

**ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО
КОМПЛЕКСА/TECHNOLOGIES, MACHINES AND EQUIPMENT FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX**

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.8>

УСИЛЕНИЕ ПОКРЫТИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОРОГ

Научная статья

Павликов А.Б.^{1,*}, Алексеева И.Д.²

¹ORCID : 0000-0002-2212-9281;

²ORCID : 0000-0001-5498-0401;

^{1,2}Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (012429[at]togudv.ru)

Аннотация

В статье рассматриваются актуальные проблемы снижения несущей способности и повышенного износа покрытий сельскохозяйственных дорог. Выделены основные факторы разрушения покрытия такие как движения большегабаритной сельскохозяйственной и специальной техники, а также внешние факторы изменения прочности вследствие сезонных изменений влажности. Представлены методы усиления покрытий, включающие использования различных вяжущих при укреплении грунтов. Рассмотрены преимущества и недостатки каждого метода, а также предложены комплексные решения для снижения негативного воздействия на окружающую среду и улучшения условий эксплуатации дорог. Результаты исследований позволяют говорить об эффективности применения местных грунтов, укрепленных комплексным вяжущим для создания прочного и водостойкого покрытия, а также расширения возможностей эксплуатации существующих дорожных конструкций.

Ключевые слова: дорога, покрытие, цементогрунт, комплексное вяжущее, прочность.

REINFORCEMENT OF AGRICULTURAL ROAD SURFACES

Research article

Pavlikov A.B.^{1,*}, Alekseeva I.D.²

¹ORCID : 0000-0002-2212-9281;

²ORCID : 0000-0001-5498-0401;

^{1,2}Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

* Corresponding author (012429[at]togudv.ru)

Abstract

The article discusses the current problems of reducing the load-bearing capacity and increased wear of agricultural road surfaces. The main factors of coating destruction, such as movements of large-sized agricultural and special equipment, as well as external factors of strength changes due to seasonal changes in humidity, are highlighted. Methods of coating reinforcement are presented, including the use of various binders for soil reinforcement. The advantages and disadvantages of each method are considered, as well as comprehensive solutions are proposed to reduce the negative impact on the environment and improve road operating conditions. The research results suggest the effectiveness of using local soils reinforced with a complex binder to create a durable and water-resistant coating, as well as expand the possibilities of using existing road structures.

Keywords: road, coating, cement grunt, complex binder, strength.

Введение

Сельскохозяйственные дороги являются важной составляющей транспортной инфраструктуры агропромышленного комплекса нашей страны. Они обеспечивают связь между полями, хранилищами, перерабатывающими предприятиями и основными транспортными магистралями. В подавляющем большинстве случаев эти объекты имеют дорожное покрытие из неукрепленных грунтов и щебеночных материалов, что обуславливает их сокращенный срок службы [1].

Особенностью таких дорог является их высокая подверженность разрушению под воздействием колёсной нагрузки, особенно в период повышенной влажности или при высокой интенсивности движения [2]. Изменение влажности приводит к образованию дефектов (колея, просадки и пр.), что приводит к снижению эксплуатационного качества.

В современных условиях всё больше внимания уделяется методам повышения прочности дорожных конструкций с использованием местных материалов и экономически обоснованных проектных решений. Одним из наиболее распространенных решений является применение укрепленных грунтов для устройства усиленных слоёв дорожной одежды. Эти материалы позволяет значительно повысить эксплуатационные показатели покрытия за счёт улучшения физико-механических свойств [3], [4].

Целью настоящего исследования является разработка решений по усилению покрытий сельскохозяйственных дорог с использованием укрепленных грунтов, для повышения их прочности и водонепроницаемости.

Общие положения

Согласно [5], сельскохозяйственные дороги можно отнести к дорогам V категории, для пропуска специализированной техники. Для покрытий данных категорий подходят грунты, укрепленные или улучшенные различными скелетными добавками или местными вяжущими.

В районах сельскохозяйственной инфраструктуры, где нет каменных материалов, возникает необходимость в перевозках щебня, гравия, песка за сотни километров автомобильным транспортом, что удорожает их первичную стоимость в 3–4 раза и более. Данное обстоятельство является главной причиной значительного удорожания дорожного строительства и замедления темпов производства работ, к тому же разработка карьеров приводит к нарушению экологического равновесия окружающей среды. Как показали результаты многолетних исследований дорожных институтов, а также практический опыт проектирования и строительства, денежные и материальные затраты могут быть значительно снижены, если для устройства дорожных одежд вместо каменных материалов применять местные грунты [6], [7].

Сельскохозяйственные дороги, как правило, возводятся из супесей и суглинков. Из-за воздействия природных факторов ежегодно требуется ремонтировать до 20–30% дорожного покрытия. Поскольку прочность грунта и несущая способность дорожной конструкции в период распутицы снижаются, а сельскохозяйственные работы остановить нельзя, необходимо предусмотреть мероприятия по повышению прочности, однородности и водонепроницаемости дорожной конструкции, чтобы увеличить срок её службы.

В настоящее время наиболее широко применяются следующие виды укрепленных материалов для усиления покрытий дорожных одежд:

1. Устройство слоев дорожных одежд из грунтов, укрепленных органическим вяжущим.

Для устройства слоев дорожной одежды из грунта, укрепленного органическим вяжущим, могут использоваться следующие материалы: осадочные нецементированные крупнообломочные и песчаные грунты, супеси всех разновидностей, песчаные грунты, легкие суглинки, песчано-гравийные и песчано-щебеночные смеси (тяжелые суглинки и глины также используются, но при условии предварительного размельчения и равномерного распределения вяжущего).

В данном методе укрепления применяют жидкие нефтяные битумы, вязкие битумы, битумные эмульсии (не применяется для тяжелых суглинков и глин). Использование вяжущего подбирается индивидуально под состав грунта [8].

2. Устройство слоев дорожных одежд грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими.

Одним из наиболее эффективных, дешевых и универсальных методов укрепления считается применение цемента. Введение цемента придает грунтам требуемые физико-механические свойства, как и в других цементосодержащих материалах. Цементогрунт — композиционный материал, состоящий из следующих базовых элементов: грунт (природное или техногенное происхождение), вяжущее, модификатор и вода. В качестве вяжущего используют портландцемент. Следует отметить, что физико-механические свойства цементогрунтов зависят от свойств каждого компонента в отдельности, соотношения между ними, а также от технологии производства работ по изготовлению цементогрунтовой смеси. Грунты с малым содержанием цемента, не придающего требуемой прочности — «цементомодифицированным материалом» [9], [10].

Устройство покрытий из укрепленных грунтов может осуществляться одним из следующих методов:

1. Смешение грунта на дороге.

2. Смешение грунта в грунтосмесительной установке с дальнейшей доставкой на дорогу.

3. Производство укрепленного грунта на существующем асфальтобетонном заводе (с частичным переоборудованием рабочей системы).

Для достижения поставленной цели требуется рассматривать проблему со всех сторон и применять комплексное вяжущее для укрепления грунтов. За счет использования комплексного вяжущего повышаются такие физико-механические свойства, как плотность и прочность (неорганическое вяжущее обеспечивает жесткость и сопротивление статическим нагрузкам, тогда как органическое вяжущее добавляет эластичность, необходимую для сопротивления динамическим нагрузкам); устойчивость к влаге (органическое вяжущее обладает водоотталкивающими свойствами, что защищает укрепленный грунт от проникновения влаги), это предотвращает размывание и эрозию грунта даже в условиях повышенной влажности; эластичность (органическое вяжущее придает грунту эластичности, что позволяет ему выдерживать небольшие деформации без разрушения) [11].

Методы и принципы исследования

Методы создания прочного слоя покрытия заключается в укреплении грунта — повышение физико-механических свойств за счет обработки органическими, минеральными или комплексными вяжущими. Данное исследование направлено на повышение прочности и водостойкости покрытия из разработанного материала [12], [13].

Технологию производства работ по устройству покрытия можно поделить на следующие этапы:

1. Подготовительный этап (проектируем состав укрепленного грунта исходя из вида и состава грунта, условий эксплуатации дорожного покрытия).

2. Подвоз, распределение и планировка грунта.

3. Увлажнение слоя поливовой машиной.

4. Распределение неорганического вяжущего (цемент распределяется цементораспределителем).

5. Перемешивание грунта и цемента, с одновременным вводом органического вяжущего (данный этап выполняется с помощью ресайклера; работы данного пункта можно производить навесными дорожными фрезами с предварительным распределением органического вяжущего).

6. Уплотнение готовой смеси (осуществляется последовательно рядом катков, от легкого до тяжелого в целях обеспечения оптимальной плотности смеси и предотвращения образования излишних пустот).

7. Для набора прочности цемента требуется уход. Он, в свою очередь, необходим для поддержания оптимальной влажности слоя на протяжении первых 14 суток.

Для оценки прочности конструкции был взят грунт, который можно использовать для покрытий — суглинок легкий песчанистый. Данный материал был предварительно испытан в лаборатории на соответствие актуальным нормативным документам. В ходе исследования было испытано 5 составов укрепленного грунта:

- состав № 1 — суглинок, укрепленный 10% цемента М400;
- состав № 2 — суглинок, укрепленный 10% цемента М400 в сочетании с 7% битума нефтяного дорожного БНД 100/130;
- состав № 3 — суглинок, укрепленный 10% цемента М400 в сочетании с 7% битума нефтяного дорожного БНД 100/130 (разжижен керосином в соотношении 1 к 5);
- состав № 4 — суглинок, укрепленный 10% цемента М400 в сочетании с 7% модифицированного битума нефтяного дорожного БНД 100/130 (разжижен керосином в соотношении 1 к 5), (битум модифицирован добавкой на основе термоэластопластов);
- состав № 5 — суглинок, укрепленный 10% цемента М400 с частичной заменой минеральной части состава на пластиковые частицы (3%).

Состав № 1 является контрольным, а составы № 2, № 3, № 4, № 5 — экспериментальными.

Основные результаты

В лабораторных условиях в соответствии с требованием [7] определялся такой параметр, как прочность на сжатие (в водонасыщенном и естественном видах).

Для проведения испытаний на сжатие изготовлены образцы-цилиндры диаметром 50 мм и высотой 50 ± 2 мм. Испытания проводились на прессе с предельной нагрузкой 100 кН. Результаты исследований представлены в таблице 1 и рисунке 1.

Таблица 1 - Результаты определения прочностных характеристик укрепленных грунтов

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.8.1>

Наименование	Предел прочности на сжатие в естественном состоянии, МПа	Предел прочности на сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа	Падение прочности в водонасыщенном состоянии, %
Состав № 1	6,15	3,04	50,6
Состав № 2	2,29	1,56	31,9
Состав № 3	2,43	2,11	13,2
Состав № 4	2,46	1,92	22,0
Состав № 5	4,12	2,16	47,6

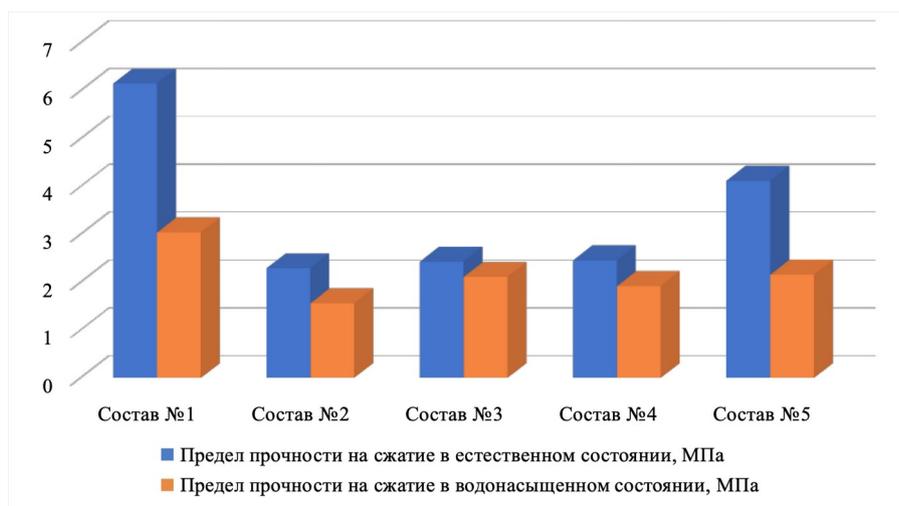


Рисунок 1 - Сравнение прочностей материалов

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.61.8.2>

По итогам проведенного исследования можно сделать следующие выводы: составы без использования органического вяжущего показывают приоритетные значения по показателю прочность на сжатие в естественном состоянии по сравнению с остальными, но при водонасыщении данные составы практически полностью теряют прочность. В составах № 1 и № 5 падение прочности составило 50,6% и 47,6% соответственно. Минимальное падение прочности составило 13,2% в составе № 3. Это связано с тем, что разжиженный битум равномерно распределился по смеси и полностью закрыл свободные поры. Следовательно, для усиления покрытий сельскохозяйственных дорог

следует использовать состав № 3, как самый перспективный из испытанных, исходя из сохранности прочности. Снижение прочности грунтов, укрепленных цементом, происходит из-за выщелачивания вяжущего вещества, что приводит к нарушению целостности конструкции. Несмотря на это, прочность водонасыщенных грунтов, укрепленных комплексным вяжущим, будет выше, поскольку после переувлажнения такая конструкция менее подвержена потере прочности. Следовательно, подобные сооружения более долговечны.

Заключение

В результате выполненного исследования было выявлено, что использование укрепленных грунтов комплексным вяжущим для усиления покрытий дорожных одежд существенно упрощает производство работ без снижения прочности. Полученные данные позволяют сформулировать тенденции по применению ряда материалов для усиления покрытий сельскохозяйственных дорог.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

- СП 99.13330.2016. Внутрихозяйственные автомобильные дороги в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях и организациях. СНиП 2.05.11-83. Утв. Приказом Минстроя России от 30 декабря 2016 г. № 1029/пр. — Введ. 2017-07-01. — URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/13672/> (дата обращения: 12.07.2025).
- Каменчуков А.В. Пути совершенствования дорог сельскохозяйственного назначения / А.В. Каменчуков, А.А. Михайлов // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения : международный сборник научных трудов. — Хабаровск : Тихоокеанский государственный университет, 2017. — Т. 17. — С. 78–82.
- Евсеева Е.А. Цементогрунт для дорожного строительства / Е.А. Евсеева, Н.А. Кречко, Ю.В. Шагойко // Инновационные технологии и образование : материалы международной научно-практической конференции : в 2 ч. — Минск : Белорусский национальный технический университет, 2022. — Ч. 1. — С. 250–253.
- Марков Л.А. Улучшение свойств грунтов поверхностно-активными и структурообразующими веществами / Л.А. Марков. — Москва : Автотрансиздат, 1963. — 176 с.
- СП 34.13330.2021. Автомобильные дороги. СНиП 2.05.02-85. Утв. Приказом Минстроя России от 9 февраля 2021 г. № 53/пр. — Введ. 2021-08-10. — URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/119239/> (дата обращения: 14.07.2025).
- Булдаков С.И. Технология устройства основания автомобильной дороги с применением цементогрунта / С.И. Булдаков, С.А. Мурзич // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог : сборник научных трудов ОАО «ГИПРОДОРНИИ». — 2014. — № 5 (64). — С. 62–66.
- Безрук В.М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве / В.М. Безрук. — Москва : Транспорт, 1971. — 248 с.
- Лыщик П.А. Укрепление дорожных грунтов битумной эмульсией / П.А. Лыщик, Е.И. Бавбель, А.И. Науменко [и др.] // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. — 2018. — № 2 (210). — С. 168–173.
- Чубцов В.Ф. Оценка надежности работы автомобильных дорог с основаниями из цементогрунтов в условиях Дальнего Востока / В.Ф. Чубцов // Новые идеи нового века : материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. — 2010. — Т. 2. — С. 252–256.
- Куюков С.А. Комплексный подход к повышению долговечности цементогрунтового основания / С.А. Куюков, Д.А. Гензе, В.В. Шматок [и др.] // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. — 2019. — № 4. — С. 80–89. — DOI: 10.15593/24111678/2019.04.10.
- Егоров Г.В. Укрепление местных грунтов стабилизатором при строительстве автомобильных дорог в условиях Севера / Г.В. Егоров, А.В. Андреева, О.Н. Буренина // Дороги и мосты. — 2013. — № 1 (29). — С. 21–28.
- ГОСТ Р 70452-2022. Грунты стабилизированные и укрепленные неорганическим вяжущим. — Введ. 2022-11-30. — Москва : Российский институт стандартизации, 2022. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200194390> (дата обращения: 12.07.2025).
- Худайкулов Р.М. Укрепление земляного полотна автомобильных дорог с применением цемента / Р.М. Худайкулов, Т.Л. Мирзаев // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. — 2019. — № 1 (38). — С. 7–11.

Список литературы на английском языке / References in English

- SP 99.13330.2016. Vnutrihozyajstvennyye avtomobil'nye dorogi v kolhozah, sovhozah i drugih sel'skohozyajstvennykh predpriyatiyah i organizacijah [SP 99.13330.2016. Intra-farm roads in collective farms, state farms and other agricultural enterprises and organizations]. SNiP 2.05.11-83. Approved by the Order of the Ministry of Construction of the Russian Federation dated December 30, 2016 № 1029/pr. — Introd. 2017-07-01. — URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/13672/> (accessed: 12.07.2025). [in Russian]

2. Kamenchukov A.V. Puti sovershenstvovaniya dorog sel'skokhozyajstvennogo naznacheniya [Ways to improve agricultural roads] / A.V. Kamenchukov, A.A. Mikhailov // *Dal'nij Vostok. Avtomobil'nye dorogi i bezopasnost' dvizheniya* [Far East. Highways and traffic safety] : international collection of scientific papers. — Khabarovsk : Pacific National University, 2017. — Vol. 17. — P. 78–82. [in Russian]
3. Evseeva E.A. Cementogrunn dlya dorozhnogo stroitel'stva [Cement soil for road construction] / E.A. Evseeva, N.A. Krechko, Yu.V. Shagojko // *Innovacionnye tekhnologii i obrazovanie* [Innovative technologies and education] : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference : in 2 parts. — Minsk : Belarusian National Technical University, 2022. — Part 1. — P. 250–253. [in Russian]
4. Markov L.A. Uluchshenie svoystv gruntov poverkhnostno-aktivnymi i strukturoobrazuyushchimi veshchestvami [Improving the properties of soils with surfactants and structure-forming substances] / L.A. Markov. — Moscow : Avtotransizdat, 1963. — 176 p. [in Russian]
5. SP 34.13330.2021 Avtomobil'nye dorogi [Highways]. SNiP 2.05.02-85. Approved by the Order of the Ministry of Construction of the Russian Federation dated February 9, 2021 № 53/pr. — Introd. 2021-08.10. — URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/119239/> (accessed: 14.07.2025). [in Russian]
6. Buldakov S.I. Tekhnologiya ustrojstva osnovaniya avtomobil'noj dorogi s primeneniem cementogrunta [Highway roadbed technology using soil cement] / S.I. Buldakov, S.A. Murchik // *Aktual'nye voprosy proektirovaniya avtomobil'nykh dorog* [Current issues of road design] : collection of scientific papers of JSC "GIPRODORNII". — 2014. — № 5 (64). — P. 62–66. [in Russian]
7. Bezruk V.M. Ukreplenie gruntov v dorozhnom i aerodromnom stroitel'stve [Soil stabilization in road and airfield construction] / V.M. Bezruk. — Moscow : Transport, 1971. — 248 p. [in Russian]
8. Lyshchik P.A. Ukreplenie dorozhnykh gruntov bitumnoj emul'siej [Strengthening of road soils with bitumen emulsion] / P.A. Lyshchik, E.I. Baybel, A.I. Naumenko [et al.] // *Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe khozyajstvo, prirodnopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyaemykh resursov* [Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, environmental management and processing of renewable resources]. — 2018. — № 2 (210). — P. 168–173. [in Russian]
9. Chubtsov V.F. Ocenka nadezhnosti raboty avtomobil'nykh dorog s osnovaniyami iz cementogruntov v usloviyakh Dal'nego Vostoka [Estimation of reliability of work of highways with the bases from soil cement in conditions of the Far East] / V.F. Chubtsov // *Novye idei novogo veka* [New ideas of the new century] : Proceedings of the International Scientific Conference of FAD PNU. — 2010. — Vol. 2. — P. 252–256. [in Russian]
10. Kuyukov S.A. Kompleksnyj podkhod k povysheniyu dolgovechnosti cementogruntoobrazovaniya [A comprehensive approach to improving the durability of soil cement foundation] / S.A. Kuyukov, D.A. Genze, V.V. Shmatok [et al.] // *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport structures. Ecology]. — 2019. — № 4. — P. 80–89. — DOI: 10.15593/24111678/2019.04.10. [in Russian]
11. Egorov G.V. Ukreplenie mestnykh gruntov stabilizatorom pri stroitel'stve avtomobil'nykh dorog v usloviyakh Severa [Strengthening of local soils with a stabilizer during road construction in the North] / G.V. Egorov, A.V. Andreeva, O.N. Burenina // *Dorogi i mosty* [Roads and bridges]. — 2013. — № 1 (29). — P. 21–28. [in Russian]
12. GOST R 70452-2022. Grunty stabilizirovannye i ukreplennye neorganicheskim vyazhushchim [Soils stabilized and strengthened with inorganic binder]. — Introd. 2022-11-30. — Moscow : Russian Institute of Standardization, 2022. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200194390> (accessed: 12.07.2025). [in Russian]
13. Hudaykulov R.M. Ukreplenie zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog s primeneniem cementa [Strengthening the subgrade of roads with the use of cement] / R.M. Hudaykulov, T.L. Mirzayev // *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: nauka i transport* [Bulletin of the Belarusian State University of Transport: Science and Transport]. — 2019. — № 1 (38). — P. 7–11. [in Russian]