



22-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos  
**TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA**,  
vykusios 2019 m. lapkričio 22-23 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 22th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'  
**TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 22-23 November 2019, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 22-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»  
**ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК**, 22-23 ноябрь 2019 г., Вильнюс, Литва

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Краюшкина Екатерина<sup>1</sup>, Химерик Татьяна<sup>2</sup>, Белятынский Андрей<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Сектора современных технологий ГП "ГосдорНИИ" имени М.П. Шульгина,

Украина, Киев, пр-т Победы 57

<sup>2,3</sup> Кафедры реконструкции аэропортов и автодорог Национальный Авиационный Университет,  
Украина, Киев, пр-т Космонавта Комарова 1,

Е. почта: <sup>1</sup>ekrayushkina15@ukr.net, <sup>2</sup>thumerik@ukr.net, <sup>3</sup>beljatinskij@uke.net

**Аннотация.** Решение проблем связанных с повышением интенсивности и грузонапряженности движения автомобилей требует повышения надежности автомобильных дорог. Вследствие непрерывного роста интенсивности движения на автомобильных дорогах, повышения грузоподъемности транспортных средств и осевых нагрузок, увеличения доли большегрузных автомобилей в составе движения дорожное покрытие испытывает воздействие многократных циклических нагрузок, которые приводят к развитию усталостных разрушений. Их ликвидацию невозможно выполнить без внедрения новых материалов и технологий ремонта. Одними из таких материалов являются геосинтетика, которые различаются по составу используемого сырья, технологии изготовления, структуре, показателям свойств и выполняемым функциям. В дорожном строительстве геосинтетические материалы используют в дорожной одежде, земляном полотне, при устройстве дренажных конструкций, для обеспечения устойчивости откосов и защиты от водной и ветровой эрозии. Особое значение имеет применение геосинтетических материалов в конструкции дорожной одежды. В зависимости от конкретных условий и целей прослойки из геосинтетических материалов устраивают на поверхности земляного полотна под дополнительным слоем основания, под нижним слоем основания дорожной одежды, в слоях основания или в слоях покрытия.

**Ключевые слова:** надежность, автомобильная дорога, геосинтетические материалы, базальтовые сетки, асфальтобетон, дорожная конструкция.

### Введение

Известно, что эксплуатационная надежность автомобильных дорог - это способность обеспечивать безопасное расчетное движение автомобилей со средней скоростью, которая близка к оптимальной. То есть безопасность работы дорожной конструкции на протяжении заданного нормативного срока службы. Известно, что многократное циклическое влияние осевых усилий от движущегося по автомобильной дороге транспортного потока увеличивает нагрузку на всю конструкцию дорожной одежды.

Результаты диагностики автомобильных дорог Украины свидетельствуют об их недостаточной эксплуатационной надежности. Так, 77 % автомобильных дорог требуют увеличения прочности дорожной

одежды, 71 % - увеличения ровности проезжей части и 74 % - улучшения сцепных свойств покрытий (Кодеева 2014).

Исследовано, что со временем это приводит к появлению на покрытии различных деформаций и разрушений - трещины, колейность, выбоины и другие (Gameliak *et al.* 2010).

Основной причиной появления дефектов в дорожных покрытиях является возникновение и последующее развитие трещин.

Определено, что замена верхнего слоя не решает проблему, а только временно улучшает ситуацию, поскольку трещины зародившиеся в основании дорожной одежды вскоре отражаются и на новый устроенный слой покрытия (Федоренко 2009).

Одним из способов замедления развития отраженных трещин в асфальтобетонном слое является использование геосинтетических материалов как армирующих прослоек. Этот метод основывается на проведенных исследованиях по повышению трещиностойкости асфальтобетонных покрытий с внедрением технологии армирования асфальтобетона.

Номенклатура применяющихся материалов геосеток широка. Основным фактором, влияющим на выбор конкретного материала, является его термостойкость. Прочность на растяжение наряду с плотностью материала армирующей прослойки должна обеспечивать надежную работу геосетки в составе дорожной конструкции. Работая, совместно с асфальтобетонном, сетка, принимая на себя часть горизонтальных усилий, которые возникают при температурных и механических воздействиях сдерживает развитие отраженных трещин в верхнем слое, что способствует улучшению его свойств и увеличению долговечности покрытия.

### Анализ публикаций

К решению задач оценки и прогнозирования эксплуатационной надежности дорожных одежд существует два основных подхода. Первый подразумевает привлечение для количественного описания текущего состояния дорожной одежды обобщенных показателей, которые характеризуют состояние дорожной одежды (Mueller-Rochholz 2010).

В качестве таких показателей могут выступать: скорость движения транспортного потока как интегральная характеристика транспортно-эксплуатационного состояния дорожной одежды; ровность, характеризуемая индексом ровности (IRI); транспортно-эксплуатационное состояние (ТЭС) или его количественная характеристика – индекс ТЭС автомобильной дороги (J), а также в международной практике близкие по смыслу: индекс пригодности покрытия (PSI); индекс состояния покрытия (PCI). Такой подход ориентирован, преимущественно, на оценку потребительских свойств дороги.

Второй подход предполагает оценку состояния на основе оценки деформационных характеристик конструкции, получаемых по результатам диагностики. Достоинством такого подхода является учет: вероятностной природы факторов движения, природно-климатических, грунтово-гидрологических условий, свойств грунтов и материалов слоев дорожных одежд; критериев прочности дорожных одежд: упругого прогиба и сопротивления сдвиговым деформациям; показателей качества строительства через значения коэффициентов вариации общего модуля упругости дорожных одежд; снижения в процессе эксплуатации прочностных и деформационных характеристик материалов слоев дорожной одежды при расчете ее прочности по критериям упругого прогиба и сопротивления сдвиговым деформациям (Гамеляк 2001).

Исследовано, что применение базальтоволоконистых материалов (сетка, полотно, фибра) для направленного и дисперсного армирования слоев дорожной

конструкции существенно повышает стойкость верхнего слоя покрытия к действию различных негативных факторов, транспортно-эксплуатационные качества и долговечность (Москалева 2014).

Используемая технология армирования асфальтобетонов позволяет предотвратить основные деформации и разрушения асфальтобетонных покрытий. За счет распределяющей способности геосеток увеличивается рабочая зона нижних слоев покрытия и основания, что устраняет в них пиковые (разрушающие) напряжения.

В Украине есть достаточно большой опыт применения геосинтетических материалов (Краюшкина *et al.* 1998).

Первоначально на объектах ремонта и строительства применялся дорогой зарубежный материал Turag, Hatelit, Armatex и другие.

Разработка и производство отечественных базальтоволоконистых сетчатых и сплошных полотен намного удешевляет выполнение работ при одновременном обеспечении нормативных межремонтных сроков службы дорожных конструкций, снижение процессов трещинообразования и колееобразования (Краюшкина *et al.* 2013).

### Цель и постановка задачи

В современном дорожном строительстве Украины как и во всем мире 90 % дорог устраивается с асфальтобетонным покрытием. Увеличению прочности, уменьшению деформативности и стойкости против всякого рода разрушений этого материала посвящено много исследований (Краюшкина *et al.* 2005).

Одной из наиболее эффективных технологий повышения эксплуатационной надежности дорог и транспортно-эксплуатационных показателей на нормативном уровне есть применение геосинтетических материалов (ГМ) (Краюшкина 2001).

Геосинтетические материалы (ГМ) применяются в виде прослоек, которые выполняют в дорожной конструкции такие функции:

- усиление дорожной одежды с использованием ГМ как трещиноперерывающих прослоек в асфальтобетонном покрытии с большими деформациями и разрушениями;
- армирование асфальтобетонных слоев для повышения их прочности и трещиностойкости. Армирующие прослойки уложенные между слоями асфальтобетона воспринимают и перераспределяют растягивающие усилия и предупреждают появление горизонтальной деформации удлинения вблизи подошвы слоя при изгибе, которая появляется при многократном кратковременном действии колесной нагрузки движущегося автомобиля;
- восстановление прочности в местах ремонта и обеспечение ровной поверхности в местах уширения дорожной одежды, усиления в местах ликвидации колеиности;
- армирование и усиление основы из зернистых материалов;

- восстановление несущей способности дорожной конструкции при ремонтах пучинистых участков дорог;
- армирование земляного полотна на слабых грунтовых основах;
- обеспечение дренирования дорожных конструкций;
- укрепление откосов насыпей и выемок.

В настоящее время разрабатываются оптимальные лабораторные методы контроля работоспособности трещинопрерывающих прослоек, позволяющие оценить пригодность использования армирующей прослойки в дорожном строительстве через отношение прочностных показателей армированного покрытия к неармированному, а также выбрать оптимальный тип материала.

### Оценка эксплуатационной надежности

Оценку эксплуатационной надежности дорожных конструкций армированных базальтовыми сетками необходимо производить по коэффициенту запаса прочности (Кз.п.), который наиболее полно отражает транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог.

Статистическая обработка результатов экспериментальных работ показала, что закон распределения Кз.п. отвечает нормальному и позволила установить его необходимое значение.

Армирование асфальтобетонного покрытия базальтовыми сетками позволяет увеличить срок службы верхнего слоя в 2-3 раза за счет снижения термического и усталостного растрескивания, уменьшения количества отраженных трещин и появления разного вида пластических деформаций (Hassan *et al.* 2011).

В результате проведенного анализа существующих геосинтетических материалов были сформулированы функционально-системные принципы учета особенностей природно-климатических условий для повышения надежности автомобильных дорог за счет использования слоев из ГМ для компенсации растягивающих напряжений в асфальтобетонных покрытиях, армировании оснований из зернистых материалов и стабилизации водно-теплового режима автомобильных дорог (рисунок 1).

Базальтовые материалы, применяемые в дорожных конструкциях, изготавливают путем плавления базальтовой горной породы и получения непрерывного базальтового волокна, которое характеризуется высокой прочностью, химической, термической и коррозионной стойкостью.

В конце прошлого века по разработанным в ГП "ГосдорНИИ" требованиям на заводе "Тепловукоизоляция" в пгт Коцюбинское Киевской области был организован выпуск базальтовой сетки марки ПСБП-Д (полотно сетчатое базальтовое пропитанное дорожное) и сплошного полотна ПБ-Д (полотно базальтовое дорожное). Эти материалы применялись на таких масштабных объектах как реконструкция дороги Киев-Одесса, Киев-Харьков-Довжанский, Кипти-Глухов-

Бачевск и другие для армирования и усиления слоев дорожной конструкции.

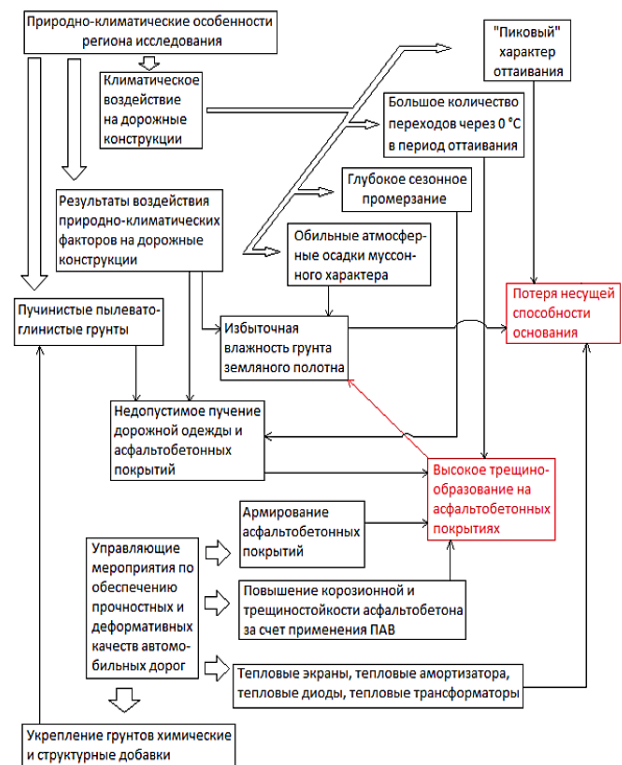


Рис. 1. Схема функционально-системных принципов учета.

Для обеспечения адгезии к подгрунтовым слою из битума или битумной эмульсии и придания необходимой жесткости (снижение относительного удлинения при разрыве) ПСБП-Д и ПБ-Д пропитаны специальным полимерным раствором.

Существует некоторая несогласованность в научном сообществе относительно того, какие геосетки наиболее эффективные: из полимерных волокон или из минеральных. Существующий опыт использования геосеток и ряд научных исследований приводят аргументы как в пользу первой, так и в пользу второй точки зрения. Однако, следует отметить, что большая часть исследований того или другого материала проводилась по инициативе его производителя с целью продвижения своей продукции на рынке. Невозможно полностью пренебречь результатами этих исследований, но ряд сравнительных выводов вызывает сомнения вследствие заинтересованности их авторов.

Моделирование напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов дорожных конструкций, армированных базальтовыми материалами, по программе Genld позволило получить эффективные зоны размещения направленных прослоек в слоях дорожной одежды и определить коэффициенты армирования (Королев 1994).

Основным аргументом использования сеток на основе полимеров то, что эти материалы хоть и имеют модуль упругости выше чем асфальтобетон, но все же ближе до его значения чем аналогичные материалы из минеральных волокон, а также коэффициент температурного расширения полимеров ближе к асфальтобе-

тону, что снижает возможность температурных напряжений. Но основная задача геосинтетических материалов перераспределять напряжение из зоны наибольших значений на всю длину.

Пропитанные базальтовые материалы - сетка ПСБП-Д и полотно ПБ-Д характеризуются гораздо более высокими показателями прочности чем не пропитанные. Необходимо отметить, что пропиточный состав подобран с учетом обеспечения модуля упругости сетки равным упругости асфальтобетона (1:1), что обеспечит перераспределение горизонтальных напряжений из зоны наибольших значений равномерно, на всю ширину участка армирования. Перераспределение напряжений в двухслойном асфальтобетонном покрытии армированном сеткой ПСБП-Д приведено на рисунке 2.

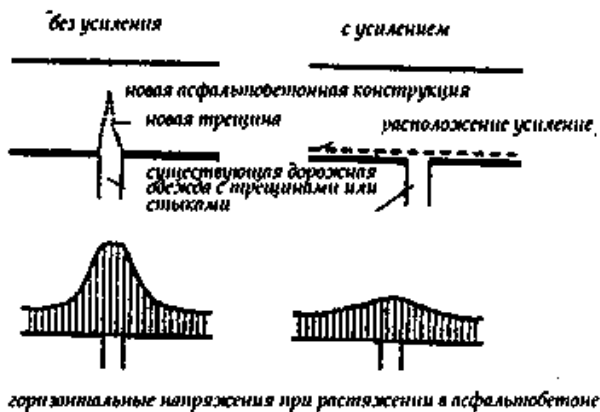


Рис. 2. Схема перераспределения горизонтальных напряжений в армированном асфальтобетоне.

Физико-механические характеристики разработанных базальтовых материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-механические характеристики базальтовых геосинтетических материалов.

Наименование показателя	Вид материала		Требования ГБН В.2.3-37641918-544
	Сетка ПСБП-Д	Полотно ПБ-Д	
Поверхностная плотность, г/см <sup>3</sup>	180,0	210,0	135-2000
Толщина, мм	3,5	3,0	0,25-0,75
Размер ячейки, мм	25x25	-	-
Прочность при разрыве, кН/м <sup>2</sup>	60,0	35,0	-
Прочность на растяжение, кН/м	300,0	400,0	30-1200
Прочность на усталость, количество циклов	100	100	50-100
Статическое прокалывание плунжером	-	520,0	45-450
Ползучесть, % в час	0,1	0,2	-
Коэффициент сдвига, %	64,5	71,2	60-100
Анкерная прочность материала при отрыве из массива грунта, % от прочности, R <sub>p</sub>	86,0	82,0	50-100

Стойкость к действию агрессивных сред, температурная деградация (при действии горячей асфальтобетона, горячей воды)	195,0	195,0	не меньше 170
Химическая деградация, остаток массы после кипячения, % от исходной в:	97,5	97,5	-
серной кислоты (0,5H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	92,0	92,0	-
едком натрии 0,5 NaOH	71,0	71,0	-
	2,0		
NaOH			
Долговечность в камере искусственного климата на протяжении 600 часов	Выдерживает без внешних изменений, не ломается, не крошится		
Температура плавления, °С	1200,0	1200,0	-
Адгезия к слою вяжущего, битум жидкий	14,0	17,0	-
Адгезия к слою вяжущего, катионактивная битумная эмульсия	50,0	35,0	-

Эффективность применения базальтовых материалов необходимо оценивать с учетом влияния природно-климатических условий объектов строительства или ремонтов.

Влияние базальтовых прослоек на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог, то есть на их эксплуатационную надежность, объективно оценивать скоростью движения, которая выражается через коэффициент расчетной скорости (Кр.с.).

Связь между скоростью движения и прочностью дорожной конструкции выражается зависимостью:

$$V = j \exp\left(-\frac{\delta_t}{K_{np}}\right), \quad (1)$$

где:  $j$  и  $\delta$  – коэффициенты, зависящие от типа покрытия, состава движения и его интенсивности;  $t$  – текущее время;  $K_{np}$  – коэффициент запаса прочности.

Авторами установлено, что зависимость обеспечения скорости движения от коэффициента запаса прочности подчиняется закону логарифмического нормального распределения:

$$f(v) = \frac{1}{\sigma_k \sqrt{2\pi}} \exp\left[\frac{-\frac{\sigma_t}{v} - mk_{pp}}{\ln \frac{\gamma}{v}} - \frac{mk_{pp}}{2\sigma_k^2}\right] \cdot \left[\frac{\sigma_t}{\ln\left(\frac{\gamma}{v}\right)^2}\right] \quad (2)$$

где  $mk_{pp}$  – математическое ожидание коэффициента запаса прочности;  $\sigma$  – дисперсия коэффициента запаса прочности.

Степень надежности базальтовых геотекстильных материалов можно определить используя график экс-

платуационной надежности дорожной одежды приведенной на рисунке 3.

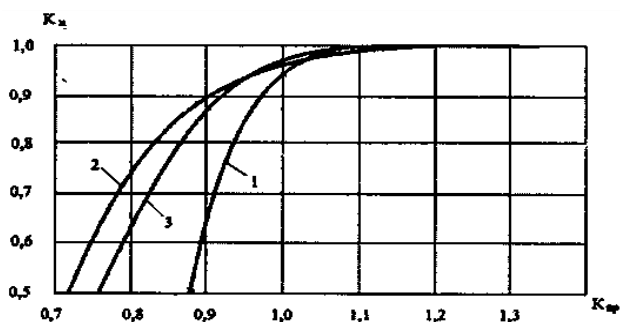


Рис. 3. График определения эксплуатационной надежности дорожной одежды по коэффициенту запаса прочности  $K_{пр}$ : 1 – при растяжении на изгиб; 2 – при растяжении при сдвиге; 3 – при растяжении по упругому прогибу.

Таким образом, повышение эксплуатационной надежности дорожных конструкций, армированных базальтовыми прослойками можно оценивать на основе обеспечения прочности при заданных условиях надежности.

Для получения полной информации о влиянии армирования асфальтобетонных слоев базальтоволоконистой сеткой ПСБП-Д были рассчитаны коэффициенты армирования  $K_a$  – который учитывает повышение сопротивления растягивающим температурным напряжениям и коэффициент усталости  $K_{NP}$  – который учитывает уменьшение влияния процессов усталости на прочность вследствие армирования асфальтобетонного покрытия. Значения  $K_a$  и  $K_{NP}$  для сеток с разной прочностью приведены в таблице 2.

Таблица 2. Значения коэффициентов  $K_a$  и  $K_{NP}$ .

Прочность при разрыве геосеток разных видов, кН/м <sup>2</sup>	Относительная деформация при разрыве	$K_a$	$K_{NP}$
Меньше 50,0	Не больше 4	1,00	1,00
	Больше 4	1,00	1,00
50,0	Не больше 4	1,05	0,81
	Больше 4	1,02	0,93
100,0	Не больше 4	1,12	0,61
	Больше 4	1,06	0,81
150 и больше	Не больше 4	1,27	0,32
	Больше 4	1,14	0,63

Укладка базальтоволоконистых прослоек – сетчатых и полотен в дорожную одежду выполняется по обычной технологии и не требует усложнений.

## Выводы

1. Применение базальтовых ГМ в конструкциях автомобильных дорог позволяет предотвращать основные деформации и разрушения асфальтобетонных покрытий: температурные, отраженные и усталостные трещины (так как геосетка принимает на себя растягивающие напряжения, которые для асфальтобетона, в силу его физико-механических свойств, наиболее опасны); сдвиговые деформации (колея и волны).
2. Распределяющая способность геосеток позволяет

принципиально увеличить рабочую зону нижних слоев покрытия и основания, тем самым, устранить в них пиковые (разрушающие) напряжения.

3. Моделирование напряженно-деформированного состояния дорожных конструкций армированных базальтовыми сетками методом конечных элементов и программы Genld позволило установить эффективные зоны размещения прослоек и уточнить коэффициенты армирования.
4. Повышение эксплуатационной надежности дорожных конструкций, армированных базальтовыми прослойками оценивается на основе обеспечения прочности при заданных условиях надежности с учетом коэффициентов армирования  $K_a$  и усталости  $K_{NP}$ .

## Литература

- Gameliak, I.; Zhurba, G.; Kostycky, V. 2010. Determination of geosynthetic materials resistance to cyclic loading, *9th International Conference on Geosynthetics, Brazil*: 631 – 634.
- Mueller-Rochholz, J. 2010. Long term performance of geosynthetics, *9th International Conference on Geosynthetics, Brazil*: 455 – 461.
- Королев, М. 1994. Использование геосинтетиков в конструкциях дорожных одежд, *2-й международный конгресс по геотекстилю, Лас-Вегас, США* 11: 8-9.
- Федоренко, Е. 2009. Современные геотехнологии в строительстве: Хабаровск
- Вильмерс, Веплар, 1994. Инструкция по использованию геотекстилей и геосеток в дорожном строительстве. Москва, МАДИ.
- Hassan, H. F.; Al-Jabri, K. 2011. Laboratory evaluation of hot-mix asphalt concrete containing copper slag aggregate, *Journal of Materials in Civil Engineering* 23(6): 879–885.
- Кокодеева, Н. 2014. К определению срока службы дорожных одежд с геосинтетическими материалами, *Дороги. Инновации в строительстве* 34: 26- 29.
- Москалева, О. 2014. О влиянии слоя композита на основе геосотого материала на работу дорожной одежды, *Дороги и мосты* 32/4: 55-69.
- Гамеляк, И. 2001. Влияние разрушений на изменение прочности конструкций дорожной одежды, *Автомоб. дороги и дор. стр-во* 62: 157-165.
- Краюшкина, Е. В.; Вырожемский, В. К.; Химерик, Т. Ю. 2005. Повышение трещиностойкости и шероховатости дорожных покрытий путем использования битумно-полимерных композиций, *Проблемы надежности дорожных одежд городских улиц и дорог: Сборник трудов международной научно-практической конференции*, Минск: 187–194.
- Краюшкина, Е. В. 2001. Определение эксплуатационного состояния поверхностей, предназначенных для движения пешеходов, *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* 62: 33–35.
- Краюшкина, Е.; Белятынский, А. 2013. Применение трехмерных георешеток для стабилизации переувлажненных грунтов на Украине, *Дороги* 25: 50–52.
- Краюшкина, Е. ; Химерик, Т. 1998. Базальтоволоконистые сетчатые прослойки для усиления проезжей части и обочин, *Збірник «Автотороженій комплекс України в сучасних умовах: проблеми і шляхи розвитку»*, 229–231.