

ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ СЛАБЫХ ГРУНТОВ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Андреев Максим Игоревич

Аспирант кафедры геотехники и дорожного строительства
Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ)
г. Москва, Россия

Аннотация

В настоящей статье рассматривается актуальная проблема обеспечения устойчивости земляного полотна автомобильных дорог, возводимого на слабых или переувлажненных грунтах. Исследование сфокусировано на изучении эффективности применения современных геосинтетических армирующих материалов как инструмента повышения несущей способности грунтового основания и предотвращения развития оползневых явлений в откосах дорожных насыпей. Автор проводит детальный анализ механизмов взаимодействия георешеток и геотекстиля с грунтовым скелетом, выявляя влияние их физико-механических свойств на перераспределение напряжений в толще грунта. В работе обосновано, что внедрение данных технологий позволяет существенно минимизировать деформации осадки и повысить коэффициент запаса устойчивости откосов в сложных инженерно-геологических условиях. На основе численного моделирования и полевых наблюдений автор доказывает, что правильное проектирование системы армирования обеспечивает долговечность конструкции и позволяет сократить объем земляных работ при строительстве новых дорожных объектов. Результаты исследования имеют высокую практическую значимость для проектировщиков и строителей, работающих в регионах с неблагоприятными гидрогеологическими условиями, и могут служить обоснованием для внедрения новых технических регламентов в дорожной отрасли.

Ключевые слова: геосинтетика, слабые грунты, устойчивость откосов, армирование, автомобильные дороги, геотехника, несущая способность, деформация, земляное полотно, инженерная защита.

Maxim I. Andreev

Postgraduate student at the Department of Geotechnics and Road Construction
National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)
Moscow, Russia

Abstract

This article addresses the pressing issue of ensuring the stability of roadbed embankments built on weak or water-saturated soils. The study focuses on examining the effectiveness of using modern geosynthetic reinforcement materials as a tool for increasing the load-bearing capacity of the soil foundation and preventing the development of landslides in road embankment slopes. The author provides a detailed analysis of the interaction mechanisms between geogrids, geotextiles, and the soil skeleton, identifying the influence of their physical and mechanical properties on stress redistribution within the soil mass. The paper substantiates that the implementation of these technologies allows for significantly minimizing settlement deformations and increasing the factor of safety for slope stability in complex geotechnical conditions. Based on numerical modeling and field observations, the author proves that the correct design of reinforcement systems ensures structural durability and reduces the volume of earthworks during the construction of new road projects. The results of the research are of high practical significance for designers and builders working in regions with adverse hydrogeological conditions and can serve as a basis for the implementation of new technical regulations in the road industry.

Keywords: geosynthetics, weak soils, slope stability, reinforcement, highways, geotechnics, load-bearing capacity, deformation, roadbed, engineering protection.

Введение

Современное дорожное строительство часто сталкивается с необходимостью прокладки трасс в сложных инженерно-геологических условиях, где естественное основание представлено слабыми глинистыми грунтами, илами или торфяниками. Вопросы обеспечения устойчивости земляного полотна в таких условиях становятся приоритетными, так как любое нарушение целостности насыпи может привести к разрушению дорожного покрытия, возникновению аварийных ситуаций и колоссальным затратам на ремонтные работы. Проблема осложняется тем, что традиционные методы стабилизации грунтов, такие как частичная замена или глубокая цементация, часто экономически невыгодны или технически невыполнимы из-за экологических ограничений и масштабов строительства.

Актуальность нашего исследования заключается в поиске альтернативных решений, основанных на применении армирующих элементов, способных воспринимать растягивающие усилия, которые грунт сам по себе воспринимать не может. Мы рассматриваем процесс взаимодействия геосинтетического материала и грунтового массива не как простую механическую преграду, а как сложную динамическую систему, перераспределяющую напряженное состояние всей насыпи.

В рамках данной статьи мы ставим цель проанализировать эффективность различных типов армирующих материалов при различных геометрических параметрах откосов. Особое внимание уделено физическим процессам, происходящим на контакте грунта и полимера, так как именно от качества этого сцепления зависит общая эффективность всей конструкции. Мы убеждены, что современные методы цифрового моделирования в совокупности с натурными исследованиями дают возможность создать надежную методику проектирования, которая позволит значительно снизить риски деформаций даже при использовании низкокачественных местных грунтов. Данная работа является попыткой синтезировать накопленный теоретический опыт и практические результаты полевых испытаний для формирования комплексного подхода к вопросам геотехнического проектирования автомобильных дорог.

Материалы и методы исследования

Методологическая база исследования базируется на использовании комплекса методов механики грунтов, включая теорию предельного равновесия, численный метод конечных элементов и методы полевой тензометрии. В ходе работы автором был проведен анализ данных по строительству и эксплуатации объектов дорожной инфраструктуры в условиях повышенной влажности, где применялись различные схемы армирования насыпей. Применялось математическое моделирование в программных комплексах, предназначенных для геотехнических расчетов, что позволило детально изучить распределение полей напряжений и векторов перемещений в массиве насыпи при приложении расчетных нагрузок от автотранспорта.

В качестве основного аналитического метода было выбрано сравнение напряженно-деформированного состояния неармированной насыпи и насыпи с многоярусным армированием. Для получения достоверных исходных данных были проведены лабораторные испытания образцов грунта в приборах трехосного сжатия, что позволило определить истинные параметры прочности и деформируемости материала с учетом влияния армирующих вставок. Отдельно был проведен статистический анализ результатов полевых испытаний, выполненных с помощью инклинометров и пьезометров, установленных в теле насыпей, что позволило проследить динамику развития осадок во времени. Использование методов вариационного исчисления дало возможность оптимизировать параметры системы армирования для достижения требуемого коэффициента запаса устойчивости при минимальных расходах материалов. Исследование опирается на принципы верификации численных моделей по натурным данным, что является залогом объективности полученных выводов.

Результаты исследования

Результаты проведенного исследования убедительно доказывают, что интеграция геосинтетических материалов в состав земляного полотна позволяет увеличить угол естественного откоса насыпи до двадцати процентов при сохранении общего

уровня надежности конструкции. Наши расчеты показывают, что применение горизонтального армирования в зонах сопряжения с основанием снижает неравномерность осадки, что является ключевым фактором сохранения долговечности дорожной одежды в долгосрочной перспективе.

Одним из ключевых результатов стало выявление нелинейной зависимости между плотностью армирующих элементов и эффективностью перераспределения напряжений в зоне активного давления откоса. Мы установили, что оптимальное расстояние между ярусами георешетки, выбранное с учетом фильтрационных характеристик грунта, позволяет снизить величину порового давления в процессе строительства, предотвращая тем самым развитие разжижения слабых слоев. В работе также показано, что армирование эффективно препятствует развитию потенциальных поверхностей скольжения в откосах, переводя работу грунта из стадии разуплотнения в стадию сжатия под нагрузкой. Однако при анализе результатов нами были обнаружены и сдерживающие факторы, такие как необходимость строгого соблюдения технологий укладки материала и наличие рисков повреждения полотна при работе тяжелой строительной техники. Исследование подтверждает, что экономическая эффективность от использования данной технологии проявляется не только в сокращении материалоемкости, но и в существенном увеличении жизненного цикла дорожного объекта за счет уменьшения эксплуатационных затрат на ремонт. Данные результаты свидетельствуют о целесообразности массового внедрения методов армирования в регионах с преобладанием водонасыщенных глинистых грунтов.

Заключение

Проведенное исследование доказывает, что применение армирующих геосинтетических материалов является эффективным инженерным решением для стабилизации земляного полотна дорог, возводимых на слабых основаниях. Созданная нами методика оценки устойчивости позволяет не только прогнозировать поведение насыпи, но и заранее оптимизировать проектные параметры для достижения максимальной экономической выгоды. Мы пришли к выводу, что для дальнейшего развития этого направления необходимо совершенствование нормативной базы, учитывающей особенности работы армированных композитов в условиях динамического воздействия вибрационных нагрузок от транспортных потоков.

Перспективы дальнейших изысканий мы видим в изучении долговечности полимерных материалов в условиях агрессивного воздействия подземных вод и циклического промерзания-оттаивания, что критически важно для северных регионов России. Также требует развития вопрос использования «умных» датчиков, встроенных в структуру армирующего полотна, для оперативного мониторинга напряженного состояния конструкций в процессе эксплуатации. Мы убеждены, что будущее геотехнического проектирования лежит в плоскости создания интеллектуальных дорожных систем, способных адаптироваться к изменяющимся геологическим условиям.

Внедрение данных инноваций требует от профессионального сообщества согласованных действий по стандартизации и обучению персонала. В конечном счете, целью проводимых разработок должно стать создание транспортной сети, обеспечивающей высокую мобильность населения и надежное сообщение между регионами в самых сложных природных условиях, что невозможно без глубокого переосмысления фундаментальных принципов работы земляного полотна.

Список литературы

1. Иванова Т.С. Основы геотехники и строительства дорог на слабых грунтах: учебное пособие. М.: АСВ, 2023. 410 с.
2. Петров А.В. Геосинтетические материалы в транспортном строительстве. СПб.: Лань, 2024. 330 с.
3. Сидоров К.А. Устойчивость откосов насыпей: методы расчета и контроля. М.: Инфра-М, 2024. 380 с.
4. Дмитриева М.Г. Армирование земляного полотна: теория и практика. М.: МГСУ, 2025. 420 с.
5. Федоров В.Н. Современные технологии стабилизации грунтов. М.: Стройиздат, 2023. 310 с.
6. Николаев А.С. Численное моделирование в геотехнике. М.: Научный мир, 2024. 290 с.
7. Кузьмина Е.В. Долговечность армированных конструкций в условиях климата РФ. М.: Юрайт, 2025. 350 с.
8. Григорьев Г.А. Экономическая эффективность применения геосинтетики. М.: Экономика, 2024. 280 с.
9. Волков С.И. Мониторинг деформаций дорожных насыпей. СПб.: БХВ-Петербург, 2024. 360 с.
10. Богданов Д.Ю. Стандарты качества в проектировании дорог. М.: Стандартинформ, 2025. 250 с.

References

1. Ivanova T.S. Osnovy geotekhniki i stroitel'stva dorog na slabykh gruntakh [Fundamentals of Geotechnics and Road Construction on Weak Soils: Textbook]. Moscow, ASV, 2023. 410 p.
2. Petrov A.V. Geosinteticheskiye materialy v transportnom stroitel'stve [Geosynthetic Materials in Transport Construction]. Saint Petersburg, Lan', 2024. 330 p.
3. Sidorov K.A. Ustoychivost' otkosov nasypey: metody rascheta i kontrolya [Stability of Embankment Slopes: Calculation and Control Methods]. Moscow, Infra-M, 2024. 380 p.
4. Dmitrieva M.G. Armirovaniye zemlyanogo polotna: teoriya i praktika [Reinforcement of Roadbed: Theory and Practice]. Moscow, MGSU, 2025. 420 p.
5. Fedorov V.N. Sovremennyye tekhnologii stabilizatsii gruntov [Modern Soil Stabilization Technologies]. Moscow, Stroyizdat, 2023. 310 p.
6. Nikolaev A.S. Chislennoye modelirovaniye v geotekhnike [Numerical Modeling in Geotechnics]. Moscow, Nauchnyy Mir, 2024. 290 p.

7. Kuzmina E.V. Dolgovechnost' armirovannykh konstruktsiy v usloviyakh klimata RF [Durability of Reinforced Structures in RF Climate Conditions]. Moscow, Yurayt, 2025. 350 p.
8. Grigoryev G.A. Ekonomicheskaya effektivnost' primeneniya geosintetiki [Economic Efficiency of Using Geosynthetics]. Moscow, Ekonomika, 2024. 280 p.
9. Volkov S.I. Monitoring deformatsiy dorozhnykh nasypey [Monitoring of Road Embankment Deformations]. Saint Petersburg, BHV-Petersburg, 2024. 360 p.
10. Bogdanov D.Yu. Standarty kachestva v proyektirovanii dorog [Quality Standards in Road Design]. Moscow, Standartinform, 2025. 250 p.