

УДК 625.7/.8.05

5.2.3 Региональная и отраслевая экономика  
(экономические науки)

**ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ  
МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ  
СТРОИТЕЛЬСТВА ПЛАТНОЙ  
АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ «ГОРЯЧИЙ  
КЛЮЧ – АДЛЕР»**

Кравченко Алексей Евгеньевич  
д-р. экон. наук, канд. техн. наук, доцент, профессор  
SPIN-код: 8193-2669; Author ID: 355220; Scopus ID:  
57199698810; ID РИНЦ:355220; ORCID: 0000-0003-  
1192-0251; Researcher ID: ABA-3850-2021  
pupsan2003@mail.ru  
*Кубанский государственный технологический  
университет, Краснодар, Россия*

Фастовец Арина Александровна  
студентка 5 курса направления 08.05.01  
«Строительство уникальных зданий и  
сооружений», специалитет  
*Кубанский государственный технологический  
университет, Краснодар, Россия*

Реализация инвестиционных проектов строительства платных автомобильных дорог является одной из приоритетных задач по развитию сети автомобильных дорог в регионах Российской Федерации. Одним из факторов, повышающих экономическую эффективность строительства платных автомобильных дорог, является использование геосинтетических материалов в структуре конструктивных слоев дорожной одежды. В статье представлена классификация геосинтетических материалов для экономического обоснования выбора конструкций дорожной одежды платной автомобильной дороги. Рассчитаны различные варианты схем конструкций дорожной одежды, с целью оценки затрат на материалы при строительстве платной автомобильной дороги

Ключевые слова: ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ДОРОЖНАЯ КОНСТРУКЦИЯ, СЕТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, ОЦЕНКА, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-201-029>

UDC 625.7/.8.05

5.2.3 Regional and sectoral economics (economic sciences)

**JUSTIFICATION OF THE EFFECTIVENESS OF  
USING GEOSYNTHETIC MATERIALS ON THE  
EXAMPLE OF THE TOLL ROAD  
CONSTRUCTION «GORYACHIIY KLUCH –  
ADLER»**

Kravchenko Alexey Evgenievich  
Doctor of Economics Sciences, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor  
RSCI SPIN-code: 8193-2669; Author ID: 355220; Scopus ID: 57199698810; ID RSCI:355220; ORCID: 0000-0003-1192-0251; Researcher ID: ABA-3850-2021  
pupsan2003@mail.ru  
*Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia*

Fastovets Arina Alexandrovna  
5th year student of the direction  
08.05.01 "Construction of unique buildings and structures", specialist degree  
*Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia*

The implementation of investment projects for the construction of toll roads is one of the priorities for the development of the highway network in the regions of the Russian Federation. One of the factors that increase the economic efficiency of the construction of toll roads is the use of geosynthetic materials in the structure of the structural layers of the pavement. The article presents the classification of geosynthetic materials for the economic justification of the choice of pavement structures of a toll highway. Various variants of the pavement design schemes have been calculated in order to estimate the cost of materials during the construction of a toll highway

Keywords: GEOSYNTHETIC MATERIALS, ROAD CONSTRUCTION, ROAD NETWORK, ASSESSMENT, ECONOMIC EFFICIENCY

**Введение.** Реализация инвестиционных проектов строительства платных автомобильных дорог является одной из приоритетных задач по

<http://ej.kubagro.ru/2024/07/pdf/29.pdf>

развитию сети автомобильных дорог в регионах Российской Федерации. Строительство платных автомобильных дорог предусматривает различные варианты проектирования конструкций дорожных одежд, отвечающих требованиям нормативных документов и экономической эффективности, в части сокращения расходов на дорожно-строительные материалы и снижения трудоемкости производства дорожных работ. Одним из факторов, повышающих экономическую эффективность строительства платных автомобильных дорог, является использование геосинтетических материалов в структуре конструктивных слоев дорожной одежды, особенно на участках дорог, проходящих в сложных гидрогеологических условиях строительства (рисунок 1) [1].

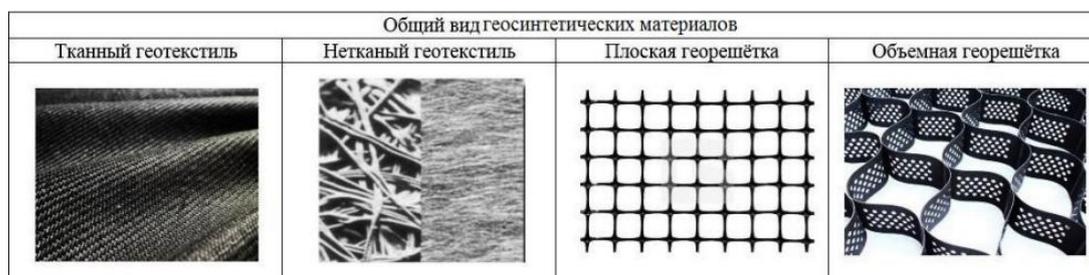


Рисунок 1 – ГСМ: типы и визуализация

В зависимости от структуры материала, технологии изготовления и назначения, авторами предлагается классифицировать ГСМ в соответствии со схемой, представленной на рисунке 2.

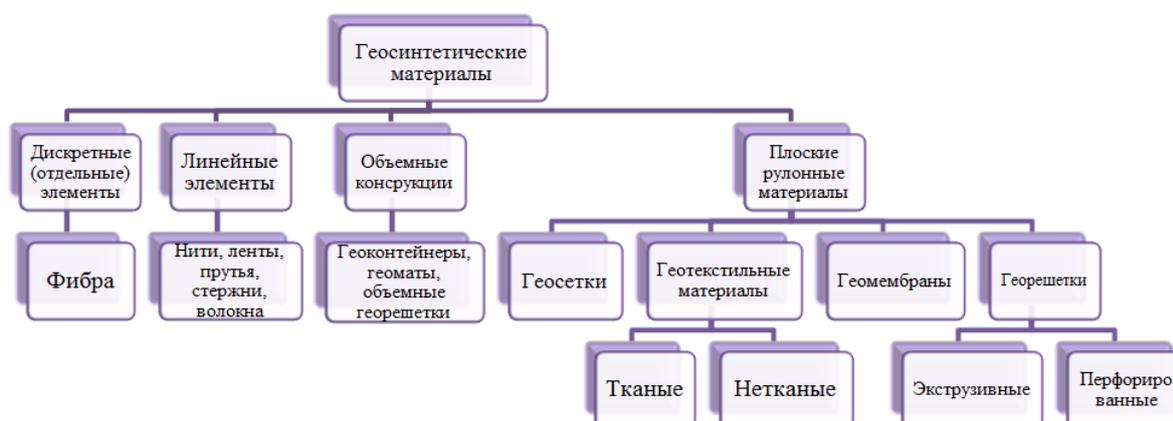
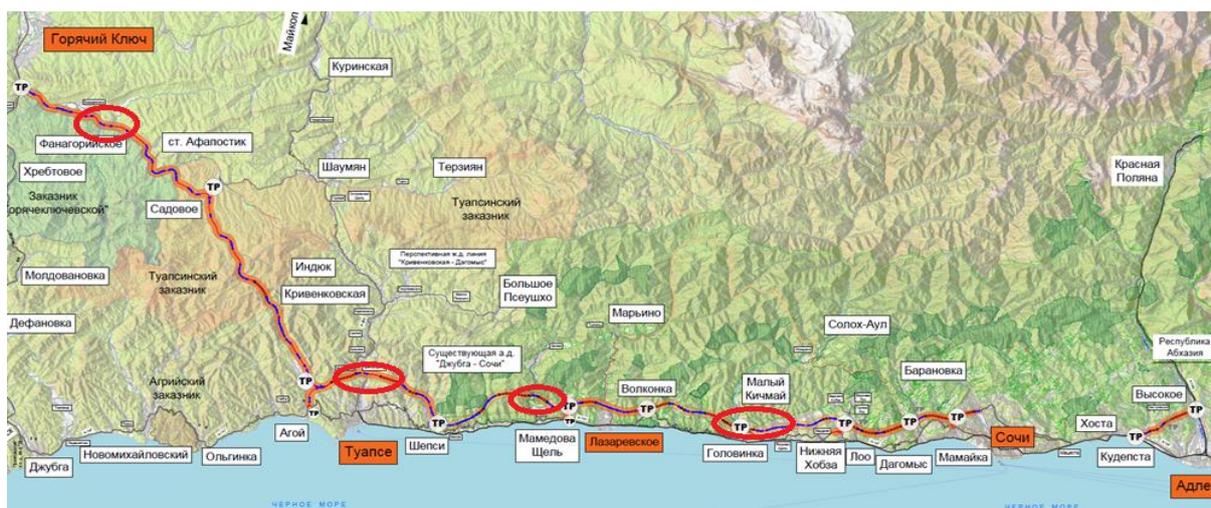


Рисунок 2 – Классификация ГСМ

Основными из ГСМ, которые используются при строительстве автомобильных дорог, являются георешетки, геомембраны, геотекстиль и геосетки. Они выполняют различные функции в конструкциях дорожных одежд и земляного полотна, а именно: георешетки обеспечивают защитную и армирующую функции; геомембраны обеспечивают гидроизолирующую функции; геотекстиль выполняет разделяющую и фильтрующую функции; геосетки выполняют разделительную функцию, исключая возможность смешивания конструктивных слоев.

Целевым ориентиром использования ГСМ является не только увеличение жизненного цикла автомобильных дорог, но и снижение материальных затрат и объёмов работ при их строительстве. Кроме того, ГСМ обеспечивают функциональную надежность конструкций дорожных одежд для сложных гидрогеологических условий (структурно-неустойчивые и переувлажнённые грунты и др.) строительства и последующей эксплуатацией автомобильной дороги. Примером может служить перспективная платная автомобильная дорога «Горячий ключ – Адлер» (рисунок 3), с соответствующими технико-эксплуатационными характеристиками, и характеризующаяся сложными гидрогеологическими условиями строительства [2].



Красным выделены потенциальные участки, характеризующиеся сложными гидрогеологическими условиями строительства (слабый грунт)

Рисунок 3 – Платная автомобильная дорога «Горячий Ключ – Адлер»

Основные технико-эксплуатационные характеристики платной автомобильной дороги «Горячий Ключ – Адлер»:

- Категория дороги: II;
- Расчётная скорость движения: 100 (60) км/ч;
- Количество полос движения: 4;
- Протяженность дороги: 177 км;
- Искусственные сооружения: 116 мостовых сооружений, 14 транспортных развязок, 27 тоннелей, 7 из которых сооружены щитовым способом.

Данные о характеристике слабых грунтов на перспективной платной автомобильной дороге «Горячий ключ – Адлер» потенциально можно получить в ходе подготовительных исследований и использования программы инженерных изысканий, общая схема которых представлена на рисунке 4 [3].



Рисунок 4 – Программа проведения инженерных изысканий

Подготовительные исследования, как правило, включают в себя анализ и изучение: проектной и исполнительной документации, паспорта дороги, результатов диагностики и визуального осмотра дороги (для существующей дороги).

Так как реализация инвестиционного проекта предусматривает новое строительство перспективной платной автомобильной дороги «Горячий ключ – Адлер», то подготовительные исследования, в данном случае, ограничивались анализом и изучением только проектной и исполнительной документации, в части: установления применявшихся общетехнических и специальных решений по возведению земляного полотна на слабых основаниях, в том числе, с применением местных грунтов; выявления отклонений от проектных решений, допускавшиеся при устройстве земляного полотна и способные оказывать влияние на работоспособность и надежность конструкции дорожных одежд; установления ключевых факторов, влияющих на принятие проектных решений по возведению земляного полотна в сложных гидрогеологических условиях строительства, в том числе с использованием ГСМ и др.

В дополнение к подготовительным исследованиям, для целей более объективной оценки, разрабатывается также специальная программа и проводится комплекс инженерных изысканий, включающий в себя: топоъемку участка строительства, инженерно-геологические исследования и лабораторные (полевые и стационарные) исследования, проводимые для анализа и оценки показателей состава, состояния и механических свойств грунтов (основными параметрами для оценки являются: сжимаемость, сопротивляемость сдвигу, скорость уплотнения, показатели плотности грунта). На основании полученных результатов инженерно-геологических исследований составляется (проектируется) модель (поперечный профиль) земляного полотна для сложных гидрогеологических условий строительства автомобильной дороги с использованием ГСМ. Пример использования ГСМ (тканый геотекстиль) при возведении земляного полотна в сложных гидрогеологических условиях строительства автомобильной дороги (структурно-неустойчивые и переувлажнённые грунты и др.) показан на рисунке 5.

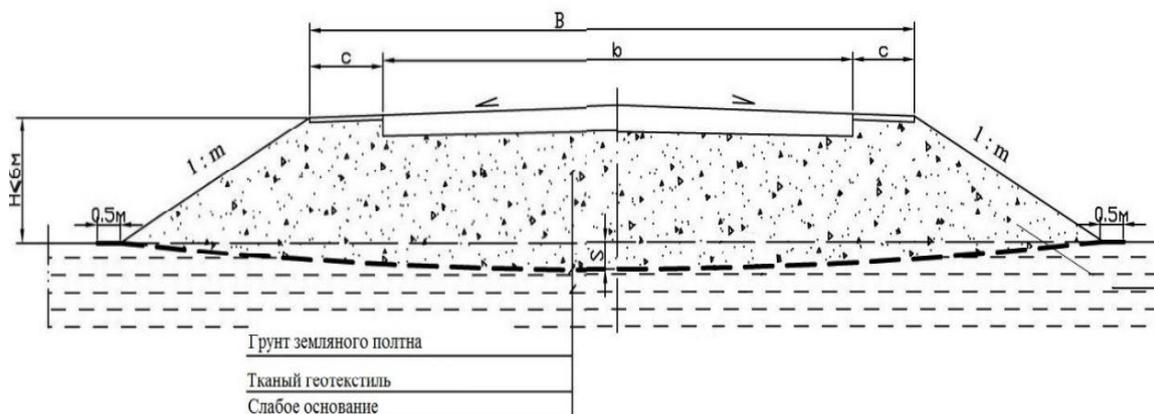


Рисунок 5 – Модель поперечного профиля земляного полотна для сложных условий строительства автомобильной дороги с использованием ГСМ: В – ширина насыпи; b – ширина проезжей части; c – ширина обочин; m – заложение откоса; H – проектная высота насыпи; S – величина осадки

Аналогичным образом, при устройстве слоев дорожной одежды, в качестве горизонтального дренажа, после соответствующего экономического обоснования, допускается, также, применение ГСМ [4].

Для оценки периода окупаемости инвестиций в строительство платной автомобильной дороги с учётом применения ГСМ в конструкциях дорожных одежд авторами разработана система уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} PP = \frac{W_{mc}^{расх}}{W_{од}^{доход}} \\ PP^{ГСМ} = \frac{(W_{mc}^{расх} - \omega^{ГСМ})}{W_{од}^{доход}}, \end{array} \right.$$

где  $PP$  – период окупаемости проекта без применения ГСМ;

$PP^{ГСМ}$  – период окупаемости проекта с применением ГСМ;

$W_{tc}^{расх}$  – инвестиции в строительство;

$W_{од}^{доход}$  – доходы от эксплуатации объекта строительства;

$\Delta\omega^{ГСМ}$  – экономия затрат на строительство за счет применения ГСМ.

Оценка экономической эффективности применения ГСМ при строительстве платной автомобильной дороги «Горячий Ключ – Адлер» авторами была произведена на примере расчетов 3-х вариантов конструкций дорожной одежды (рисунок 6 – 8), что позволяет, в сравнении, осуществить выбор оптимальной конструкции в стоимостном выражении.

№ варианта	Наименование слоев и материалов конструкции дорожной одежды	Схема конструкции дорожной одежды. Толщина, см	Общий модуль упругости на поверхности слоев, МПа	Расчётные характеристики						
				Упругий прогиб, МПа	Сдвиг, МПа	Изгиб, МПа				
Вариант № 1	1. Конструктивный слой № 1 — Щебёночно-мастичный асфальтобетон марка битума БНД 50/70, с максимальным размером зёрен 16 мм		Елов = 343	Еупр = 4400 Ктр = 1,080 Красч = 1,690 Запас = 59%	Есдв = 3050	Еизг = 6450 Ктр = 0,940 Красч = 1,797 Запас = 91%				
	2. Конструктивный слой № 2 — Щебень чёрный для оснований устроенный по способу пропитки вязким битумом и битумной эмульсией						Елов = 239	Еупр = 400	Есдв = 400	Еизг = 400
	3. Конструктивный слой № 3 — Щебень фракционированный 40, 80 (80, 120) мм легкоуплотняемый с заклинкой фракционированным мелким щебнем						Елов = 191	Еупр = 450	Есдв = 450	Еизг = 450
	4. Конструктивный слой № 4 — Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%						Елов = 108	Еупр = 120	Есдв = 120 Ктр = 0,940 Красч = 1,570 Запас = 67%	Еизг = 120
	Грунт земляного полотна — Материал						Елов = 600	Еупр = 600	Есдв = 600 Ктр = 0,940 Красч = 0,960 Запас = 2%	

Рисунок 6 – Вариант №1 – Дорожная одежда без укрепления ГСМ

Стоимость материалов для устройства одного километра дорожной одежды (рисунок 6), при строительстве платной автомобильной дороги, составит 30.360.000 рублей (в ценах 2024 года).

№ варианта	Наименование слоев и материалов конструкции дорожной одежды	Схема конструкции дорожной одежды. Толщина, см	Общий модуль упругости на поверхности слоев, МПа	Расчётные характеристики						
				Упругий прогиб, МПа	Сдвиг, МПа	Изгиб, МПа				
Вариант № 2	1. Конструктивный слой № 1 — Щебёночно-мастичный асфальтобетон марка битума БНД 50/70, с максимальным размером зёрен 16 мм		Елов = 351	Еупр = 4400 Ктр = 1,080 Красч = 1,530 Запас = 44%	Есдв = 3050	Еизг = 6450 Ктр = 0,940 Красч = 1,694 Запас = 80%				
	2. Конструктивный слой № 2 — Щебень чёрный для оснований устроенный по способу пропитки вязким битумом и битумной эмульсией						Елов = 253	Еупр = 400	Есдв = 400	Еизг = 400
	3. Конструктивный слой № 3 — Щебень фракционированный 40, 80 (80, 120) мм легкоуплотняемый с заклинкой фракционированным мелким щебнем — Обезымянная ворсетчатая марля Геофлас 50 мм 170х170						Елов = 191	Еупр = 450	Есдв = 450	Еизг = 450
	4. Конструктивный слой № 4 — Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%						Елов = 108	Еупр = 120	Есдв = 120 Ктр = 0,940 Красч = 1,300 Запас = 38%	Еизг = 120
	— Полотно тканое геотекстильное Геомакс 100/60 Грунт земляного полотна — Материал						Елов = 600	Еупр = 600	Есдв = 600 Ктр = 0,940 Красч = 0,620 Запас = 4%	

Рисунок 7 – Вариант №2 – Дорожная одежда с укреплением ГСМ

Стоимость материалов для устройства одного километра дорожной одежды (рисунок 7), при строительстве платной автомобильной дороги, составит 28.770.000 рублей (в ценах 2024 года).

№ варианта	Наименование слоёв и материалов конструкции дорожной одежды	Схема конструкции дорожной одежды. Толщина, см	Общий модуль упругости на поверхности слоёв, МПа	Расчётные характеристики		
				Упругий прогиб, МПа	Сдвиг, МПа	Изгиб, МПа
Вариант №3	1. Конструктивный слой № 1 — ЩМА на битумном вяжущем PG 46-У, с максимальным размером зёрен 16 мм		Епов = 304	Еупр = 2600	Есдв = 1400	Еизг = 4500
	Ктр = 1,080			Ктр = 0,940		
	2. Конструктивный слой № 2 — Щебень чёрный для оснований устроенный по способу пропитки вязким битумом и битумной эмульсией		Епов = 241	Еупр = 400	Есдв = 400	Еизг = 400
	3. Конструктивный слой № 3 — Щебень фракционированный 31,5, 45 (45, 63) мм легкоуплотняемый с заклинкой фракционированным мелким щебнем		Епов = 211	Еупр = 450	Есдв = 450	Еизг = 450
	4. Конструктивный слой № 4 — Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%		Епов = 108	Еупр = 120	Есдв = 120	Еизг = 120
	5. Конструктивный слой № 5 — Грунтоцемент марка прочности 60 из супесчаных и суглинистых грунтов (смещение на месте) для искусственных оснований жестких покрытий		Епов = 1113	Еупр = 2200	Есдв = 2200	Еизг = 2200
Грунт земляного полотна — Материал	Епов = 600	Еупр = 600	Есдв = 600	Еизг = 600		
			Ктр = 0,940	Ктр = 0,940	Ктр = 0,940	Ктр = 0,940
			Красч = 1,500	Красч = 1,200	Красч = 1,230	Красч = 1,490
			Запас = 42%	Запас = 28%	Запас = 2033%	Запас = 59%
				Запас = 31%		Запас = 2033%

Рисунок 8 – Вариант №3 – Дорожная одежда, укрепленная цементом

Стоимость материалов для устройства одного километра дорожной одежды (рисунок 8), при строительстве платной автомобильной дороги, составит 29.850.000 рублей (в ценах 2024 года).

Таким образом, строительство платной автомобильной дороги за счет применения ГСМ является экономически обоснованным, так как обеспечивается снижение расходов на возведение дорожной одежды на 15-25 %, с сохранением долговечности и функциональной надёжности автомобильной дороги.

В целом, предполагаемая стоимость строительства платной автомобильной дороги «Горячий Ключ – Адлер» составит 1,5 трлн. рублей (в ценах 2024 года). Финансирование инвестиционного проекта платной автомобильной дороги будет обеспечено посредством механизма государственно-частного партнерства.

**Библиографический список:**

1. Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог. – М.: ФГУП «Информавтодор», 2003. -152 с.
2. СТО НОСТРОЙ 2.5.135 – 2013 «Укрепление слабых грунтов органического происхождения методом глубинного смешивания» - М.: Союз предприятий строительной индустрии Свердловской области, 2015. – 26 с.
3. ОДМ 218.4.4.002-2020 «Методические рекомендации по использованию существующих насыпей из слабых и обводненных грунтов при реконструкции автомобильных дорог» – М.: ФГУП «Информавтодор», 2020. – 90 с.
4. ОДМ 218.2.055 – 2015 «Рекомендации по расчету дренажных систем дорожных конструкций» - М.: ФГБУ «РОСДОРНИИ», 2015. – 83 с.

**References:**

1. Rekomendatsyi po primeneniю geosinteticheskikh materialov pri stroitel'stve i remonte avtomobil'nykh dorog. – М.: FGUP “Informavtodor”, 2003. -152 s.
2. STO NOOSTROY 2.5.135 – 2013 «Ukreplenie slabikh gruntov organicheskogo proischogdenia metodom glubinnogo smechivania» - М.: Souz predpriyatiy stroitel'noi industrii Sverdlovskoy oblasti, 2015. – 26 s.
3. ODM 218.4.4.002-2020 «Metodicheskie rekomendatsii po ispol'zovaniю suchestvuuchich nasipey iz slabich i obvodnennykh gruntov pri reconstructsii avtomobil'nykh dorog » – М.: FGBU «ROSDORNII», 2020. -90 s.
4. ODM 218. 2.055 – 2015 «Rekomendatsii po raschetu drenagnykh sistem dorognykh konstruktсий» – М.: FGBU «ROSDORNII», 2015. -83 s.