

# **СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ**

УДК 625.74

**А. В. Лисянец****Автомобильно-дорожный институт  
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка**

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УКРЕПЛЕНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ**

*Разработана технология армирования земляного полотна автомобильной дороги с помощью тканого геотекстиля Геоспан ТН. Рассчитана сметная стоимость устройства армирующей прослойки, а также вычислен экономический эффект от внедрения технологии.*

**Ключевые слова:** армирование, земляное полотно, геотекстиль, сметная стоимость, экономический эффект

### ***Постановка проблемы***

Под воздействием многократно повторяющихся нагрузок даже на ранней стадии эксплуатации верхних слоев покрытия из типовых асфальтобетонов наблюдается интенсивное накопление остаточных деформаций, что приводит к снижению ровности покрытия. Следствиями являются сокращение срока службы дорожной одежды, снижение безопасности движения и возрастание себестоимости автомобильных перевозок.

Современные общепринятые принципы конструирования и расчета дорожных одежд не позволяют запроектировать конструкцию, испытывающую только обратимые деформации. До настоящего времени не получены решения на должном теоретическом уровне, не установлены закономерности процессов развития и накопления необратимых деформаций в слоях дорожных одежд и земляном полотне, а также характер влияния этих деформаций на развитие неровностей покрытия.

В сложившихся условиях достаточно актуальными являются исследования по регулированию процесса накопления остаточных деформаций в дорожной конструкции за счет повышения прочности активной зоны грунтового массива.

### ***Анализ существующих исследований***

В настоящее время геосинтетические материалы широко применяются в дорожном строительстве для решения многих задач. Одно из назначений геосинтетических материалов – армирование насыпи дорожной конструкции.

Применение геосинтетиков для повышения прочности насыпи является одной из наиболее эффективных и широко опробованных технологий армирования грунтов. Армирующий эффект основан на способности синтетического материала воспринимать растягивающие напряжения, работая совместно с грунтовым массивом земляного полотна, слоями дорожной одежды (щебень, песок и др.), поскольку грунт и слои дорожной одежды практически не обладают прочностью при растяжении. Совместная работа прослойки с грунтом земляного полотна и слабо связными слоями дорожной одежды являются основой перераспределения напряжений в основании от временной нагрузки и собственного веса насыпи [1–3].

На практике эффект перераспределения напряжений в основании неоднократно находит подтверждение в уменьшении колееобразования под колесами автомобилей и в снижении осадки насыпи на болоте и заболоченных участках местности. При деформациях прослойка включается в работу, воспринимая часть вертикальной нагрузки, снимая тем самым ее с основания и перераспределяя напряжения.

**Цель исследования** – повышение прочности грунтового массива активной зоны за счет введения армирующей геосинтетической прослойки.

### **Основной материал исследования**

Следовательно, повышение прочности грунтового основания влечет за собой повышение прочности и устойчивости всей дорожной конструкции.

Для повышения прочности в натуральных условиях предлагается вводить в грунтовой массив активной зоны армирующую геосинтетическую прослойку.

Согласно требованиям нормативной документации по проектированию земляного полотна с применением геосинтетических материалов в качестве материала армирующей прослойки активной зоны грунтового массива следует применить тканый геоматериал на основе полиэфира [4, 5].

Данным требованиям отвечает группа рулонных тканых геотекстилей, представителем которых является Геоспан ТН.

Геоспан ТН изготавливается из прочных полиэфирных волокон, что обуславливает его широкое применение для армирования грунта и конструктивных слоев дорожной одежды, а также в качестве разделительной прослойки.

Тканая структура Геоспана ТН обеспечивает высокие показатели прочности на разрыв в продольном и поперечном направлении, а также низкую деформативность. Геоспан ТН морозостоек, устойчив к агрессивному воздействию грунтовых вод и ультрафиолетовому излучению.

Геоспан ТН повышает прочность грунтового массива в целом за счет увеличения несущей способности грунта и предотвращения неравномерных просадок.

Характеристики геотекстиля «Геоспан ТН» приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики рулонного тканого геотекстиля «Геоспан ТН»

№ п/п	Характеристика ТН 11	Значение
1	Ширина материала, м	1,6
2	Длина материала, п. м.	50
3	Предел прочности (по длине), кН/м	11
4	Предел прочности (по ширине), кН/м	11
5	Удлинение (по длине), %	29
6	Удлинение (по ширине), %	25
7	Удлинение при нагрузке $0,75 \times P_{\max}$ (по длине и ширине), %	5
8	Водопроницаемость при давлении 10 кПа, л/м <sup>2</sup> ·с	10
9	Плотность материала, г/м <sup>2</sup>	70

Исходя из технологической и экономической целесообразности, устройство армирующей прослойки следует выполнять на стадии строительства автомобильной дороги, а также ее реконструкции в случае, когда предусмотрено переустройство земляного полотна [6]. До начала выполнения работ разрабатывается детальный план укладки армирующих геосинтетических полотен.

В технологию устройства грунтового массива дополнительно вводятся технологические операции:

- подготовка грунтового основания для последующего раскатывания рулонов геосинтетического материала;
- транспортировка геотекстиля;
- раскатывание по участку рулонов геотекстиля;
- соединение полотен геотекстиля при необходимости;
- обязательное крепление геотекстиля к грунту;

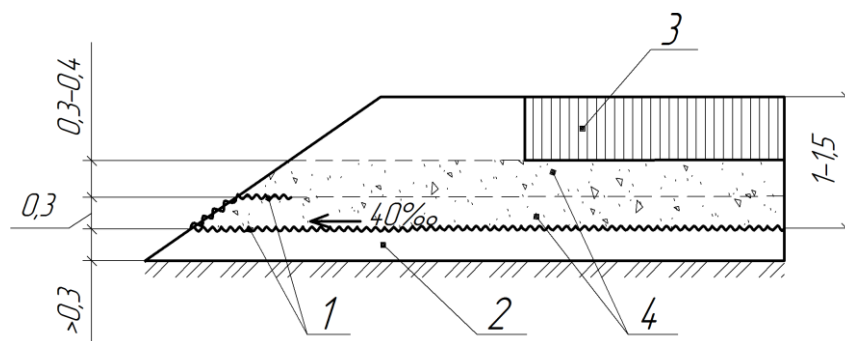
- засыпка геотекстильного материала песчаным слоем, с последующим его распределением и уплотнением;
- закрепление концов геотекстиля на перекрывающем слое песка;
- повторная засыпка геотекстильного материала песчаным слоем, с последующим его распределением и уплотнением.

Подготовка подстилающего грунта состоит в профилировании его поверхности и уплотнении. Коэффициент уплотнения подстилающего слоя грунта должен быть 0,98–1; уклон поверхности – 40 %. Поверхность не должна иметь колеи, ям и других неровностей глубиной более 5 см.

При наличии глубокой колеи или ям их засыпают грунтом и планируют автогрейдером или бульдозером. Кустарник, деревья вырубает и спиливают в одном уровне с поверхностью. В этом случае корчевка пней может не проводиться. Если в момент производства работ на участке имеются поверхностные воды, то досыпают выравнивающий песчаный слой.

Армирующую прослойку следует укладывать в пределах активной зоны грунтового массива, а подстилающий слой грунта должен быть не менее 0,3 м. Глубина залегания армирующего слоя геотекстиля составляет 1,0–1,5 м.

Конструкция земляного полотна с армирующей прослойкой приведена на рисунке 1.



- 1 – тканый синтетический материал, 2 – подстилающий слой грунта,  
3 – дорожная одежда, 4 – перекрывающий слой песка

Рисунок 1 – Конструкция земляного полотна с армирующей прослойкой

Перед транспортировкой геоматериала следует рассчитать его необходимое количество. Для третьей категории дороги ширина земляного полотна составляет 12 м, а заложение откосов принимается 1:3. При длине захватки 200 м и глубине заложения прослойки 1,5 м площадь покрытия геотекстилем земляного полотна будет составлять 4200 м<sup>2</sup>. С учетом ширины перекрытия слоев (0,3 м) и ширины, требующейся для того, чтобы завернуть геотекстиль поверх перекрывающего слоя песка с целью его закрепления в грунтовом массиве (6,5 м), потребуется 84 рулона.

Для транспортировки рулонов геотекстиля целесообразно выбрать наиболее распространенную бортовую машину ГАЗ-53. Размеры кузова составляют 3950 x 2170 x 543 мм. Размеры рулонов составляют 1600 x 250 x 250 мм. Это позволяет разместить их по 15 штук в два слоя и по 4 в третьем слое поперек кузова, а также по 8 штук в два слоя вдоль кузова. Для перевозки 84 рулонов потребуется две машины.

Рулоны геотекстиля транспортируют к месту производства работ непосредственно перед укладкой и распределяют по длине участка работ через расстояние, соответствующее ширине полотна в рулоне. Если доступ к стройплощадке затруднен из-за условий движения транспорта, должны быть предприняты специальные меры по организации на период строительства временных подъездных путей. В удобном месте, близко к объекту проведения работ, должны быть устроены рабочая площадка и площадка складирования, на которых осуществляются хранение и подготовка к укладке геотекстиля.

Материал засыпки разгружают только на мелкозернистый слой перекрытия с после-

дующим распределением материала засыпки на геосинтетическое полотно. Укладку полотен выполняют вручную в продольном или поперечном направлении относительно оси насыпи. Следует выбрать продольную укладку, так как она более удобна технологически.

Раскатку рулонов выполняют вручную звеном из трех дорожных рабочих. После раскатки первых метров краевую часть (по ширине) полотна прижимают к грунту двумя-тремя анкерами (стержни диаметром 3–5 мм) длиной 15–20 см с отогнутым верхним и заостренным нижним концами. При этом по бокам оставляют со свободными концами полосы шириной 6,5 м с целью в дальнейшем закрепить их на перекрывающем слое песка. При последующем раскатывании выполняют периодическое разравнивание полотна с небольшим продольным его натяжением и креплением к грунту анкерами (или другим способом) через 10–15 м. Крепление выполняют во избежание смещения полотна при действии ветровой нагрузки, укладке следующего слоя, а также для сохранения небольшого предварительного натяжения геотекстиля. Полотна укладывают с перекрытием не менее 0,3 м и при необходимости дополнительно соединяют.

Если геотекстильное полотно укладывают между слоями основания и грунтом земляного полотна, то геотекстильные фильтры сшивают сплошным швом или сваривают сплошным или прихваточным швом. В случае устройства армирующего слоя непосредственно в земляном полотне сшивание необходимо выполнять плоскими швами.

Для соединения геополотен целесообразно применить ручную швейную машину GK 1800, предназначенную для шитья геотекстиля. Это одна из самых современных и удобных и недорогих машин. В отличие от многих других данная модель работает с более высокой скоростью: 1,25 стежков в минуту; а весит меньше – 3,5 кг. В машинке предусмотрено автообрезание нити, а роликовая лапка облегчает продвижение зашиваемого материала.

Производительность работ по укладке полотен может быть определена, исходя из следующих данных: скорость раскатывания рулонов при их ширине 1,5–2,0 м составляет 1500–2000 м<sup>2</sup>/ч; потери времени на выравнивание и анкерровку полотен составляют в среднем 0,18–0,20 ч на одно полотно при его длине 50–100 м.

Для распределения зернистого материала поверх геосинтетического полотна выбирают транспортные средства с малым давлением на основание. Заезд строительной техники на неприкрытое геосинтетическое полотно запрещено. Минимально допустимая толщина слоя перекрытия составляет 0,3 м.

Уплотнение зернистого материала перекрытия выполняют виброкатком. Если геосинтетическое полотно укладывают на основу малой несущей способности (менее 30 МПа), то нижний мелкозернистый слой перекрытия уплотняют распределяющим бульдозером или автогрейдером и после этого катком без вибрации. Последующие слои перекрытия уплотняют виброкатком. Не следует применять распределяющие и уплотняющие машины, которые оставляют колею в зернистом слое перекрытия. Для предотвращения колееобразования следует использовать легкую технику.

После уплотнения слоя перекрытия геотекстиль заворачивают вверх на перекрывающий слой песка, закрепляют анкерами и повторяют операции с засыпкой, планированием и уплотнением песчаного слоя перекрытия [7–9].

Основой для определения сметной стоимости устройства армирующего слоя дорожной конструкции являются основные технологические параметры устройства названного слоя.

Локальная смета составлена в текущем уровне цен на трудовые и материально-технические ресурсы. Порядок расположения строительных работ в локальной смете и их группировка в разделы соответствуют технологической последовательности производства работ и учитывают специфические особенности отдельных видов строительства.

Объектная смета может быть составлена в текущем уровне на объект в целом путем суммирования данных локальных смет, с группировкой работ и затрат по соответствующим графам сметной стоимости «строительных работ», «монтажных работ», «оборудования, мебели и инвентаря», «прочих затрат». В данном случае стоимость объекта может быть опре-

делена по одной локальной смете и объектная смета не составляется. Поэтому роль объектной сметы выполняет локальная смета.

Сводный сметный расчет (ССР) составляется на основании локальной сметы и сметных расчетов, в тысячах рублей, данные из которых отображаются в столбиках сметной стоимости строительных работ и общей сметной стоимости.

Локальная и сводная сметы рассчитаны с помощью программы АВК-5 (3.0.8). Сумма на устройство армирующего слоя активной зоны грунтового массива по сводному сметному расчету составила 1 854 355 российских рубля.

Признанными в мировой практике основными показателями, которые аккумулируют выгоды от внедрения технических разработок и используются для оценки экономической эффективности проектов, являются: чистый дисконтированный доход (прибыль); индекс доходности (прибыльности); период окупаемости инвестиций в реализацию проекта.

Каждый из основных показателей эффективности может использоваться по определенному назначению, а именно:

- чистый дисконтированный доход наиболее рационально использовать для ранжирования инновационных предложений и выбора приоритетных проектов с точки зрения их эффективности;

- внутренняя норма доходности проекта представляет собой ожидаемый уровень доходности и используется для прогнозирования этого показателя, т. е. определяет границы безубыточности проекта;

- индекс доходности (коэффициент эффективности) указывает на уровень накопленной чистой прибыли, обусловленной единицей вложенных в проект средств.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают затраты и результаты, связанные с их реализацией, как коммерческого характера, так и те, что выходят за пределы прямых финансовых интересов участников создания и реализации проекта, в том числе эффект отраслей национальной экономики, элемент социального эффекта и другие составляющие эффективности, обусловленные нерыночной деятельностью субъектов внедрения научно-технических разработок.

Показатели общеэкономической эффективности проектов являются интегральными и отражают эффективность проекта с точки зрения интересов экономики страны, в том числе регионов страны, отраслей национальной экономики, организаций и предприятий.

Для расчета экономической эффективности устройства армирующего слоя дорожной конструкции определяются исходные данные (таблица 2).

Таблица 2 – Исходные данные для расчета экономической эффективности устройства армирующего слоя дорожной конструкции

Общие капитальные вложения в технологию и оборудование	559 044 руб.
В том числе на первом году реализации проекта	559 044 руб.
Затраты на изготовление образцов (5,78 %)	32 313 руб.
Сметная прибыль	3 395 руб.
Ставка дисконтирования	16 %
Срок реализации инвестиционного проекта	3 года
Цена единицы продукции	424 824 руб.
Общепроизводственные расходы	1541 руб.
Прямые затраты строительных работ	394 588 руб.

Результаты расчета:

- рентабельность реализации проекта составит 36 %, проект следует определить прибыльным;

- период окупаемости инвестиций составляет 2,8 года;

– точка безубыточности составляет 4,5 % и находится в пределах 32 %, что подтверждает надежность проекта.

### **Выводы**

1. Разработаны рекомендации по повышению прочности активной зоны грунтового массива за счет устройства армирующей геосинтетической прослойки. Для армирования выбран рулонный тканый геотекстиль на основе полиэфира «Геоспан ТН». Он отвечает всем требованиям, выдвигаемым к армирующему материалу, а также дополнительно выполняет роль разделительной прослойки.

2. Определена сметная стоимость устройства армирующего слоя активной зоны грунтового массива путем составления локальной сметы и сводного сметного расчета.

3. Установлено, что рентабельность реализации проекта составляет 36 %, а период окупаемости – 2,8 года. Определено, что точка безубыточности находится в пределах 32 % номинального объема производства. Это позволяет признать проект прибыльным и надежным.

### **Список литературы**

1. Матвеев, С. А. Влияние армирования на величину упругого прогиба дискретного основания дорожной одежды / С. А. Матвеев, Е. А. Мартынов, Н. Н. Литвинов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ). – 2017. – № 6(58) – С. 98–106.
2. Матвеев, С. А. Закономерности распределения напряжений в грунтовых основаниях внутрихозяйственных автомобильных дорог / С. А. Матвеев, Н. Н. Литвинов, Р. Е. Петров // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4(28) – С. 233–239.
3. Крицкий, М. Я. Усиление земляного полотна автомобильных дорог / М. Я. Крицкий, А. Л. Ланис // Новосибирск : СГУПС, 2013 – 180 с. – ISBN 978-5-93461-583-4.
4. Матвеев, С. А. Моделирование и расчет армированного основания из зернистых материалов / С. А. Матвеев, Е. А. Мартынов, Н. Н. Литвинов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 10(706) – С. 14–22.
5. Матвеев, С. А. Экспериментально-теоретические исследования армированного основания дорожной одежды / С. А. Матвеев, Е. А. Мартынов, Н. Н. Литвинов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ). – 2015. – № 4(44). – С. 80–86.
6. Ланис, А. Л. К вопросу повышения устойчивости земляного полотна армированием / А. Л. Ланис, К. В. Востриков // Труды XIII международной конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути». – Москва : МГУПС, 2016. – С. 185–188.
7. Павлющик, С. А. Оценка несущей способности нагруженных откосов и склонов методами предельного анализа пластических систем : специальность 05.23.02 «Основания и фундаменты, подземные сооружения» диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Павлющик Сергей Александрович ; Новочеркасск, 2011. – 141 с.
8. Дыба, П. В. Проблема расчета по первому предельному состоянию грунтовых массивов, укрепленных геосинтетическими материалами / П. В. Дыба // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений: материалы XII Международной научно-практической конференции, г. Новочеркасск, 30 октября 2012 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск, 2012. – С. 3–6.
9. Дыба, П. В. Предельное взаимодействие нагруженного грунтового массива с гибкой оболочкой / П. В. Дыба, В. П. Дыба // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений: материалы XII Международной научно-практической конференции, г. Новочеркасск, 30 октября 2012 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2012. – С. 6–12.

**А. В. Лисянец**

*Автомобильно-дорожный институт*

**ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка**

**Разработка технологии укрепления активной зоны земляного полотна  
автомобильной дороги**

Современные общепринятые принципы конструирования и расчета дорожных одежд не позволяют проектировать конструкцию, испытывающую только обратимые деформации, что приводит к образованию колеи на покрытии. Следствиями являются сокращение срока службы дорожной одежды, снижение безопасно-

сти движения и возрастание себестоимости автомобильных перевозок.

Статья посвящена исследованиям по регулированию процесса накопления остаточных деформаций в дорожной конструкции путем повышения прочности грунтового массива активной зоны, за счет введения армирующей геосинтетической прослойки.

В ходе исследования выбран материал для армирования активной зоны грунтового массива земляного полотна – рулонный тканый геотекстиль Геоспан ТН из прочных полиэфирных волокон, который также выполняет роль разделительной прослойки между слоями конструкции. Прочность грунтового массива повышается за счет увеличения несущей способности грунта и предотвращения неравномерных просадок. Армирующий материал имеет высокие показатели прочности на разрыв в продольном и поперечном направлениях и низкую деформативность, он морозостоек, устойчив к агрессивному воздействию грунтовых вод и ультрафиолетовому излучению.

В работе приведены характеристики выбранного геосинтетического материала. Разработана технология укладки армирующей прослойки, в том числе рассчитано необходимое количество материала, описан способ его укладки и выбраны средства для его транспортировки к месту укладки. Кроме того, приведена схема конструкции земляного полотна с уложенной армирующей прослойкой.

По результатам исследований выполнен расчет сметной стоимости устройства армирующего слоя, а именно составлена локальная смета и сводный сметный расчет. Определены показатели экономической эффективности проекта: рассчитана рентабельность реализации проекта, вычислен период окупаемости инвестиций, определена точка безубыточности. Полученные значения экономических показателей подтверждают прибыльность и надежность разработки.

**АРМИРОВАНИЕ, ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО, ГЕОТЕКСТИЛЬ, СМЕТНАЯ СТОИМОСТЬ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ**

*A. V. Lisianets*

*Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka*

**Technology Development for Active Zone Strengthening of the Highway Roadbed**

Modern generally accepted principles of the road pavement design and calculation do not allow designing a structure that experiences only reversible deformations, which leads to the formation of ruts on the surface. The consequences are a reduction in the service life of the pavement, a decrease in the traffic safety and an increase in the cost of the road transport.

The article is devoted to the research on the regulation of the accumulation process of residual deformations in the road structure by increasing the strength of the active zone soil massif, due to the introduction of the reinforcing geosynthetic layer.

In the course of the study, a material was selected for reinforcing the active zone of the soil massif of the subgrade – a roll woven geotextile Geospan TN made of durable polyester fibers, which also serves as a dividing layer between the structure layers. The strength of the soil massif is improved by increasing the bearing capacity of the soil and preventing uneven subsidence. The reinforcing material has high tensile strength in the longitudinal and transverse directions and low deformability, it is frost-resistant, resistant to aggressive groundwater and ultraviolet radiation.

The paper presents the characteristics of the selected geosynthetic material. The technology of the reinforcing layer laying is developed, namely, the required amount of material is calculated, the method of its laying is described, and the means for transporting it to the place of laying are selected. In addition, a diagram of the subgrade construction with a laid reinforcing layer is shown.

Based on the results of the research, the estimated cost of the reinforcing layer device is calculated, namely, a local estimate and a summary estimate calculation are drawn up. Indicators of the economic efficiency of the project are determined: the profitability of the project, the investment payback period are calculated, the break-even point is determined. The obtained values of economic indicators confirm the profitability and reliability of the development.

**REINFORCEMENT, ROAD BED, GEOTEXTILE, ESTIMATED COST, ECONOMIC EFFECT**

**Сведения об авторе:**

**А. В. Лисянец**

SPIN-код РИНЦ: 5360-8121

Телефон: +38 (071) 360-40-53

Эл. почта: annuta-3991@mail.ru

*Статья поступила 30.08.2021*

*© А. В. Лисянец, 2021*

*Рецензент: Т. В. Скрыпник, канд. техн. наук, доц. АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»*