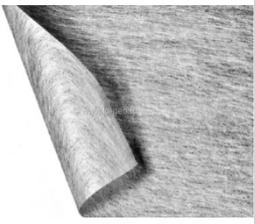
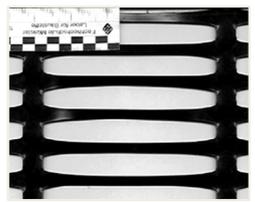
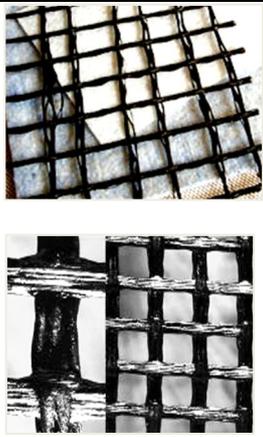
По степени деформируемости под действием нагрузки подразделяются на: нерастяжимые, растяжимые и сверхрастяжимые.

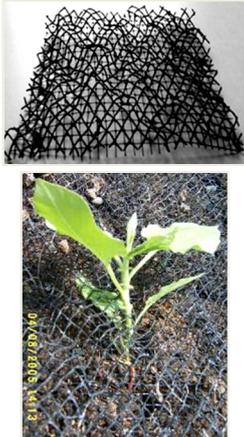
Расширение номенклатуры геосинтетиков, совершенствование технологий производства, а также доказанная экономическая эффективность послужили весомым поводом для расширения химического производства материалов, и вследствие этого произошло снижение стоимости на композиты.

Более подробная информация о каждом геосинтетическом материале представлена в [16-18] и ниже в таблице 1.

Таблица 1

Г С	В и Д	Изображение	Характеристики материала	Применение	Материал
Геотекстиль	Тканый		Производится из взаимно перпендикулярных нитей. При этом используются две или несколько полос сырьевого материала. По исследованию [19] жесткость материала увеличивается пропорционально деформации, что придает ему дополнительную прочность на растяжение	Эффективен (по данным [20]) для применения в дорожном, гидротехническом и трубопроводном строительстве, а также в сфере ландшафтного дизайна. В статье [21] уделяется внимание, что этот материал наименьшим образом влияет на окружающую среду при минимальных затратах.	Полимерный текстильный материал, произведенный в виде пластин или рулонов. Чаще всего изготавливается из полипропилена.

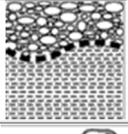
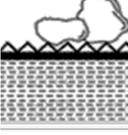
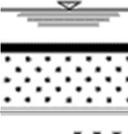
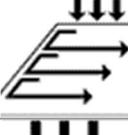
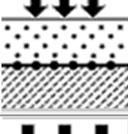
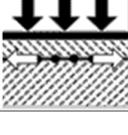
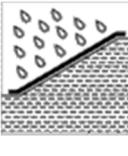
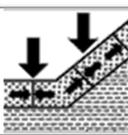
	Нетканый		Изготавливается в виде бесконечных волокон. Нити расположены случайным образом и связаны между собой иглопробивным, термообработанным способом или пропитанным химическим составом. В зависимости от длины нитей различаются нетканый геотекстиль сплошного волокна и из коротких нитей (или комочков)	Согласно исследованиям [22], водонепроницаемость одинаково высока как поперек плоскости полотна, так и вдоль нее. В экспериментах [23] нетканый геотекстиль существенно увеличивает сопротивление дорожного полотна нагрузкам на растяжение	
	Вязаный		Состоит из волокон, соединенных между собой специальной системой. Не является монолитной структурой.	Прекрасно выполняет функции дренажа и разделения сред.	
Георешетка	Одноосные		Решетка с длинными и тонкими отверстиями, которые имеют высокую прочность в направлении длины рулона.	Отличный материал (по исследованиям [24-26]) для армирования грунтовых стен, устоев мостов, склонов и земляных насыпей, а так же в локальных местах, имеющих слабое основание.	Георешетки изготавливаются из полиэтилена или полипропилена
	Двухосные		Решетка с квадратными отверстиями. Сопротивление деформации больше в районе узлов решетки, чем в ребрах. Прочность одинаковая в направлениях длины и ширины. (из статьи [27], в которой рассмотрены все виды решеток)	Применяются для армирования зернистого заполнителя в дорожном строительстве, для укрепления слабых оснований, усиления подбалластного слоя.	
Геосетки			Сетки могут пропитываться специальным полимерным составом, который обеспечивает стабильность структуры сетки и высокую разрывную нагрузку (из экспериментов [28]).	Применяются для армирования автодорог на слабых грунтах.	Рулонные материалы, имеющие ячеистую структуру, для заполнения сыпучими материалами. Изготавливаются из полимерных нитей или лент.

Геокмползиты		<p>Решетки выдерживают одинаковую нагрузку в каждой точке, включая места соединения (узлы). Это позволяет решетке блокироваться внутри асфальтовой смеси и обеспечивать надежную прочность конструкции.</p>	<p>Используется в дорожном строительстве, также в сфере ландшафтного дизайна, для армирования грунтовых стен, устоев мостов, склонов и земляных насыпей.</p>	<p>Представляет собой комбинацию полимерного материала (георешетки) с геотекстилем.</p>
Геомат		<p>Объемная конструкция с высокой сопротивляемостью эрозийным нагрузкам, позволяющая выдерживать разрушение, исходящее от растительного покрова.</p>	<p>Применяется для защиты склонов и откосов от эрозионных процессов, а также их озеленения.</p>	<p>Рулонный композитный материал, состоящий из геосетки и объемного материала, обеспечивая фиксацию корневой системы</p>
Геокамеры		<p>Хорошо пропускает воздух и воду, устойчив к большинству возможных негативных факторов среды и не подвергается разрушению в результате ультрафиолетового воздействия.</p>	<p>Применяется в сфере передового дорожного строительства, а также для создания гидротехнических сооружений.</p>	<p>Гибкая трехмерная конструкция, изготовленная из скрепленных между собой полимерных лент, образующих ячейки одинакового размера и формы.</p>
Геомембрана		<p>Изоляционный материал, не пропускающий воду, воздух, а также органические и неорганические материалы.</p>	<p>Применяются для создания гидроизолирующих прослоек. Является лучшей основой для создания защитных экранов на полигонах ТБО (из статей [29-34]).</p>	<p>Полимер плоской листовой структуры</p>

В дорожном полотне геосинтетик, в зависимости от его конструктивных особенностей и материала изготовления, может выполнять одну или несколько функций одновременно.

Наиболее известные функции геосинтетических материалов сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Функциональные особенности геосинтетиков			
Функция	Символ	Материал	Описание
Фильтрация		геотекстиль геокомпозиаты	В исследованиях авторов [35, 36], подчеркивается высокая способность геосинтетиков пропускать воду, удерживая на контактной поверхности частицы грунта и мусора.
Дренаж		георешетки геокомпозиаты	Как обращают внимание многие авторы [37-40], дренажные свойства геосинтетиков прекрасно способствуют отводу жидкостей из фундаментов, подвалов и пр. Однако, со временем обнаружилось [41, 42], что они могут ухудшаться при глубоководном дренажировании вследствие слипания волокон из-за высокого давления.
Разделение		геотекстиль геокомпозиаты	Предотвращает перемешивание двух различных грунтов или материалов. По результатам экспериментов [43, 44] доказал свою пользу и результативность.
Обеспечение безопасности		нетканый геотекстиль геосетки геокомпозиаты	Особо обращается внимание в [45] на то, что геосинтетик предохраняет от повреждений структуру конструкции, а также материал из которого она произведена.
Гидроизоляция		геомембраны геокомпозиаты	Барьер для жидких средств. Уменьшает или вовсе исключает приток воды в рабочие слои. Активно используется при строительстве гидротехнических сооружений (более подробная информация в [46, 47])
Усиление стен/откосов		Одноосные георешетки тканый геотекстиль	В статьях [48-51] показывается эффективность применения георешеток для укрепления откосов. Это происходит за счет распределение растягивающих усилий в толще грунта.
Усиление слабых грунтов		георешетки двухосные геотекстиль геокомпозиаты	В статье [52] доказывается значительное увеличение несущей способности грунта. Особенно это важно в зоне песков и болот.
Усиление асфальта, бетона		георешетки двухосные геотекстиль	По мнению [53-55], геосинтетики повышают выносливость, прочность и сопротивление растяжению у асфальтобетона.
Контроль эрозии и стабилизация поверхностей		геоматы геоячейки биоматы биосетки	Предотвращает отделение и перемещение грунта в результате погодных явлений. Обеспечивает противоэрозийный слой. Особо авторы [56, 57] рекомендуют обратить внимание на способность геосинтетиков препятствовать скольжению по поверхности.
Ограждение		геоячейки	Сопротивление боковому перемещению грунтовых масс. Особо важно это свойство при прокладке трубопроводов, на что указывается в статье [58]
Защита поверхности после реставрации		георешетки геотекстиль	Предотвращает взаимопроникновения контактирующих слоев, решая тем самым, по мнению [59], проблему зеркальных трещин, которая свойственна старым дорогам;

Геосинтетические материалы являются перспективными строительными материалами, применение которых при проектировании дорог, в соответствии с [60-62], позволяет поместить на новый уровень

технологии, развить культуру строительства, а также соблюсти все требования экологической безопасности к сооружаемым объектам.

По данным [63, 64] за счет оптимального использования свойств геоматериалов одновременно решаются следующие задачи:

1. Помимо обеспечения прочности и жесткости конструкций в полосе уширения, укрепляет новую полосу дороги в зоне ее сопряжения с действующей частью полотна; (подробнее об этом [65]);
2. После изъятия естественного грунта появляется возможность сразу закладывать основание дороги;
3. Нет необходимости в проведении дополнительных мер, препятствующих деформации;
4. Значительно уменьшаются объемы земляных работ, в том числе по защите коммуникаций;
5. Обеспечивается возможность для большинства случаев не производить вынос коммуникаций, что само по себе является экономией прямых затрат;
6. Стоимость транспортирования геосинтетиков существенно меньше затрат на доставку бетона, песка и др.
7. Существенно уменьшается (до 60-70 %) расход дорогостоящих материалов (щебня, гравия) [66];
8. Сокращаются сроки выполнения работ по реконструкции.
9. Существенно улучшают эксплуатационные характеристики автомобильных дорог
10. Сужение полосы отвода
11. Использование местных некондиционных грунтов.

Также немаловажным преимуществом применения геосинтетиков является их сравнительно малая стоимость (50-300 рублей на м²). Например, в статье [66] упоминается, что применение геосеток для армирования асфальтобетона дает возможность снижать толщину последнего до 20%, что дает существенное преимущество с точки зрения экономики производства.

Основная сложность эксплуатации дорожных покрытий заключается в сильном влиянии на целостность полотна непостоянных и плохо предсказуемых климатических и метеорологических факторов. Наряду с сезонным размоканием и высыханием, замерзанием и оттаиванием поверхностных слоев грунта под влиянием смены сезона года, свою лепту вносят атмосферные осадки, а также колебания температуры воздуха в течение дня. Свое внимание многие авторы [67-71] обращают на водонасыщенные грунты, основной недостаток которых заключается в том, что из-за избытка воды при замерзании они образуют морозное пучение, а при оттаивании – резкое становятся нестабильными.

Особую значимость эти факторы приобретают в районах с контрастной погодой: сухим, жарким летом, морозной зимой и межсезоньем, с избыточной влажностью (что прекрасно соответствует северо-западным, а также восточным регионам России). От хрупкой, промёрзшей и практически не деформирующейся дорожной одежды, до пластичной, пресыщенной водой при весенних паводках. Сложность построения дорог также возникает на глинистых, песчаных грунтах, на территориях со сложными гидрогеологическими и климатическими условиями. Ярким примером совокупного действия этих факторов является г. Санкт-Петербург, который, по мнению авторов [72], расположен в зоне сложных геологических и гидрологических условиях, из-за контрастного климата и высоко залегающих грунтовых вод.

Во всех этих случаях строителям приходится проводить обследование дорог и реализовывать мероприятия по улучшению физико-механических свойств грунтов, к которым относятся укрепление и уплотнение грунтов, регулирование водного режима при помощи дренажного устройства. В этом значительную помощь строителям оказывают геосинтетики, основная функция которых, по мнению [73-76], – армирование элементов дорожного полотна, перераспределение напряжений в грунте, что даже при существенных нагрузках позволяет покрытию оставаться в зоне стабильности. Характеристики грунтов, обладающих высокой прочностью на сжатие и сдвиги и малой на растяжение, по мнению [77-80], могут быть значительно улучшены путем введения упрочняющих элементов в направлении относительной деформации растяжения (отличные результаты сопротивления геосинтетиков растяжению доказаны в работах [81-85]). Также в исследованиях [86, 87] доказывается, что это помогает решить такую важную проблему как проскальзывания грунта над (под) или между армирующими элементами. В эксперименте Королькова Р.А. [88] был вычислен коэффициент взаимодействия (который в данном контексте можно отождествить с коэффициентом трения) георешетки и геотекстиля с песком и суглинком, значения которого позже были уточнены другими исследователями [89], а также показана его зависимость от давления. Значения сведены в таблицу 3.

Таблица 3.

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

По данным экспериментов можно увидеть, что коэффициент трения георешетки превосходит значения для геотекстиля, и сделать вывод, что георешетка лучше справляется с проблемой проскальзывания грунта, чем геотекстиль. Также георешетка, по мнению многих ученых [90-93], значительно уменьшает процессы деформации дорожного полотна, что увеличивает его срок эксплуатации и гарантирует экономию затрат на его содержание и ремонт. Автомобильные дороги, имеющие в основании георешетку, не подвергаются ремонту на протяжении 10 лет. При этом комбинированное использование геотекстиля и георешетки (показанное на рис. 5) позволяет достичь лучшего результата, наиболее эффективно сочетая преимущества обоих материалов.

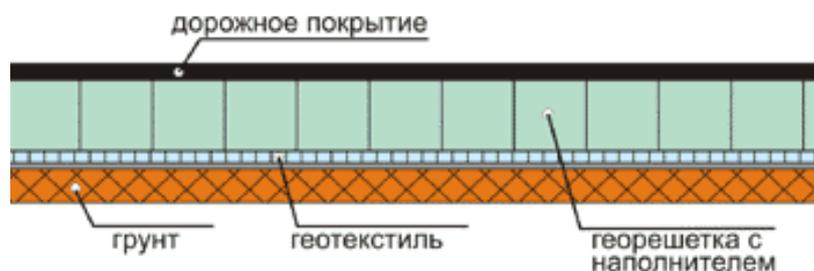


Рис. 5. Схема устройства дорожного полотна с использованием геотекстиля и георешетки.

Согласно [94], в начале 90-х годов прошлого века, когда в нашей стране использование геосинтетических материалов не имело обширного применения, дорожное покрытие устраивали на простой щебеночной подушке. Сулова Л.И. отмечает [95], что в потоке автомобилей, помимо легковых, присутствуют и грузовые, которые определяют повышенные динамические воздействия на покрытия. Они увеличивают амплитуду прогиба, провоцируют процессы усталости покрытия, а также ускоряют накопление пластических (невосстанавливаемых) деформаций и микротрещин. Естественно, что за более чем двадцатилетний срок эксплуатации, большинство покрытий дорожного полотна пришли в негодность: началось частичное, а то и полное разрушение полотна (образование ям), появилась колеиность. Изображения данных деформаций иллюстрируются рис. 6.



Рис. 6. Фотографии, иллюстрирующие ямы и колеиность

Укрепление геосинтетиками позволяет избавиться от этих проблем, повысив тем самым комфорт и безопасность дорожного движения. Из исследований [96] в конструкциях, которые воспринимают значительные сдвиговые усилия (такие как дороги), наиболее целесообразно использовать в данном случае георешетки.

Схемы применения геосинтетиков при выполнении дорожных работ, а также график зависимости глубины колеи от количества циклов приложенной нагрузки в дорожном полотне, армированном геосинтетическим материалом и нет, взяты из [97] и приведены в таблице 4 и приведенном ниже рис. 7.

Таблица 4

Эффект применения	Схема
Снижения или исключения отраженных трещин	
Создания барьера для противодействия подосу мелких частиц грунта	
Снижения толщины асфальтового покрытия	
Снижения толщины дорожной одежды	

Геосинтетики прекрасно справляются с задачей увеличения срока службы дорожного покрытия.

Эффективность армирования дорожного покрытия геосинтетиками можно оценить с помощью показателя эффективности (E):

$$E = \frac{N_r}{N_u}$$

N_r – количество циклов приложения нагрузки до разрушения армированного дорожного покрытия.

N_u – количество циклов приложения нагрузки до разрушения неармированного дорожного покрытия.

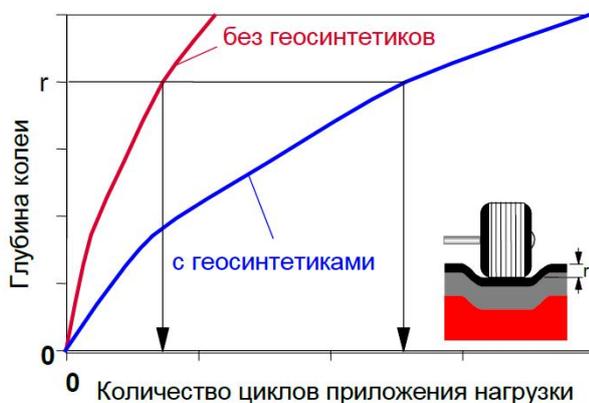


Рис. 7. Условный график зависимости глубины колеи от количества циклов приложенной нагрузки в дорожном полотне, армированном геосинтетическим материалом и нет.

В доступных литературных источниках [97] представлены данные о величине E до 16, что указывает на возможность достижения значительного увеличения срока службы дорожного покрытия в результате применения геосинтетиков в качестве армирующего или разделяющего элемента. Полевые наблюдения и результаты исследований подтверждают улучшение эксплуатационных качеств дорожного покрытия в результате применения геосинтетиков.

По исследованиям [98], дополнительному увеличению прочности откосов, в том числе и дорожного полотна, способствует покрытие участков, подверженных зарастанию, геосинтетическими материалами. Согласно [99, 100], при армировании откосов в насыпях, угол крутизны может быть увеличен до 70° . Помимо этого, сопротивление силам внутренней деформации грунта возрастает настолько, что в некоторых исследованиях [101, 102] утверждается, что подобный склон способен выдержать землетрясения 8-9 баллов.

4. Выводы

1. Была изучена история создания геосинтетических материалов, их развитие, использование в Европе и России, введение в массовое производство. Исследована нынешняя ситуация эксплуатации на территории России и доказана актуальность данной проблемы.

2. Была дана развернутая классификация по следующим параметрам: наличие уникальных свойств, по структуре, проницаемости, форме и содержанию, степени деформируемости, наличие функциональных особенностей

3. Рассмотрены примеры использования геосинтетиков в строительных и реставрационных дорожных работах, и доказано несомненное преимущество применения данных материалов.

Применение геосинтетических материалов при строительстве (реконструкции) автомобильных дорог в России, в настоящее время, динамически растёт.

Значительное расширение номенклатуры синтетических и композитных материалов, улучшение их физико-механических характеристик приведет к большим объемам их использования, обеспечит высокий уровень конструктивных решений, даст толчок новым технологиям строительства автодорог и в совокупности приведёт к существенному снижению использования природных ресурсов и выполнению экологических требований.

Литература

- [1]. Геосинтетические материалы [Электронный ресурс]. Систем. требования: Internet Explorer URL: http://www.areangeo.ru/m/20/geosinteticheskie_materialy.html (дата обращения 26.09.16)
- [2]. Геосинтетические материалы в строительстве [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader.URL: http://www.trans-mix.ru/info/info_geosintetica.php (дата обращения: 27.09.2016).
- [3]. Львович Ю. М. Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве. // Обзорная информация. № 7. М. 2002. С. 4-5.
- [4]. Вендило А. Г., Квасюк А. В., Бессарабов А. М., Ковалева Н. Е., Гафитулин М. Ю., Стоянов О. В., Заиков Г. Е. Системный анализ инновационного развития химических предприятий, выпускающих геосинтетические материалы // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 8. С. 366-371.
- [5]. Вендило А. Г., Мухамеджанов Г. К., Ковалева Н. Е., Бессарабов А. М., Степанова Т. И., Соловьева О. С., Квасюк А. В., Гафитулин М. Ю., Стоянов О. В., Заиков Г. Е. Региональный анализ промышленности геосинтетических материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 18. С. 304-308.
- [6]. Международные новости строительства Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2011. № 2 (145). С. 52-53.
- [7]. Федосов С. В., Поспелов П. И., Гойс Т. О., Грузинцева Н. А., Матрохин А. Ю, Гусев Б. Н. Проблемы оценки качества и стандартизации геосинтетических материалов в дорожном строительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2016. № 1. С. 101-106.
- [8]. Геосинтетика в дорожном строительстве. Реалии и перспективы [Электронный ресурс]. Систем. требования: Internet Explorer URL: <http://rusdorstroy.ru/articles/geosintetika-v-dorozhnom-stroitel-stve-realii-i-perspektivy/> (дата обращения 27.09.16)
- [9]. Станислав Донин Что тормозит развитие рынка дорожной геосинтетики // Всероссийский отраслевой интернет-журнал Строительство.ru [Электронный ресурс]. Систем. требования: Internet Explorer URL:<http://rmmm.ru/stroitelnye-materialy/22462-cto-tormozit-razvitiye-rynka-dorozhnoy-geosintetiki.html> (дата обращения 6.11.16)
- [10]. Fourie A. B., Jones C. J. F. P. Improved estimates of power consumption during dewatering of mine tailings using electrokinetic geosynthetics (ekgs). Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2010. Т. 28. № 2. pp. 181-190.
- [11]. Jones C. J. F. P., Lamont-Black J., Glendinning S. Electrokinetic geosynthetics in hydraulic applications Elsevier Science Publishing Company, Inc. Geotextiles and Geomembranes. Vol. 29, Issue 4, August 2011, pp. 381–390
- [12]. Гаев Д. А., Гавриш В. В. Современные геосинтетические материалы и области их применения в строительстве // В сборнике: Будущее науки - 2013 материалы Международной молодежной научной конференции. Ответственный редактор: Горохов А.А.. 2013. С. 131-139.
- [13]. Грузинцева Н. А., Гусев Б. Н. Разработка методики оценки качества геосинтетических материалов // В сборнике: Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации Сборник научных трудов XII-ой Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Горохов А.А.. 2015. С. 368-370.
- [14]. Фанин Е. Ю. Допуски и ошибки применения геосинтетических материалов в дорожном строительстве // В сборнике: Пути улучшения качества автомобильных дорог Сборник статей. Под редакцией М. И. Бальзаникова, К. С. Галицкова, Т. В. Дормидонтовой; Самара: Изд-во Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2015. С. 196-199.
- [15]. Пономарев А. Б., Клевекко В. И., Татьянников Д. А. Анализ изменения прочностных характеристик геосинтетических материалов в процессе эксплуатации // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2014. № 3 (35). С. 11-16.
- [16]. Дормидонтова Т. В., Гареева Л. Х., Хламова С. В. Функциональные особенности геосинтетических материалов в слоях дорожной одежды // В сборнике: Пути улучшения качества автомобильных дорог Сборник статей. Под редакцией М. И. Бальзаникова, К. С. Галицкова, Т. В. Дормидонтовой. Самара: Изд-во Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2015. С. 63-67.
- [17]. Инновационные геосинтетические материалы [Электронный ресурс]. Систем. требования: Internet Explorer URL: <http://www.geonovation.ru/> (дата обращения 27.09.16)
- [18]. Кисляков К. А., Кисляков М. А., Симаков Н. К. Классификация геосинтетических материалов и области их применения в дорожном строительстве // В сборнике: Выставка инноваций - 2016 сборник материалов XXI Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов. Сер. Весенняя сессия Ответственный за выпуск: Тюрин А.П.. 2016. С. 53-62.
- [19]. Татьянников Д. А. Изучение механических характеристик геосинтетических материалов для определения реальной несущей способности армированных фундаментных подушек // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 6 (53). С. 121-127.

- [20]. Боцман А. С. Применение тканых геосинтетических материалов в России // В сборнике: Пути улучшения качества автомобильных дорог. Под редакцией М. И. Бальзанникова, К. С. Галицкова, Т. В. Дормидонтовой. Самара: Изд-во Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2015. С. 19-22.
- [21]. Чижиков И. А., Слепнев П. А. Применение геосинтетических материалов (геотканей) для обеспечения экологической безопасности строительства нефтегазопромысловых дорог // Современные проблемы науки и образования, № 1, С 158-163 (2012)
- [22]. Raju M. Monotonic and cyclic pullout resistance of geosynthetics. The University of British Columbia (Canada). 1996. pp 15-17.
- [23]. Rawal A., Shah T.H., Anand S.C. 4 - Geotextiles in civil engineering // Elsevier Science Publishing Company, Inc Handbook of Technical Textiles (Second Edition), 2016, pp. 111-133.
- [24]. Дормидонтова Т. В., Васильев В. О. Пути повышения качества автомобильных дорог за счет внедрения технологии укладки геосинтетических материалов в дорожные одежды // В сборнике: Пути улучшения качества автомобильных дорог. Под редакцией М. И. Бальзанникова, К. С. Галицкова, Т. В. Дормидонтовой. Самара: Изд-во Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2015. С. 54-58.
- [25]. Дьяков И. М., Мравец Д. А. К вопросу применения геосинтетических материалов для повышения надежности работы подпорных стен в условиях Крыма // Строительство и техногенная безопасность. 2012. № 42. С. 52-57.
- [26]. Рубцова М. В., Клевекко В. И. Применение геосинтетического материала для обеспечения устойчивости автодорожной насыпи на слабом основании и сокращение сроков строительства // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. 2015. Т. 1. С. 489-497.
- [27]. Pokharel S. K., Han J., Parsons R. L., Leshchinsky D., Halahmi I. Investigation of factors influencing behavior of single geocell-reinforced bases under static loading. Elsevier Science Publishing Company, Inc. Geotextiles and Geomembranes. 2010. Т. 28. № 6. pp. 570-578.
- [28]. Kajornsakbampen A. Influence of critical failure surfaces on geosynthetic-reinforced soil slopes and structures. Lamar University – Beaumont. 1997. pp 5-10
- [29]. Benson C. H., Scalia J., Kucukkirca I. E. Properties of geosynthetics exhumed from a final cover at a solid waste landfill. Elsevier Science Publishing Company, Inc. Geotextiles and geomembranes. 2010. Т. 28. № 6. pp. 536-546.
- [30]. Khachan M. M., Bhatia S. K., Bader R. A., Cetin D., Ramarao B. V. Cationic starch flocculants as an alternative to synthetic polymers in geotextile tube dewatering. Geosynthetics International. 2014. Т. 21. № 2. pp. 119-136
- [31]. Ищенко А. В., Баев О. А. Комбинированные противоточные покрытия из геосинтетических материалов // Строительство - 2015: современные проблемы строительства // материалы международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВПО Ростовский государственный строительный университет, Союз строителей южного федерального округа, Ассоциация строителей Дона. 2015. С. 272-274.
- [32]. Рыжакова М. Г., Масликов В. И. Геоэкологические аспекты обращения с ТБО, содержащими опасные компоненты // Строительство уникальных зданий и сооружений. № 8 (23). 2014. 48-66
- [33]. Шамсиева Г. Ш., Найман С. М. Анализ возможностей применения геосинтетических материалов на полигонах ТБО // В сборнике: Россия молодая Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. 2015. С. 263.
- [34]. Шамсиева Г. Ш., Найман С. М. Применение геосинтетических материалов на полигонах твердых бытовых отходов // В сборнике: XV Всероссийская конференция Химия и инженерная экология с международным участием Сборник докладов. 2015. С. 28-31
- [35]. Peter G. Nicholson Geosynthetics for Filtration Drainage, and Seepage Control // Elsevier Science Publishing Company Inc. Soil Improvement and Ground Modification Methods 2015, pp. 189–207
- [36]. Окунцев А. С., Офрихтер В. Г. Использование геосинтетических материалов в качестве дренажных и фильтрационных систем // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2014. № 1. С. 134-150.
- [37]. Glendinning S., Lamont-Black J., Jones C. J. F. P. Treatment of sewage sludge using electrokinetic geosynthetics. Journal of Hazardous Materials. 2007. Т. 139. № 3. pp. 491-499.
- [38]. Hwu B. Design, evaluation and behavior of geosynthetic drainage systems. Drexel University. 1991. pp 23-27
- [39]. Jeon H. Y., Kim S. H., Chung Y. I., Yoo H. K., Mlynarek J. Assessments of long-term filtration performance of degradable prefabricated geotextile drains. Polymer Testing. 2003. Т. 22. № 7. pp. 779-784.
- [40]. Sangiorgi D. The application of geosynthetics in residential foundation drainage systems. Ecole de Technologie Supérieure (Canada). 2001. pp 22-28.
- [41]. Daniel E. C. H. The effect of compressive creep on the structural integrity and drainage capacity of landfill lining systems Florida Atlantic University. 1996. pp. 7-16
- [42]. Герасимов В. М., Нижегородцев Е. И. Исследование фильтрационных свойств волокнистых полимерных материалов при изменении давления // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 4 (20). С. 153-156.

- [43]. Kim W. Behavior of geosynthetic-reinforced aggregate platforms over soft subgrades. The University of Wisconsin – Madison. 2003.
- [44]. Vaitkus A. Geotextile selection methods for the lithuanian road and street structures The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 2010. Т. 5. № 4. pp. 246-253.
- [45]. Новик А. Н., Шибко А. А., Трепалин В. А., и др. Строительные материалы для транспортного строительства. СПб.: Изд-во ВА МТО, 2014. 347 с
- [46]. Balzannikov M. I., Mikhasek A. A. The use of modified composite materials in building hydraulic engineering structures. Procedia Engineering. 2014. Т. 91. pp. 183-187
- [47]. Лупачев О. Ю., Телешев В. И. Противофильтрационные элементы из геомембран. Опыт применения в гидротехническом строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2009. №6. С 35-43.
- [48]. Устьян Н. А. Геоконтейнеры в дорожном и гидротехническом строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2011. №4(22). С. 22-25
- [49]. Chen J. W., Chang M. H., Chen C. C., Lee W. F. Seismic performance modeling of geosynthetic reinforced earth structures // Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference 20th International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE-2010. Applied International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE), China National Offshore Oil Corporation (CNOOC), SK Energy. Beijing. 2010. pp. 726-730.
- [50]. Mekkawy M. M., White D. J., Suleiman M. T., Jahren C. T. Mechanically reinforced granular shoulders on soft subgrade: laboratory and full scale studies. // Elsevier Science Publishing Company, Inc. Geotextiles and Geomembranes. 2010. Т. 29. №2. pp. 149–160
- [51]. Нестеров А. С. Стабилизация неустойчивых откосов вдавливанием геосинтетических материалов // В сборнике: Архитектура, строительство, транспорт материалы Международной научно-практической конференции (к 85-летию ФГБОУ ВПО СибАДИ). 2015. С. 194-198.
- [52]. Мошенжал А. Применение геосинтетических материалов при сооружении автомобильных дорог в районах распространения песков // Инженерная защита. 2014. № 2 (2). С. 46-50
- [53]. Неценко А. П. Пути улучшения качества дорог за счет применения геосинтетических материалов // В сборнике: Пути улучшения качества автомобильных дорог Сборник статей. Под редакцией М. И. Бальзанникова, К. С. Галицкова, Т. В. Дормидонтовой; Самара: Изд-во Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2015. С. 156-158.
- [54]. Столяров О. Н., Горшков А. С. Применение высокопрочных текстильных материалов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2009. №4. С. 21–25.
- [55]. Ярмолинский А. И., Ярмолинская Н. И., Украинский И. С. Результаты экспериментальных исследований асфальтобетона, армированного геосинтетическими материалами // В сборнике: Дальний восток. автомобильные дороги и безопасность движения Международный сборник научных трудов. под редакцией А. И. Ярмолинского. Хабаровск, 2013. С. 193-198.
- [56]. De A. Study of interfacial friction of landfill geosynthetics: static and dynamic. Rensselaer Polytechnic Institute. 1998. pp. 13-15
- [57]. Wang X., Lu J., Wang Z. Application of frp screw anchor and geosynthetics in repairing of canal slope of expansive soils // В сборнике: 2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, MACE2010 sponsors: IEEE Beijing Section CSS Chapter, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan University of Science and Technology. Wuhan, 2010. pp. 1430-1432.
- [58]. Пережогин Ю. Д., Ратнер А. Г., Спектор Ю. М. Результаты исследований свойств геосинтетических материалов, применяемых для защиты от размыва подводных газонефтепроводов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 1997. № 4. С. 56-58.
- [59]. Alungbe G. D. Geotextiles in flexible pavement construction. Tech Directions. 2004. Т. 64. № 2. pp 22-23.
- [60]. Tritico P. A. Improvements needed in geosynthetics design and construction American Society of Civil Engineers. 1994. Т. 64. № 6. pp. 6.
- [61]. Мороз М. Н., Калашников В. И., Суздальцев О. В. Геосинтетические строительные материалы // Современные научные исследования и инновации. 2014. № 8-1 (40). С. 129-133.
- [62]. Применение геосинтетических материалов в дорожном строительстве [Электронный ресурс]. Систем. требования: Internet Explorer URL: <http://www.azproektstroy.ru/geosintetika.shtml> (дата обращения 27.09.16)
- [63]. Корольков Р. А. Обоснование количества геосинтетических прослоек для армирования откосов насыпей автомобильных дорог // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. 2013. № 3. С. 96-100.
- [64]. Павлова Л. В. Совершенствование качества автомобильных дорог с применением геосинтетических материалов // В сборнике: Пути улучшения качества автомобильных дорог Сборник статей. Под редакцией М. И. Бальзанникова, К. С. Галицкова, Т. В. Дормидонтовой; Самара: Изд-во Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2015. С. 168-176.
- [65]. Liu Z., Yang G. Study on durability damage rules and aging prediction method of geosynthetics. Advanced Materials Research. 2011. Т. 163-167. pp. 3242-3248.

- [66]. Дробышинец С. Я. Геотекстиль в дорожном строительстве, пути использования // Наукові нотатки. 2014. № 46. С. 154-160.
- [67]. Игошева Л. А. Геосинтетические материалы в конструкциях дорожных одежд автомобильных стоянок в сложных инженерно- геологических условиях // В сборнике: Геология в развивающемся мире Материалы VIII научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Пермский государственный национальный исследовательский университет ; отв. ред. П. А. Белкин. 2015. С. 33-37.
- [68]. Карпушкин П. И., Менжаев Е. М. Применение геосинтетических материалов в условиях крайнего севера // В сборнике: Пути улучшения качества автомобильных дорог. Под редакцией М. И. Бальзанникова, К. С. Галицкова, Т. В. Дормидонтовой; Самара: Изд-во Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2015. С. 117-127.
- [69]. Машенко А. В., Пономарев А. Б. Анализ изменения прочностных и деформационных свойств грунта, армированного геосинтетическими материалами при разной степени водонасыщения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2014. № 4. С. 264-273.
- [70]. Чернышева И. А., Машенко А. В. К вопросу использования различных методов защиты от морозного пучения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2016. Т. 7. № 1. С. 39-46.
- [71]. Кудрявцев С. А., Кажарский А. В. Численное моделирование процесса миграции влаги в зависимости от скорости промерзания грунтов // Инженерно-строительный журнал. 2012. №4(30). С. 33-38
- [72]. Петраков Г. П., Ватин Н. И., Курганов Ю. А., Старков В. Н. О разработке РМД 40-20-2013 Санкт-Петербург. Устройство сетей водоснабжения и водоотведения в Санкт-Петербурге // Строительство уникальных зданий и сооружений. № 1 (16). 2014. с 48-60
- [73]. Ellis E. A., Zhuang Y., Yu H. S., Aslam R. Discussion of a simplified method for analysis of a piled embankment reinforced with geosynthetics, by Abusharar, Zheng, Chen and Yin. Elsevier Science Publishing Company, Inc.. Geotextiles and geomembranes №27 (2009) 39-52. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2010. Vol. 28. № 1. pp. 133-134.
- [74]. Koklanaris M. Geosynthetic reinforced soil structures can carry the load // Public Roads. 2000. Vol. 64. № 1. pp. 30-33.
- [75]. Давыдов Н. В., Райшев Д. В. Использование геосинтетических армирующих материалов в транспортном строительстве // В сборнике: Проблемы эксплуатации систем транспорта. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Тюменский государственный нефтегазовый университет, Институт транспорта. 2009. С. 82-84
- [76]. Костоусов А. Н. Взаимодействие геосинтетиков с грунтом армогрунтовых стен // Мир транспорта. 2013. Т. 11. № 2 (46). С. 174-179.
- [77]. Петряев А. В. Усиление земляного полотна геосинтетическими материалами // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2010. № 1 (37). С. 109-113.
- [78]. Moss A. L. Interfacial shear strength of geosynthetics using the cylinder direct shear test. Utah State University. 2000. pp 7-13.
- [79]. S. Balakrishnan , B.V.S. Viswanadham Evaluation of tensile load-strain characteristics of geogrids through in-soil tensile tests // Elsevier Science Publishing Company, Inc. Vol. 45, Issue 1, February 2017, pp. 35-44
- [80]. Пономарев А. Б., Татьянников Д. А., Клевеко В. И. Определение линейной жесткости геосинтетических материалов // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. 2013. № 2 (27). С. 19.
- [81]. Feng S. -J., Lu S. -F. Deformation analysis of a geosynthetic material subjected to two adjacent voids Geotextiles and Geomembranes. Elsevier Science Publishing Company, Inc. Geotextiles and geomembranes. 2015. Vol. 43. № 4. pp. 317-331.
- [82]. Jones A., Sperling T. Canada's hartland landfill: geosynthetics pass the test waste age. Primedia Business Magazines & Media. 1995. Т. 26. № 8. pp. 71.
- [83]. Suvorova Yu. V., Alexeeva S. I., Mosin A. V. Estimation of durability for geosynthetic materials М.: Национальный институт авиационных технологий. 2008. № S1. pp. 79-83.
- [84]. Бондарь И. С. Сдвиговые испытания связных грунтов при различных траекториях нагружения // Инженерно-строительный журнал. 2012. №7(33). С. 50-57.
- [85]. Логинова И. И., Артамонова Д. А., Столяров О. Н., Мельников Б. Е. Влияние структуры на вязкоупругие свойства геосинтетических материалов // Инженерно-строительный журнал. 2015. №4 (56). С. 11-69
- [86]. Баданин А.Н., Колосов Е.С. Определение несущей способности армированного георешеткой грунтового основания // Инженерно-строительный журнал. 2012. №4(30). С. 25-32.

- [87]. Кудрявцев С. А, Берестяный Ю. Б, Вальцева Т. Ю., Михайлин Р. Г. Современные геотехнические решения для транспортных сооружений в сложных инженерных и городских условиях // Изд-во: Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС) 6 с.
- [88]. Корольков Р. А. Обеспечение эксплуатационной надежности насыпей автомобильных дорог, армированных геосинтетическими материалами // Наукові нотатки. 2014. № 45. С. 295-300.
- [89]. Татьянников Д. А., Пономарев А. Б., Клевко В. И., Schlömp S. H., Schwerdt S. Определение характеристик трения для двух типов геосинтетических материалов путем проведения испытаний на сдвиг // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2014. № 1. С. 174-186.
- [90]. Бурмистрова О. Н., Воронина М. А. Обоснование расчетных схем нежестких дорожных одежд, армированных геосинтетическими материалами // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 1. С. 93-97.
- [91]. Москалев О. Ю. Существующие методы оценки срока службы дорожных одежд с геосинтетическими материалами // Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 3 (16). С. 81.
- [92]. Скутин А. И., Скутин Д. А., Табынщиков А. И. Моделирование земляного полотна, армированного геосинтетическими материалами // Проектирование развития региональной сети железных дорог. 2014. № 2. С. 143-149
- [93]. Скутин А. И., Смердов М. Н., Смердов Д. Н. Исследование напряженно-деформированного состояния земляного полотна, усиленного геосинтетическими материалами // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. Сборник научных трудов ОАО ГИПРОДОРНИИ. 2012. № 3. С. 13-18.
- [94]. Геосинтетические материалы - инновационное решение проблемы колеиности автодорог [Электронный ресурс]. Систем. требования: Internet Explorer URL: <http://www.geo-allianz.ru/documentation/> (дата обращения 28.09.16)
- [95]. Сулова Л. И. Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог в сложных природно-климатических условиях // Транспортная стратегия - XXI век. 2015. № 30. С. 54-55.
- [96]. Татьянников Д. А., Пономарев А. Б., Клевко В. И. Исследования механических характеристик геосинтетических материалов для разработки методики расчета несущей способности армированных фундаментных подушек // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2015. № 1. С. 84-89.
- [97]. Геосинтетики в дорожном строительстве [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.geosyntheticssociety.org/Resources/Documents/Geosynthetics%20in%20Road%20Engineering%20Rus.pdf> (дата обращения: 27.09.2016).
- [98]. Кирсанов А. А. Лабораторные испытания геосинтетических материалов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 91. С. 939-949.
- [99]. Hu Y., Zhang G., Zhang J. -M., Lee C. F. Centrifuge modeling of geotextile-reinforced cohesive slopes geotextiles and geomembranes. Elsevier Science Publishing Company, Inc. Geotextiles and geomembranes. 2010. Т. 28. № 1. pp. 12-22
- [100]. Мельникова Е. П., Нужненко Ю. В., Скрыпник Т. В. Повышение устойчивости грунтовых сооружений путем армирования геосинтетическими материалами // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике. 2016. № 1. С. 29-34.
- [101]. Дыба П. В., Дыба В. П., Бартоломей Л. А. Оценка и экспериментальная проверка несущей способности укрепленных геотекстилем откосов // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. 2013. № 2 (27). С. 4.
- [102]. Дыба П. В., Скибин Г. М., Дыба В. П. Простейшие верхние оценки несущей способности укрепленных геотекстилем откосов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 29 (48). С. 54-60.

Geosynthetic materials for road construction

I.I. Dmitriev ¹

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

overview article

doi:

Article history

Received 04.10.2016

Keywords

road construction;
highway engineering;
geosynthetic materials;
geosynthetics;
geotextiles;
geogrids;
polymeric materials;

ABSTRACT

Most design firms try to develop technologies to improve quality and durability of the roads. So, in new age, there are some material, called geosynthetics, which can reduce building and rebuilding cost, but leaving at the same level of eco and mechanic characteristics, or do them better. This article discusses the broad classification of geosynthetic materials on various characteristics. There are the basic use technologies and individual properties of each type of geosynthetics. It includes a brief historical reference and examples of use of geosynthetic materials on important transport facilities in Russia.

Corresponding author:

1. +7(911)7587771, dmitriev.ivashka@ya.ru (Ivan Igorevich Dmitriev, Student)

References

- [1]. Geosinteticheskiye materialy [Geosynthetics] [Elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Internet Explorer URL: http://www.areangeo.ru/m/20/geosinteticheskie_materialy.html (data obrashcheniya 26.09.16)
- [2]. Geosinteticheskiye materialy v stroitelstve [Geosynthetics in building] [Elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: AdobeAcrobatReader.URL: http://www.trans-mix.ru/info/info_geosintetika.php (data obrashcheniya: 27.09.2016).
- [3]. Lvovich Yu. M. Geosinteticheskiye i geoplastikovyye materialy v dorozhnom stroitelstve. [Geosynthetic and geoplastic materials in road construction] // Obzornaya informatsiya. № 7. M. 2002. S. 4-5.
- [4]. Vendilo A. G., Kvasyuk A. V., Bessarabov A. M., Kovaleva N. Ye., Gafitulin M. Yu., Stoyanov O. V., Zaikov G. Ye. Sistemnyy analiz innovatsionnogo razvitiya khimicheskikh predpriyatiy, vypuskayushchikh geosinteticheskiye materialy [System analysis of innovative development of chemical enterprises, producing geosynthetics] // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. T. 17. № 8. S. 366-371.
- [5]. Vendilo A. G., Mukhamedzhanov G. K., Kovaleva N. Ye., Bessarabov A. M., Stepanova T. I., Solovyeva O. S., Kvasyuk A. V., Gafitulin M. Yu., Stoyanov O. V., Zaikov G. Ye. Regionalnyy analiz promyshlennosti geosinteticheskikh materialov [Regional industry analysis of geosynthetic materials] // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2013. T. 16. № 18. S. 304-308.
- [6]. Mezhdunarodnyye novosti stroitelstva [International news Construction] // Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2011. № 2 (145). S. 52-53.
- [7]. Fedosov S. V., Pospelov P. I., Goys T. O., Gruzintseva N. A., Matrokhin A. Yu, Gusev B. N. Problemy otsenki kachestva i standartizatsii geosinteticheskikh materialov v dorozhnom stroitelstve [Quality assurance and standardization issues geosynthetics in road construction] // Academia. Arkhitektura i stroitelstvo. 2016. № 1. S. 101-106.
- [8]. Geosintetika v dorozhnom stroitelstve. Realii i perspektivy [Geosynthetics in road construction. Realities and Perspectives] [Elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Internet Explorer URL: <http://rusdorstroy.ru/articles/geosintetika-v-dorozhnom-stroitelstve-realii-i-perspektivy/> (data obrashcheniya 27.09.16)
- [9]. Stanislav Donin Chto tormozit razvitiye rynka dorozhnoy geosintetiki [What hinders the development of the road geosynthetics market] // Vserossiyskiy otraslevoy internet-zhurnal Stroitelstvo.ru [Elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Internet Explorer URL: <http://rcmm.ru/stroitelnye-materialy/22462-chto-tormozit-razvitiye-rynka-dorozhnoy-geosintetiki.html> (data obrashcheniya 6.11.16)
- [10]. Fourie A. B., Jones C. J. F. P. Improved estimates of power consumption during dewatering of mine tailings using electrokinetic geosynthetics (ekgs). Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2010. T. 28. № 2. pp. 181-190.
- [11]. Jones C. J. F. P., Lamont-Black J., Glendinning S. Electrokinetic geosynthetics in hydraulic applications Elsevier Science Publishing Company, Inc. Geotextiles and Geomembranes. Vol. 29, Issue 4, August 2011, pp. 381-390
- [12]. Gayev D. A., Gavrish V. V. Sovremennyye geosinteticheskiye materialy i oblasti ikh primeneniya v stroitelstve [Modern geosynthetic materials and their applications in construction] // V sbornike: Budushcheye nauki - 2013 materialy Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii. Otvetstvennyy redaktor: Gorokhov A.A.. 2013. S. 131-139.
- [13]. Gruzintseva N. A., Gusev B. N. Razrabotka metodiki otsenki kachestva geosinteticheskikh materialov [Development methodology for assessing the quality of geosynthetics] // V sbornike: Sovremennyye instrumentalnyye sistemy, informatsionnyye tekhnologii i innovatsii Sbornik nauchnykh trudov XII-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Otvetstvennyy redaktor: Gorokhov A.A.. 2015. S. 368-370.
- [14]. Fanin Ye. Yu. Dopuski i oshibki primeneniya geosinteticheskikh materialov v dorozhnom stroitelstve [Tolerances and error applications of geosynthetics in road construction] // V sbornike: Puti uluchsheniya kachestva avtomobilnykh dorog Sbornik statey. Pod redaktsiyey M. I. Balzannikova, K. S. Galitskova, T. V. Dormidontovoy; Samara: Izd-vo Samarskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. 2015. S. 196-199.
- [15]. Ponomarev A. B., Kleveko V. I., Tatyannikov D. A. Analiz izmeneniya prochnostnykh kharakteristik geosinteticheskikh materialov v protsesse ekspluatatsii [Analysis of changes in the strength characteristics of geosynthetics in operation] // Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. 2014. № 3 (35). S. 11-16.
- [16]. Dormidontova T. V., Gareyeva L. Kh., Khlamova S. V. Funktsionalnyye osobennosti geosinteticheskikh materialov v sloyakh dorozhnoy odezhdyy [Features of geosynthetic materials in the pavement layers] // V sbornike: Puti uluchsheniya kachestva avtomobilnykh dorog Sbornik statey. Pod redaktsiyey M. I. Balzannikova, K. S. Galitskova, T. V. Dormidontovoy. Samara: Izd-vo Samarskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. 2015. S. 63-67.
- [17]. Innovatsionnyye geosinteticheskiye materialy [Innovative geosynthetics] [Elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Internet Explorer URL: <http://www.geonovation.ru/> (data obrashcheniya 27.09.16)

- [18]. Kislyakov K. A., Kislyakov M. A., Simakov N. K. Klassifikatsiya geosinteticheskikh materialov i oblasti ikh primeneniya v dorozhnom stroitelstve [Classification of geosynthetics and their applications in road construction] // V sbornike: Vystavka innovatsiy - 2016 sbornik materialov XXI Respublikanskoj vystavki-sessii studencheskikh innovatsionnykh projektov. Ser. Vesenniyaya sessiya Otvetstvennyy za vypusk: Tyurin A.P.. 2016. S. 53-62.
- [19]. Tatyannikov D. A. Izucheniye mekhanicheskikh kharakteristik geosinteticheskikh materialov dlya opredeleniya realnoy nesushchey sposobnosti armirovannykh fundamentnykh podushek [Study of mechanical properties of geosynthetic materials for the determination of the actual bearing capacity of the reinforced foundation pads] // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2015. № 6 (53). S. 121-127.
- [20]. Botsman A. S. Primeneniye tkanykh geosinteticheskikh materialov v Rossii [The use of woven geosynthetic materials in Russia] // V sbornike: Puti uluchsheniya kachestva avtomobilnykh dorog. Pod redaktsiyey M. I. Balzannikova, K. S. Galitskova, T. V. Dormidontovoy. Samara: Izd-vo Samarskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. 2015. S. 19-22.
- [21]. Chizhikov I. A., Slepnev P. A. Primeneniye geosinteticheskikh materialov (geotkaney) dlya obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti stroitelstva neftegazopromyslovykh dorog [Application of geosynthetics (geotextile) to ensure environmental safety of oil and gas field construction of roads] // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya, № 1, S 158-163 (2012)
- [22]. Raju M. Monotonic and cyclic pullout resistance of geosynthetics. The University of British Columbia (Canada). 1996. pp 15-17.
- [23]. Rawal A., Shah T.H., Anand S.C. 4 - Geotextiles in civil engineering // Elsevier Science Publishing Company, Inc Handbook of Technical Textiles (Second Edition), 2016, pp. 111-133.
- [24]. Dormidontova T. V., Vasilyev V. O. Puti povysheniya kachestva avtomobilnykh dorog za schet vnedreniya tekhnologii ukladki geosinteticheskikh materialov v dorozhnyye odezhdyy [Ways to improve the quality of roads through the introduction of technology laying of geosynthetics in pavements] // V sbornike: Puti uluchsheniya kachestva avtomobilnykh dorog. Pod redaktsiyey M. I. Balzannikova, K. S. Galitskova, T. V. Dormidontovoy. Samara: Izd-vo Samarskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. 2015. S. 54-58.
- [25]. Dyakov I. M., Mravets D. A. K voprosu primeneniya geosinteticheskikh materialov dlya povysheniya nadezhnosti raboty podpornykh sten v usloviyakh Kryma [For the application of geosynthetics to improve the reliability of the retaining wall under the conditions of the Crimea] // Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost. 2012. № 42. S. 52-57.
- [26]. Rubtsova M. V., Kleveko V. I. Primeneniye geosinteticheskogo materiala dlya obespecheniya ustoychivosti avtodorozhnoy nasypi na slabom osnovanii i sokrashcheniye srokov stroitelstva [Application of geosynthetic materials to ensure the sustainability of road embankment on the basis of weak and reducing construction time] // Ekologiya i nauchno-tekhnicheskij progress. Urbanistika. 2015. T. 1. S. 489-497.
- [27]. Pokharel S. K., Han J., Parsons R. L., Leshchinsky D., Halahmi I. Investigation of factors influencing behavior of single geocell-reinforced bases under static loading. Elsevier Science Publishing Company, Inc. Geotextiles and Geomembranes. 2010. T. 28. № 6. pp. 570-578.
- [28]. Kajornsakbampen A. Influence of critical failure surfaces on geosynthetic-reinforced soil slopes and structures. Lamar University – Beaumont. 1997. pp 5-10
- [29]. Benson C. H., Scalia J., Kucukkirca I. E. Properties of geosynthetics exhumed from a final cover at a solid waste landfill. Elsevier Science Publishing Company, Inc. Geotextiles and geomembranes. 2010. T. 28. № 6. pp. 536-546.
- [30]. Khachan M. M., Bhatia S. K., Bader R. A., Cetin D., Ramarao B. V. Cationic starch flocculants as an alternative to synthetic polymers in geotextile tube dewatering. Geosynthetics International. 2014. T. 21. № 2. pp. 119-136
- [31]. Ishchenko A. V., Bayev O. A. Kombinirovannyye protivofiltratsionnyye pokrytiya iz geosinteticheskikh materialov [Combined impervious coating of geosynthetic materials] // Stroitelstvo - 2015: sovremennyye problemy stroitelstva // materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. FGBOU VPO Rostovskiy gosudarstvennyy stroitelnyy universitet, Soyuz stroiteley yuzhnogo federalnogo okruga, Assotsiatsiya stroiteley Dona. 2015. S. 272-274.
- [32]. Ryzhakova M. G., Maslikov V. I. Geoekologicheskiye aspekty obrashcheniya s TBO, sodержashchimi opasnyye komponenty [Geoenvironmental aspects of the treatment of solid waste containing hazardous components] // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. № 8 (23). 2014. 48-66
- [33]. Shamsiyeva G. Sh., Nayman S. M. Analiz vozmozhnostey primeneniya geosinteticheskikh materialov na poligonakh TBO [Analysis of possible applications of geosynthetic materials in landfills] // V sbornike: Rossiya molodaya Sbornik materialov VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiyem. 2015. S. 263.
- [34]. Shamsiyeva G. Sh., Nayman S. M. Primeneniye geosinteticheskikh materialov na poligonakh tverdykh bytovykh otkhodov [The use of geosynthetics in landfills of municipal solid waste] // V sbornike: XV Vserossiyskaya

- konferentsiya Khimiya i inzhenernaya ekologiya s mezhdunarodnym uchastiyem Sbornik dokladov. 2015. S. 28-31
- [35]. Peter G. Nicholson Geosynthetics for Filtration Drainage, and Seepage Control // Elsevier Science Publishing Company Inc. Soil Improvement and Ground Modification Methods 2015, pp. 189–207
- [36]. Okuntsev A. S., Ofrikhter V. G. Ispolzovaniye geosinteticheskikh materialov v kachestve drenaznykh i filtratsionnykh sistem [Use of geosynthetics as drainage and filtration systems] // Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. 2014. № 1. S. 134-150.
- [37]. Glendinning S., Lamont-Black J., Jones C. J. F. P. Treatment of sewage sludge using electrokinetic geosynthetics. Journal of Hazardous Materials. 2007. T. 139. № 3. pp. 491-499.
- [38]. Hwu B. Design, evaluation and behavior of geosynthetic drainage systems. Drexel University. 1991. pp 23-27
- [39]. Jeon H. Y., Kim S. H., Chung Y. I., Yoo H. K., Mlynarek J. Assessments of long-term filtration performance of degradable prefabricated geotextile drains. Polymer Testing. 2003. T. 22. № 7. pp. 779-784.
- [40]. Sangiorgi D. The application of geosynthetics in residential foundation drainage systems. Ecole de Technologie Superieure (Canada). 2001. pp 22-28.
- [41]. Daniel E. C. H. The effect of compressive creep on the structural integrity and drainage capacity of landfill lining systems Florida Atlantic University. 1996. pp. 7-16
- [42]. Gerasimov V. M., Nizhegorodtsev Ye. I. Issledovaniye filtratsionnykh svoystv voloknistykh polimernykh materialov pri izmenenii davleniya [Research filtration properties of fibrous polymeric material when the pressure] // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2013. № 4 (20). S. 153-156.
- [43]. Kim W. Behavior of geosynthetic-reinforced aggregate platforms over soft subgrades. The University of Wisconsin – Madison. 2003.
- [44]. Vaitkus A. Geotextile selection methods for the lithuanian road and street structures The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. 2010. T. 5. № 4. pp. 246-253.
- [45]. Novik A. N., Shibko A. A., Trepalin V. A., i dr. Stroitelnyye materialy dlya transportnogo stroitelstva. [Building materials for road construction] SPb.: Izd-vo VA MTO, 2014. 347 s
- [46]. Balzannikov M. I., Mikhasek A. A. The use of modified composite materials in building hydraulic engineering structures. Procedia Engineering. 2014. T. 91. pp. 183-187
- [47]. Lupachev O. Yu., Teleshev V. I. Protivofiltratsionnyye elementy iz geomembran. Opyt primeneniya v gidrotekhnicheskome stroitelstve [Impervious elements of geomembranes. Experience of application in hydraulic engineering] // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2009. №6. S 35-43.
- [48]. Ustyan N. A. Geokonteynery v dorozhnom i gidrotekhnicheskome stroitelstve [Geobags in road and hydraulic engineering] // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2011. №4(22). S. 22-25
- [49]. Chen J. W., Chang M. H., Chen C. C., Lee W. F. Seismic performance modeling of geosynthetic reinforced earth structures // Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference 20th International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE-2010. Applied International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE), China National Offshore Oil Corporation (CNOOC), SK Energy. Beijing. 2010. pp. 726-730.
- [50]. Mekki M. M., White D. J., Suleiman M. T., Jahan C. T. Mechanically reinforced granular shoulders on soft subgrade: laboratory and full scale studies. // Elsevier Science Publishing Company, Inc. Geotextiles and Geomembranes. 2010. T. 29. №2. pp. 149–160
- [51]. Nesterov A. S. Stabilizatsiya neustoychivykh otkosov vdavlivaniyem geosinteticheskikh materialov [Stabilization of unstable slopes indentation geosynthetics] // V sbornike: Arkhitektura, stroitelstvo, transport materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (k 85-letiyu FGBOU VPO SibADI). 2015. S. 194-198.
- [52]. Moshenzhal A. Primeneniye geosinteticheskikh materialov pri sooruzhenii avtomobilnykh dorog v rayonakh rasprostraneniya peskov [Application of geosynthetic materials in the construction of roads in areas of sand spread] // Inzhenernaya zashchita. 2014. № 2 (2). S. 46-50
- [53]. Netsenko A. P. Puti uluchsheniya kachestva dorog za schet primeneniya geosinteticheskikh materialov [Ways of improving the quality of roads due to the use of geosynthetics] // V sbornike: Puti uluchsheniya kachestva avtomobilnykh dorog Sbornik statey. Pod redaktsiyey M. I. Balzannikova, K. S. Galitskova, T. V. Dormidontovoy; Samara: Izd-vo Samarskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. 2015. S. 156-158.
- [54]. Stolyarov O. N., Gorshkov A. S. Primeneniye vysokoprochnykh tekstilnykh materialov v stroitelstve [The use of high-strength textile materials in construction] // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2009. №4. S. 21–25.
- [55]. Yarmolinskiy A. I., Yarmolinskaya N. I., Ukrainskiy I. S. Rezultaty eksperimentalnykh issledovaniy asfaltobetona, armirovannogo geosinteticheskimi materialami [The results of experimental studies of asphalt concrete reinforced

- with geosynthetics] // V sbornike: Dalniy vostok. avtomobilnyye dorogi i bezopasnost dvizheniya Mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh trudov. pod redaktsiyey A. I. Yarmolinskogo. Khabarovsk, 2013. S. 193-198.
- [56]. De A. Study of interfacial friction of landfill geosynthetics: static and dynamic. Rensselaer Polytechnic Institute. 1998. pp. 13-15
- [57]. Wang X., Lu J., Wang Z. Application of frp screw anchor and geosynthetics in repairing of canal slope of expansive soils // V sbornike: 2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, MACE2010 sponsors: IEEE Beijing Section CSS Chapter, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan University of Science and Technology. Wuhan, 2010. pp. 1430-1432.
- [58]. Perezhogin Yu. D., Ratner A. G., Spektor Yu. M. Rezultaty issledovaniy svoystv geosinteticheskikh materialov, primenyayemykh dlya zashchity ot razmyva podvodnykh gazonefteprovodov [Results of studies of the properties of geosynthetic materials used for protection against the erosion of undersea oil and gas pipelines] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft i gaz. 1997. № 4. S. 56-58.
- [59]. Alungbe G. D. Geotextiles in flexible pavement construction. Tech Directions. 2004. T. 64. № 2. pp 22-23.
- [60]. Tritico P. A. Improvements needed in geosynthetics design and construction American Society of Civil Engineers. 1994. T. 64. № 6. pp. 6.
- [61]. Moroz M. N., Kalashnikov V. I., Suzdaltsev O. V. Geosinteticheskiye stroitelnyye materialy [Modern scientific research and innovation.] // Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii. 2014. № 8-1 (40). S. 129-133.
- [62]. Primeneniye geosinteticheskikh materialov v dorozhnom stroitelstve [The use of geosynthetics in road construction] [Elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Internet Explorer URL: <http://www.azproektstroy.ru/geosintetika.shtml> (data obrashcheniya 27.09.16)
- [63]. Korolkov R. A. Obosnovaniye kolichestva geosinteticheskikh prosloyek dlya armirovaniya otkosov nasypey avtomobilnykh dorog [Rationale number of layers of geosynthetic reinforcement of slopes of embankments of highways] // Vestnik Donetskoy akademii avtomobilnogo transporta. 2013. № 3. S. 96-100.
- [64]. Pavlova L. V. Sovershenstvovaniye kachestva avtomobilnykh dorog s primeneniym geosinteticheskikh materialov [Improving the quality of roads using geosynthetics] // V sbornike: Puti uluchsheniya kachestva avtomobilnykh dorog Sbornik statey. Pod redaktsiyey M. I. Balzannikova, K. S. Galitskova, T. V. Dormidontovoy; Samara: Izd-vo Samarskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. 2015. S. 168-176.
- [65]. Liu Z., Yang G. Study on durability damage rules and aging prediction method of geosynthetics. Advanced Materials Research. 2011. T. 163-167. pp. 3242-3248.
- [66]. Drobysheva S. Ya. Geotekstil v dorozhnom stroitelstve, puti ispolzovaniya [Ways to use geotextiles in road construction] // Naukovi notatki. 2014. № 46. S. 154-160.
- [67]. Igosheva L. A. Geosinteticheskiye materialy v konstruktsiyakh dorozhnykh odezhd avtomobilnykh stoyanok v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh [Geosynthetic materials in the construction of pavements car parks in difficult engineering-geological conditions] // V sbornike: Geologiya v razvivayushchemsya mire Materialy VIII nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiyem. Federalnoye gosudarstvennoye byudzhetnoye obrazovatelnoye uchrezhdeniye vysshego professionalnogo obrazovaniya Permskiy gosudarstvennyy natsionalnyy issledovatel'skiy universitet ; otv. red. P. A. Belkin. 2015. S. 33-37.
- [68]. Karpushkin P. I., Menzhayev Ye. M. Primeneniye geosinteticheskikh materialov v usloviyakh kraynego severa [Application of geosynthetics in the Far North] // V sbornike: Puti uluchsheniya kachestva avtomobilnykh dorog. Pod redaktsiyey M. I. Balzannikova, K. S. Galitskova, T. V. Dormidontovoy; Samara: Izd-vo Samarskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelnyy universitet. 2015. S. 117-127.
- [69]. Mashchenko A. V., Ponomarev A. B. Analiz izmeneniya prochnostnykh i deformatsionnykh svoystv grunta, armirovannogo geosinteticheskimi materialami pri raznoy stepeni vodonasyscheniya [Analysis of changes in the strength and deformation properties of soil reinforced with geosynthetic materials with varying degrees of saturation] // Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. 2014. № 4. S. 264-273.
- [70]. Chernysheva I. A., Mashchenko A. V. K voprosu ispolzovaniya razlichnykh metodov zashchity ot moroznogo pucheniya [On the problem of using different methods of protection against frost heave] // Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. 2016. T. 7. № 1. S. 39-46.
- [71]. Kudryavtsev S. A., Kazharskiy A. V. Chislennoye modelirovaniye protsessa migratsii vlagi v zavisimosti ot skorosti promerzaniya gruntov [Numerical simulation of moisture migration, depending on the speed of freezing soils] // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2012. №4(30). S. 33-38
- [72]. Petrakov G. P., Vatin N. I., Kurganov Yu. A., Starkov V. N. O razrabotke RMD 40-20-2013 Sankt-Peterburg. Ustroystvo setey vodosnabzheniya i vodootvedeniya v Sankt-Peterburge [On the development of RMD 40-20-

- 2013 St. Petersburg. The unit water supply and sanitation networks in St. Petersburg] // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. № 1 (16). 2014. s 48-60
- [73]. Ellis E. A., Zhuang Y., Yu H. S., Aslam R. Discussion of a simplified method for analysis of a piled embankment reinforced with geosynthetics, by Abusharar, Zheng, Chen and Yin. Elsevier Science Publishing Company, Inc.. Geotextiles and geomembranes №27 (2009) 39-52. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2010. Vol. 28. № 1. pp. 133-134.
- [74]. Koklanaris M. Geosynthetic reinforced soil structures can carry the load // Public Roads. 2000. Vol. 64. № 1. pp. 30-33.
- [75]. Davydov N. V., Rayshev D. V. Ispolzovaniye geosinteticheskikh armiruyushchikh materialov v transportnom stroitelstve [Use of geosynthetic reinforcement materials in the construction of transport] // V sbornike: Problemy ekspluatatsii sistem transporta. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tyumenskiy gosudarstvennyy neftegazovyy universitet, Institut transporta. 2009. S. 82-84
- [76]. Kostousov A. N. Vzaimodeystviye geosintetikov s gruntom armogruntovykh sten [Interaction geosynthetics ground armogruntovykh walls] // Mir transporta. 2013. T. 11. № 2 (46). S. 174-179.
- [77]. Petryayev A. V. Usileniye zemlyanogo polotna geosinteticheskimi materialami [Strengthening the subgrade geosynthetic materials] // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2010. № 1 (37). S. 109-113.
- [78]. Moss A. L. Interfacial shear strength of geosynthetics using the cylinder direct shear test. Utah State University. 2000. pp 7-13.
- [79]. S. Balakrishnan , B.V.S. Viswanadham Evaluation of tensile load-strain characteristics of geogrids through in-soil tensile tests // Elsevier Science Publishing Company, Inc. Vol. 45, Issue 1, February 2017, pp. 35–44
- [80]. Ponomarev A. B., Tatyannikov D. A., Kleveko V. I. Opredeleniye lineynoy zhestkosti geosinteticheskikh materialov [Determination of linear stiffness geosynthetics] // Internet-Vestnik VolgGASU. 2013. № 2 (27). S. 19.
- [81]. Feng S. -J., Lu S. -F. Deformation analysis of a geosynthetic material subjected to two adjacent voids Geotextiles and Geomembranes. Elsevier Science Publishing Company, Inc. Geotextiles and geomembranes. 2015. Vol. 43. № 4. pp. 317-331.
- [82]. Jones A., Sperling T. Canada's hartland landfill: geosynthetics pass the test waste age. Primedia Business Magazines & Media. 1995. T. 26. № 8. pp. 71.
- [83]. Suvorova Yu. V., Alexeeva S. I., Mosin A. V. Estimation of durability for geosynthetic materials M.: Natsionalnyy institut aviatsionnykh tekhnologiy. 2008. № S1. pp. 79-83.
- [84]. Bondar I. S. Sdvigovyye ispytaniya svyaznykh gruntov pri razlichnykh trayektoriyakh nagruzheniya [Shear test of cohesive soils under different loading paths] // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2012. №7(33). S. 50-57.
- [85]. Loginova I. I., Artamonova D. A., Stolyarov O. N., Melnikov B. Ye. Vliyaniye struktury na vyzkouprugiye svoystva geosinteticheskikh materialov [Influence of structure on the viscoelastic properties of geosynthetic materials] // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2015. №4 (56). S. 11-69
- [86]. Badanin A.N., Kolosov Ye.S. Opredeleniye nesushchey sposobnosti armirovannogo georeshetkoy gruntovogo osnovaniya [Determination of the bearing capacity of geogrid reinforced soil foundation] // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2012. №4(30). S. 25–32.
- [87]. Kudryavtsev S. A, Berestyanyy Yu. B, Valtseva T. Yu., Mikhaylin R. G. Sovremennyye geotekhnicheskiye resheniya dlya transportnykh sooruzheniy v slozhnykh inzhenernykh i gorodskikh usloviyakh // Izd-vo: Dalnevostochnyy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya (DVGUPS) 6 s.
- [88]. Korolkov R. A. Obespecheniye ekspluatatsionnoy nadezhnosti nasypey avtomobilnykh dorog, armirovannykh geosinteticheskimi materialami [Ensuring operational reliability embankments of roads, reinforced geosynthetic materials] // Naukovi notatki. 2014. № 45. S. 295-300.
- [89]. Tatyannikov D. A., Ponomarev A. B., Kleveko V. I., Schlömp S. H., Schwerdt S. Opredeleniye kharakteristik treniya dlya dvukh tipov geosinteticheskikh materialov putem provedeniya ispytaniy na sdvig [Determination of the friction characteristics of the two types of geosynthetic materials through shear tests] // Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura. 2014. № 1. S. 174-186.
- [90]. Burmistrova O. N., Voronina M. A. Obosnovaniye raschetnykh skhem nezhestkikh dorozhnykh odezhd, armirovannykh geosinteticheskimi materialami [Justification design schemes of non-rigid pavements reinforced by geosynthetics] // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2012. № 1. S. 93-97.
- [91]. Moskalev O. Yu. Sushchestvuyushchiye metody otsenki sroka sluzhby dorozhnykh odezhd s geosinteticheskimi materialami [Existing methods for estimating the life of pavements with geosynthetic materials] // Internet-zhurnal Naukovedeniye. 2013. № 3 (16). S. 81.

- [92]. Skutin A. I., Skutin D. A., Tabynshchikov A. I. Modelirovaniye zemlyanogo polotna, armirovannogo geosinteticheskimi materialami [Modeling roadbed reinforced geosynthetic materials] // *Proyektirovaniye razvitiya regionalnoy seti zheleznikh dorog*. 2014. № 2. S. 143-149
- [93]. Skutin A. I., Smerdov M. N., Smerdov D. N. Issledovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zemlyanogo polotna, usilennogo geosinteticheskimi materialami [Investigation of stress-strain state of the roadbed reinforced geosynthetic materials] // *Aktualnyye voprosy proyektirovaniya avtomobilnykh dorog. Sbornik nauchnykh trudov OAO GIPRODORNII*. 2012. № 3. S. 13-18.
- [94]. Geosinteticheskiye materialy - innovatsionnoye resheniye problemy koleynosti avtodorog [Geosynthetics - an innovative solution to the problem of rutting of roads] [Elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Internet Explorer URL: <http://www.geo-allianz.ru/documentation/> (data obrashcheniya 28.09.16)
- [95]. Suslova L. I. Problemy proyektirovaniya, stroitelstva i ekspluatatsii avtomobilnykh dorog v slozhnykh prirodno-klimaticheskikh usloviyakh [Design problems, construction and maintenance of roads in difficult climatic conditions] // *Transportnaya strategiya - XXI vek*. 2015. № 30. S. 54-55.
- [96]. Tatyannikov D. A., Ponomarev A. B., Kleveko V. I. Issledovaniya mekhanicheskikh kharakteristik geosinteticheskikh materialov dlya razrabotki metodiki rascheta nesushchey sposobnosti armirovannykh fundamentnykh podushek [Research of mechanical characteristics of geosynthetic materials for the development of a methodology of calculation of the bearing capacity of the reinforced foundation pads] // *Akademicheskii vestnik UralNIIProyekt RAASN*. 2015. № 1. S. 84-89.
- [97]. Geosintetiki v dorozhnom stroitelstve [Geosynthetics in road construction] [Elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: AdobeAcrobatReader.URL:<http://www.geosyntheticssociety.org/Resources/Documents/Geosynthetics%20in%20Road%20Engineering%20Rus.pdf> (data obrashcheniya: 27.09.2016).
- [98]. Kirsanov A. A. Laboratornyye ispytaniya geosinteticheskikh materialov [Laboratory testing of geosynthetics] // *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2013. № 91. S. 939-949.
- [99]. Hu Y., Zhang G., Zhang J. -M., Lee C. F. Centrifuge modeling of geotextile-reinforced cohesive slopes geotextiles and geomembranes. Elsevier Science Publishing Company, Inc. *Geotextiles and geomembranes*. 2010. T. 28. № 1. pp. 12-22
- [100]. Melnikova Ye. P., Nuzhnenko Yu. V., Skrypnik T. V. Povysheniye ustoychivosti gruntovykh sooruzheniy putem armirovaniya geosinteticheskimi materialami [Increasing sustainability through soil structures reinforcement geosynthetics] // *Sovremennyye tendentsii razvitiya i perspektivy vnedreniya innovatsionnykh tekhnologiy v mashinostroyenii, obrazovanii i ekonomike*. 2016. № 1. S. 29-34.
- [101]. Dyba P. V., Dyba V. P., Bartolomey L. A. Otsenka i eksperimentalnaya proverka nesushchey sposobnosti ukreplennykh geotekstilem otkosov [Evaluation and experimental verification of the bearing capacity of reinforced geotextile slope] // *Internet-Vestnik VolgASU*. 2013. № 2 (27). S. 4.
- [102]. Dyba P. V., Skibin G. M., Dyba V. P. Prosteyskiye verkhniye otsenki nesushchey sposobnosti ukreplennykh geotekstilem otkosov [Simple upper bound the bearing capacity of reinforced geotextile slope] // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitelstvo i arkhitektura*. 2012. № 29 (48). S. 54-60.

Дмитриев И.И., Геосинтетические материалы в дорожном строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №10 (49). С. 35-58

Dmitriev I.I., Geosynthetic materials for road construction. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 10 (49), Pp. 35-58. (rus)