

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 630*383:625.711.84(043.3)

ДИНИ
Мортеза Носрат

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОКРЫТИЙ ЛЕСНЫХ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПРИМЕНЕНИЕМ
КОМБИНИРОВАННЫХ ПРОСЛОЕК ИЗ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКОГО
МАТЕРИАЛА**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок
и лесного хозяйства

Минск 2018

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет».

Научный руководитель

Насковец Михаил Трофимович,
кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты:

Бусел Алексей Владимирович,
доктор технических наук, профессор, декан факультета транспортных коммуникаций Белорусского национального технического университета

Красковский Станислав Владимирович,
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

Оппонирующая организация

Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ»

Защита состоится «24» апреля 2018 г. в 14⁰⁰ часов на заседании Совета по защите диссертаций Д 02.08.06 при учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, ауд. 240, корп. 4.

Тел.: (8-017) 327-83-41, факс: (8-017) 327-62-17, e-mail: lmitlz@belstu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «23» марта 2018 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент

С.П. Мохов

ВВЕДЕНИЕ

Лес, как естественная природная среда, – основной источник возобновляемых древесных ресурсов, играющих существенную роль в развитии экономики страны. Важнейшим направлением повышения эффективности работы лесного комплекса является решение вопроса транспортного освоения лесов. Данное направление определено в Стратегическом плане развития лесохозяйственной отрасли на период 2015–2030 годы, в Государственной программе «Белорусский лес» на 2016–2020 годы, одной из задач которой является создание дорожно-транспортной сети, обеспечивающей доступность лесных ресурсов и сокращение транспортных расходов, что говорит о его актуальности.

Анализ исследований, проведенных в Беларуси и за рубежом, показал, что решение вопроса вывозки и поставки древесины напрямую связано с созданием надежной и достаточной по развитию сети лесных автомобильных дорог. При этом следует учитывать, что эффективность перевозок лесных грузов в значительной мере будет зависеть от взаимодействия в процессе движения лесотранспортных средств и дорожных конструкций. Установлено, что при эксплуатации лесных автомобильных дорог под воздействием колесных нагрузок подвижного состава происходит горизонтальное и вертикальное смещение материалов, слагающих конструктивные слои покрытий дорог, что, в свою очередь, приводит к ухудшению показателей работы лесовозного автотранспорта. Однако существующие конструкции лесных автомобильных дорог не в полной мере обеспечивают необходимую прочность и стабильность работы покрытий. Одним из инновационных способов увеличения прочностных показателей покрытий лесных дорог является использование для этих целей конструктивных решений на основе геосинтетики. В связи с этим необходимо решить актуальную проблему повышения прочности лесных автомобильных дорог путем стабилизации состояния конструктивных слоев дорожных покрытий посредством применения прослоек из геосинтетических материалов.

Современные исследования процессов транспортного освоения лесов в Беларуси и Иране показывают, что для эффективного лесопользования в этих странах необходимо решать примерно однотипные дорожно-транспортные задачи. Таким образом, повышение прочности и стабильности работы покрытий лесных дорог является актуальной задачей, имеющей научное и практическое значение для Республики Беларусь и Республики Иран, и позволит увеличить объемы заготовки древесины, будет способствовать круглогодичному производству лесохозяйственных работ, обеспечит оперативность в проведении природоохранных мероприятий.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами. Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям инновационного развития, фундаментальных и прикладных научных исследований в

Республике Беларусь и Республике Иран, научному направлению кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства БГТУ.

Диссертационные исследования проводились в рамках научно-исследовательской работы ГБ 9-16 «Инновационные решения, теоретическое обоснование и расчеты дорожно-транспортных составляющих лесопромышленного производства», этап 2017 г. «Теоретические исследования расчета составляющих лесотранспортного освоения» (2016–2017 гг.) и соответствовали подпрограмме 2 «Строительство лесохозяйственных дорог» Государственной программы «Белорусский лес» на 2016–2020 годы.

Цель и задачи исследования. Целью исследования являлось повышение прочности лесных автомобильных дорог путем разработки конструкций и технологий строительства покрытий на основе структурно-стабилизирующих комбинированных прослоек из геосинтетического материала.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи исследования:

1) проанализировать виды покрытий лесных автомобильных дорог, способы стабилизации их работы, определить возможность и целесообразность использования геосинтетических материалов и выработать направления для повышения прочности и стабилизации работы покрытий с учетом воздействия на них колесных лесотранспортных средств;

2) разработать конструкцию покрытия лесных автомобильных дорог на основе комбинированных прослоек из вертикально-горизонтальных полос геосинтетического материала, обеспечивающих стабильную работу покрытия;

3) выполнить теоретические исследования структурно-стабилизирующих свойств комбинированных прослоек из геосинтетического материала и разработать методику установления прочностных показателей дорожных конструкций, содержащих комбинированные прослойки;

4) провести стендовые испытания дорожных покрытий с различными вариантами геосинтетических прослоек и получить данные изменения напряжений, возникающих при передаче колесной нагрузки по глубине конструкций, а также обосновать рациональные прочностные и технологические решения;

5) провести производственную проверку работоспособности разработанных конструкций покрытий лесных дорог и обосновать технологию их строительства;

б) провести технико-экономическую оценку разработанной конструкции покрытия с комбинированными прослойками из геосинтетического материала и дать рекомендации по условиям ее применения.

Объектом исследования являются конструкции покрытий лесных автомобильных дорог с использованием геосинтетических и местных дорожно-строительных материалов и технологии их строительства.

Предметом исследования являются прочностные показатели дорожных конструкций и методы оценки работы конструктивных слоев лесных автомобильных дорог под колесной нагрузкой.

Научная новизна:

– разработана новая конструкция покрытия лесных автомобильных дорог, отличающаяся введением в конструктивные слои упрочняющих комбинированных прослоек из вертикально-горизонтальных полос геосинтетического материала, которая обеспечивает снижение напряжений при передаче колесной нагрузки по устраиваемым конструктивным слоям, стабильную работу покрытия, позволяет уменьшить толщину его слоя, расход и затраты на дорожно-строительные материалы;

– разработана новая методика определения модуля упругости слоев дорожных конструкций, содержащих комбинированные прослойки из геосинтетического материала, графо-экспериментальным способом с учетом толщины слоя покрытия и диаметра отпечатка следа колеса, позволяющая с достаточной точностью оценивать прочностные свойства покрытий лесных автомобильных дорог.

Положения, выносимые на защиту.

– Способ стабилизации распределения напряжений по глубине дорожной конструкции, основанный на введении в конструктивные слои упрочняющих вертикально-горизонтальных прослоек из геосинтетического материала, позволяющий минимизировать боковое смещение частиц сыпучего дорожно-строительного материала слоя при передаче вертикальной нагрузки.

– Конструкция покрытия лесных автомобильных дорог на основе комбинированных прослоек из вертикально-горизонтальных полос геосинтетического материала, которая обеспечивает снижение напряжений при передаче колесной нагрузки по устраиваемым конструктивным слоям, стабильную работу покрытия, позволяет уменьшить толщину его слоя и затраты на дорожно-строительные материалы.

– Методика определения и алгоритм расчета модуля упругости слоев дорожной конструкции, позволяющие определять прочностные свойства покрытий лесных автомобильных дорог, содержащих комбинированные прослойки, и с учетом этого устанавливать рациональную толщину слоя покрытия.

– Экспериментально выявленные зависимости изменения напряжений, возникающих при передаче колесной нагрузки автомобиля по глубине разработанной конструкции покрытия, которые подтверждают стабилизирующую функцию применения комбинированных прослоек.

– Рекомендации по условиям эффективного применения разработанной конструкции покрытия с комбинированными прослойками из геосинтетического материала и обоснование технологии его строительства.

Личный вклад соискателя ученой степени. Автором выполнен аналитический обзор научной литературы по теме диссертации, обоснована актуальность исследований, изучены виды покрытий лесных автомобильных дорог и способы стабилизации их работы, проведены теоретические и экспериментальные исследования, подготовлены основные положения, выносимые на защиту. Им разработаны конструкция покрытия лесных автомобильных дорог с вклю-

чением комбинированных прослоек из геосинтетического материала и рекомендации по условиям ее применения, методика установления прочностных показателей дорожных конструкций. Определение цели и задач исследований, проведение производственной апробации разработанной конструкции покрытия лесных автомобильных дорог и обобщение полученных результатов проводилось при консультации с научным руководителем М.Т. Насковцом. Автор лично участвовал в подготовке публикаций по теме диссертации, соавторы публикаций участвовали в их обсуждении.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Основные результаты и положения диссертационной работы были доложены и одобрены на следующих научно-технических конференциях: 78–81-й научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов БГТУ (БГТУ, г. Минск, 2014–2017 гг.); МНТК «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (БРУ, г. Могилев, 14–15 апреля 2016 г.); МНТК «Лесозаготовительное производство: проблемы и решения» (БГТУ, г. Минск, 26–28 апреля 2017 г.); МНПК «Лес-2017» (БГИТУ, г. Брянск, май 2017 г.).

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований на базе ГЛХУ «Логойский лесхоз», ГОЛХУ «Осиповичский опытный лесхоз» проведена опытно-промышленная апробация и внедрение разработанной конструкции покрытия лесных автомобильных дорог с применением комбинированных прослоек из геосинтетических материалов и технологии ее строительства, которые показали целесообразность и эффективность использования полученных результатов в производственных условиях. Результаты исследований использованы при разработке «Рекомендаций по текущему ремонту и содержанию лесных автомобильных дорог», утвержденных Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь 14.12.2015, а также внедрены в учебный процесс на кафедре лесных дорог и организации вывозки древесины БГТУ.

Опубликование результатов диссертации. По результатам диссертационных исследований опубликовано 10 работ, в том числе: 7 статей в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК по специальности, объемом 3,7 авторских листа, 3 материала научных конференций. Также подана 1 заявка на изобретение и 1 заявка на полезную модель, на которые получены положительные решения о выдаче патента.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка литературных источников и приложений. Полный объем диссертации составляет 135 страниц, из них 82 иллюстрации занимают 24 страницы, 18 таблиц – 7 страниц, 12 приложений – 20 страниц. Список литературных источников включает 108 наименований, из которых 12 – авторские работы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Введение содержит общую характеристику состояния исследований в области транспортного освоения лесов и повышения прочности лесных автомобильных дорог, отражает актуальность и место научной работы среди проведенных исследований, а также значимость результатов диссертации для лесного комплекса Республики Беларусь и Республики Иран.

В первой главе рассмотрены состояние лесного фонда и лесопромышленного производства Республики Беларусь, роль и значение дорог при транспортном освоении лесов, динамика строительства лесных дорог, выполнен анализ лесотранспортной сети и видов покрытий лесных автомобильных дорог. Рассмотрены вопросы транспортного освоения лесов с точки зрения специфики тягового и подвижного состава, а также обоснованы требования к лесным автомобильным дорогам в зависимости от технических параметров транспортных средств.

В аналитическом обзоре литературы рассмотрены два основных направления: решение вопросов, связанных с повышением эффективности транспортного освоения лесов, и исследования в области применения геосинтетических материалов в строительстве лесных автомобильных дорог.

Проблемой транспортного освоения лесов, повышения эффективности дорожных конструкций лесных автомобильных дорог в Республике Беларусь и за рубежом занимались такие известные ученые, как Курьянов В.К., Леонович И.И., Бируля А.К., Вырко Н.П., Павлов Ф.А., Герасимов Ю.Ю., Салминен Э.О., Akgul M., Parsakhoo A. и ряд других. В исследованиях данных авторов отмечается, что решение вопроса транспортного освоения лесов во многом связано с созданием надежной и достаточной по протяженности и густоте сети лесных автомобильных дорог, а эффективность работы лесотранспорта в значительной степени зависит от прочности дорожных конструкций.

Использование геосинтетических материалов в строительстве автомобильных дорог, в том числе лесных, исследовали Лыщик П.А., Тумашик И.И., Насковец М.Т., Оруджова О.Н., Гармаза А.К., Перков Ю.Р., Казарновский В.Д., Красковский С.В., Яромко В.Н., Douglas R., Abdi E., Latha M. и другие. Анализ выполненных исследований показал, что прочность и работоспособность лесных автомобильных дорог можно повысить путем использования различных геосинтетических материалов. При этом в данных работах большее внимание уделялось изучению армирующей, а не стабилизирующей функции прослоек из геосинтетических материалов. Однако при эксплуатации лесных автомобильных дорог происходит горизонтальное и вертикальное смещение частиц материалов в конструктивных слоях покрытий, снижается их прочность и стабильность работы. В этой связи актуальным является вопрос повышения прочности покрытий на основе стабилизации их структуры.

На основании анализа литературы по рассматриваемой проблеме, научных исследований и обобщения их результатов, а также изучения современного

состояния и тенденций развития конструкций лесных автомобильных дорог определена цель и сформулированы задачи диссертационного исследования.

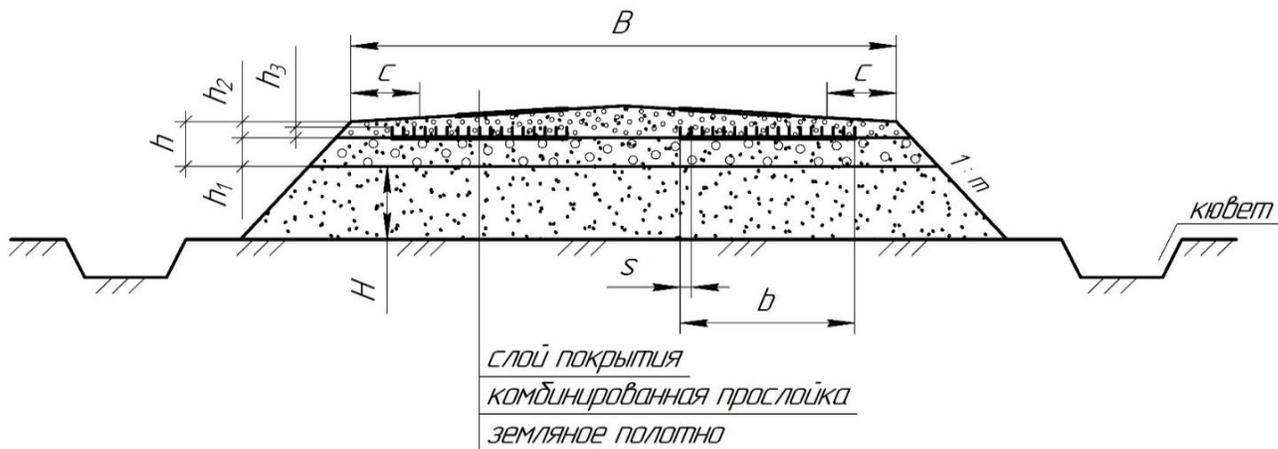
Выполненный анализ процессов транспортного освоения лесов в Беларуси и Иране позволил установить, что с учетом ряда однотипных дорожно-транспортных задач цель диссертационных исследований имеет важное научное и практическое значение для обеих стран.

Вторая глава посвящена теоретическому исследованию работоспособности покрытий лесных автомобильных дорог и разработке конструкции покрытия на основе комбинированных структурно-стабилизирующих прослоек из геосинтетических материалов. Учитывая многообразие геосинтетических материалов, используемых в дорожном строительстве, их свойства и характеристики, а также различные варианты конструкций лесных автомобильных дорог, выполнен анализ работы нежестких дорожных одежд под действием нагрузок транспортных средств и определены условия применения геосинтетических прослоек. Для оценки работоспособности покрытий осуществлен выбор критериев: сжимающие и сдвиговые напряжения в конструктивных слоях покрытия; просадки материала покрытия; упругий прогиб покрытия; модуль упругости; толщина отсыпаемого слоя материала покрытия.

Установлено, что по данному комплексу критериев, определяющих прочность и работоспособность покрытия, существующие конструкции лесных автомобильных дорог не в полной мере обеспечивают структурную стабилизацию материала покрытия. Для решения этой проблемы разработан способ стабилизации перемещения частиц материалов внутри конструктивного слоя покрытия и распределения напряжений по глубине дорожной конструкции, основанный на введении в конструктивные слои упрочняющих комбинированных прослоек из геосинтетического материала. Введение в структуру покрытия прослоек из вертикальных и горизонтальных полос геосинтетического материала позволяет минимизировать взаимное смещение частиц материалов внутри конструктивного слоя и, таким образом, повысить прочностные качества покрытий автомобильных дорог.

Для реализации на практике предложенного способа разработана конструкция покрытия лесных автомобильных дорог на основе комбинированных прослоек из вертикально-горизонтальных полос геосинтетического материала (рисунок 1).

Основой разработанной конструкции покрытий является введение вертикально-горизонтальных полос геосинтетического материала с одновременным заполнением межполосного расстояния грунтом. Каждый слой формируется посредством предварительной раскатки рулонного геосинтетического материала, имеющего на своей поверхности прикрепленные к нему и сложенные горизонтально вертикальные полосы, обладающие определенной жесткостью, которые в процессе раскатки рулонного материала устанавливаются перпендикулярно горизонтальной плоскости.



B – ширина земляного полотна; c – ширина обочины; H – высота насыпи; h – толщина покрытия; h_1 – толщина нижнего слоя; h_2 – толщина верхнего слоя; h_3 – высота вертикальных полос прослойки; b – ширина горизонтального полотна прослойки; s – расстояние между вертикальными полосами прослойки; m – коэффициент заложения откоса

Рисунок 1. – Конструкция покрытия лесной автомобильной дороги с комбинированной прослойкой из геосинтетического материала

Комбинированная прослойка укладывается в покрытие в местах полос наката (колеи). Высота вертикальных полос прослойки и расстояние между ними зависит от крупности частиц сыпучего материала покрытия, удобства заполнения им межполосного расстояния и для лесных автомобильных дорог может приниматься 5 и 10 см. Важным условием при устройстве конструкции является необходимая гибкость материала прослойки, которая должна обеспечить вертикальную жесткость при отсыпке грунта. В зависимости от вертикальной нагрузки от колес транспортных средств и интенсивности движения конструкция покрытия может выполняться одно- или двухслойной.

Выполненный анализ существующих методик определения модуля упругости как основного прочностного параметра конструктивных слоев, содержащих комбинированные прослойки, показал, что данные методики базируются на методах теории упругости и не могут быть применимы с достаточной степенью точности при расчете дорожных одежд нежесткого типа. В этой связи для оценки работоспособности разработанной конструкции покрытия выполнены теоретические исследования структурно-стабилизирующих свойств комбинированных прослоек из геосинтетического материала и разработана новая методика определения графо-экспериментальным способом модуля упругости слоев покрытий, содержащих комбинированные прослойки из геосинтетического материала, с учетом толщины слоя покрытия и диаметра отпечатка следа колеса.

Расчетная схема для определения модуля упругости слоев покрытия с комбинированными прослойками из геосинтетического материала приведена на рисунке 2.

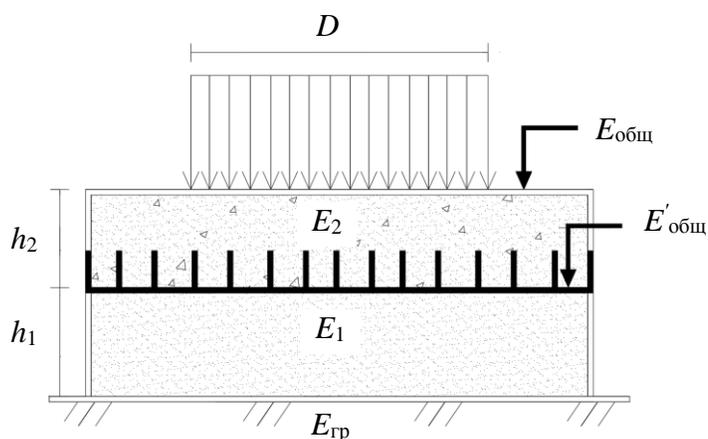


Рисунок 2. – Расчетная схема для определения модуля упругости слоев покрытия

Алгоритм определения модуля упругости слоев покрытия по разработанной методике следующий.

1. Задаваясь величиной толщины слоя покрытия с прослойкой, на опытных участках прогибомером короткобазовым ПГ-1Ф измеряют величину упругого прогиба при наезде на покрытие колес экспериментального стенда.

2. На основании полученной величины упругого прогиба рассчитывается значение общего модуля упругости на поверхности покрытия по формуле

$$E_{\text{общ}} = \frac{p \cdot D \cdot (1 - \mu^2)}{l_y}, \quad (1)$$

где p – удельное давление колеса автомобиля на дорожное покрытие, МПа; D – диаметр круга, равновеликого площади отпечатка следа колеса, м; μ – коэффициент поперечного расширения полупространства (коэффициент Пуассона), принимается равным 0,3; l_y – величина упругого прогиба, м.

3. Для определения общего модуля упругости слоя, содержащего комбинированную прослойку, применяется стандартная расчетная номограмма. Данная номограмма отражает отношение модулей упругости нижнего и верхнего слоев соответственно к модулю упругости промежуточного (неизвестного по величине) слоя и соотношение толщины слоя покрытия к диаметру колеса.

4. Имея конкретное значение величин толщины слоя покрытия h и диаметра отпечатка следа колеса D , находят их соотношение.

5. Через полученное численное значение соотношения h/D на номограмме проводится вертикальная линия. В результате на вертикальной прямой в точке пересечения получают величину отношения общего модуля упругости $E_{\text{общ}}$ к модулю упругости искомого слоя E_2 (кривая $E_{\text{общ}}/E_2$ на номограмме).

6. По величине известного общего модуля упругости $E_{\text{общ}}$, определяемого экспериментально, и модуля из соотношения $E'_{\text{общ}}/E_2$ находится модуль упругости искомого слоя E_2 с комбинированной прослойкой.

7. Конечный результат модуля упругости искомого слоя с достаточной точностью определяется с применением графического метода решения системы нелинейных функций, где отыскание искомой величины возможно согласно уравнению:

$$f_1(E_2) = f_2(E_2). \quad (2)$$

8. Аппроксимируя полученные результаты методом наименьших квадратов, можно построить график функций $y = f_1(E_2)$ и $y = f_2(E_2)$, абсциссы точек пересечения кривых будут действительными корнями уравнения (рисунок 3). График отображает зависимости модуля упругости E_2 искомого слоя к отношению общего модуля упругости с модулем упругости искомого слоя $E_{\text{общ}}/E_2$.

$$f_1(E'_{\text{общ}}/E_2), f_2(E_{\text{общ}}/E_2), \quad (3)$$

$$f_1 = f_2 \longrightarrow E_2. \quad (4)$$

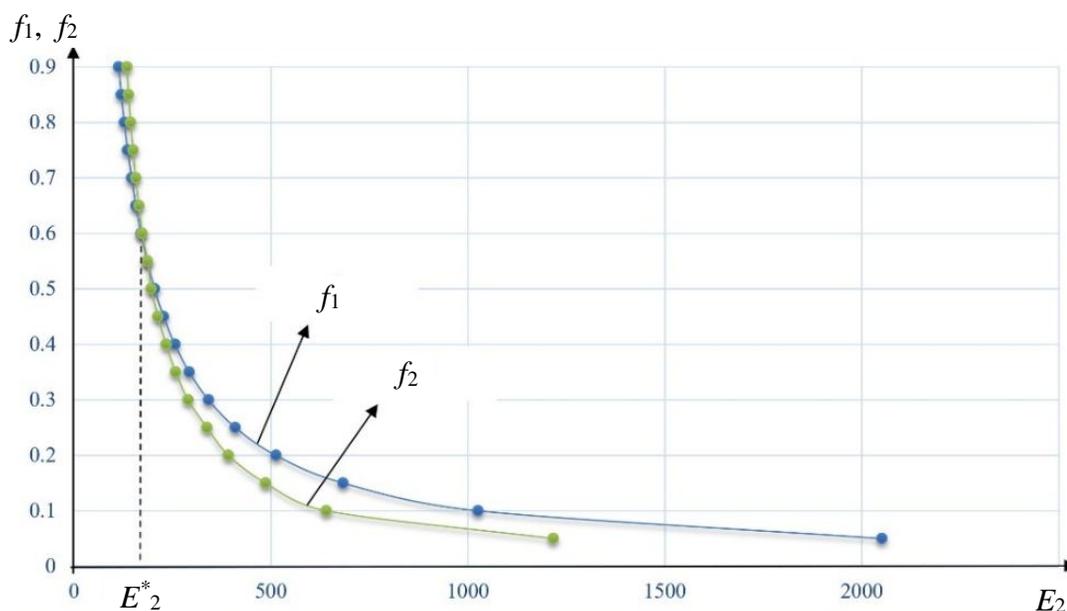


Рисунок 3. – График для определения модуля упругости слоя, содержащего прослойки

Разработанная методика определения модуля упругости слоев дорожной конструкции позволяет с достаточной точностью оценивать прочностные свойства покрытий лесных автомобильных дорог, содержащих комбинированные прослойки, а также решать обратную задачу, то есть определять толщину слоя покрытия при заданных прочностных параметрах слоев с учетом величины коэффициента прочности покрытия:

$$K_{\text{пр}} = E_{\text{ф}} / E_{\text{тр}}, \quad (5)$$

где $E_{\text{ф}}$ и $E_{\text{тр}}$ – соответственно фактический и требуемый модули упругости, МПа.

В третьей главе приведена методика и результаты экспериментальных исследований работоспособности покрытий с комбинированными прослойками в лабораторных условиях. Методика включала проведение сравнительной оценки

разработанной конструкции покрытия с комбинированными прослойками с покрытием, включающим горизонтальную прослойку. Исследуемыми параметрами являлись: упругий прогиб и модуль упругости поверхности покрытия; распределение вертикальных сжимающих напряжений, возникающих в слоях дорожной конструкции от воздействия колесной нагрузки; модуль упругости слоя покрытия.

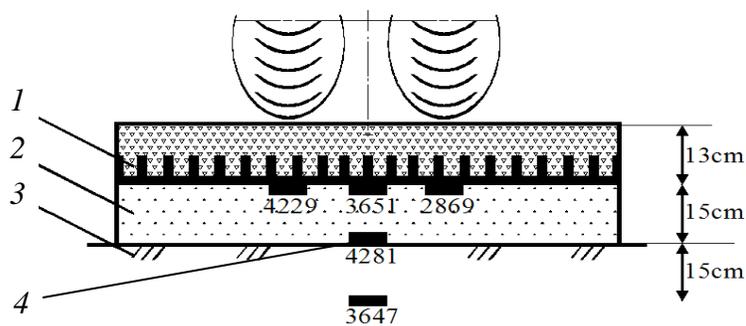
Исследования модельных участков дорожных конструкций проводились в грунтовом канале на экспериментальном стенде в виде автоматизированной самоходной тележки для имитирования движения спаренного колеса лесовозного автопоезда (рисунок 4). Движение тележки реверсивное с бесступенчатым регулированием скорости до 5 м/с. Нагрузки на поверхность покрытия от колеса тележки составляла 1866 кг и измерялась при помощи весовой платформы УД-1.



Рисунок 4. – Общий вид экспериментальной установки и испытываемых конструкций покрытия

Для исследований устраивались 3 опытных участка: покрытие с горизонтальной прослойкой из геосинтетического материала; покрытие с комбинированной прослойкой с вертикальными полосами высотой h_3 и расстояниями между ними s , равными 5 см; покрытие с комбинированной прослойкой, где h_3 и s составляли по 10 см. Участки устраивались послойно: нижний слой – основание (супесь, высота слоя 15 см); промежуточный слой (песчано-гравийная смесь, 15 см); верхний слой (песчано-гравийная смесь, 13 см). Между промежуточным и верхним слоями укладывались прослойки из геосинтетических материалов ТУРАР SF 40.

Для определения величин напряжений, возникающих по глубине исследуемой дорожной конструкции в процессе прохода тележки экспериментального стенда, применялись тензорезисторные преобразователи давления типа ПДМ (мессдозы) с гидравлическим мультипликатором. Для записи напряжений, регистрируемых мессдозами, использовалась измерительная аппаратура в составе многофункционального измерительного усилителя Spider 8 и персонального компьютера. Мессдозы закладывались в определенной последовательности на разных глубинах для получения зависимостей, характеризующих распределяющую способность конструктивных слоев, в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 5. Перед закладкой проводилась тарировка мессдоз.



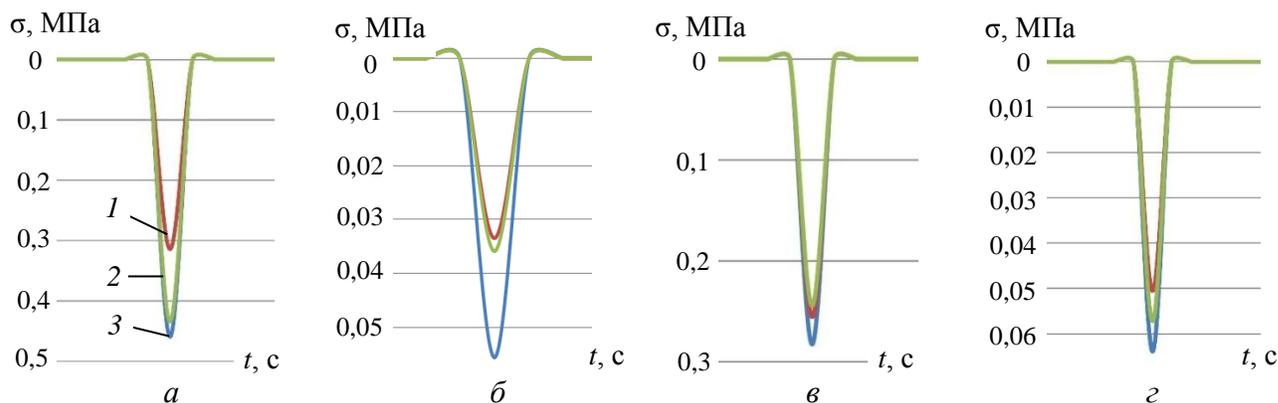
1 – комбинированная прослойка;
2 – промежуточный слой; 3 – основание; 4 – мессдозы
Рисунок 5. – Схема закладки мессдоз

После этого каждый из участков испытывали посредством воздействия колесной нагрузки экспериментального стенда.

Величину упругого прогиба покрытия определяли с помощью рычажного прогибомера ПГ-1Ф с индикатором часового типа ИЧ-10.

При проведении экспериментальных исследований определялось число измерений, необходимое для установления расчетных значений характеристик покрытия с заданной точностью, которое принималось для оценки напряжений не менее 8, для оценки упругого прогиба – не менее 16. После измерений проводилась обработка результатов приемами вариационной статистики.

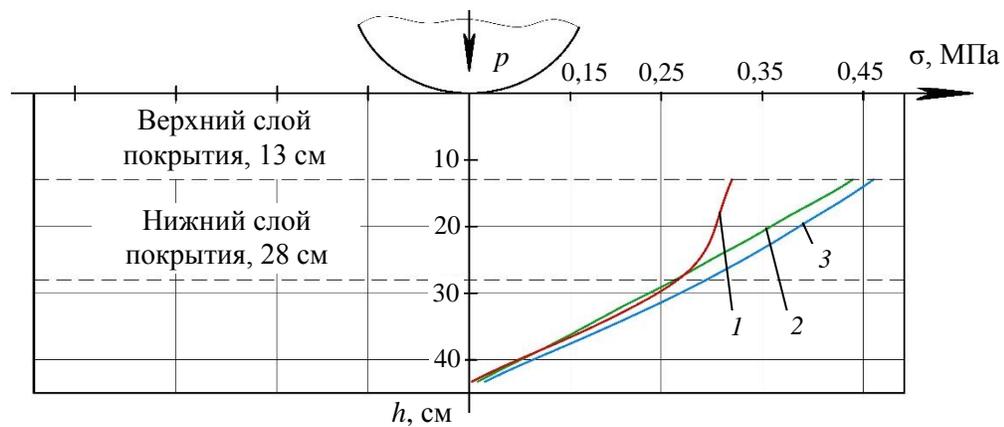
При каждом цикле воздействия колесной нагрузки на покрытие опытного участка регистрировались динамика напряжений σ при наезде и съезде колеса (рисунки 6 и 7) и определялись их максимальные значения (таблица 1).



а – на глубине 13 см под колесом; *б* – на глубине 13 см между спаренными колесами;
в – на глубине 28 см между колесами; *г* – на глубине 43 см между колесами;
1 – комбинированная 5×5; 2 – комбинированная 10×10; 3 – горизонтальная прослойка
Рисунок 6. – Вертикальные сжимающие напряжения в конструкции

Таблица 1. – Максимальные вертикальные сжимающие напряжения в конструкции с различными типами прослоек

Тип прослойки	Средние значения максимальных напряжений на глубине заложения мессдоз, МПа			
	13 см под колесом	13 см между колесами	28 см между колесами	43 см между колесами
Горизонтальная	0,4618	0,0555	0,2887	0,0654
Комбинированная 10×10 см	0,4395	0,0356	0,2551	0,0584
Комбинированная 5×5 см	0,3166	0,0353	0,2599	0,0504



1 – комбинированная 5×5; 2 – комбинированная 10×10; 3 – горизонтальная прослойка
Рисунок 7. – Распределение вертикальных напряжений от воздействия колесной нагрузки

Анализ полученных результатов изменения напряжений показал, что в конструкции с комбинированными прослойками напряжения существенно снижаются по сравнению с конструкцией, содержащей только горизонтальную прослойку. Так, внедрение в конструкцию комбинированной прослойки позволяет снизить напряжения в различных слоях конструкции на 5–35%. Причем наилучшие показатели имеют прослойки с размерными параметрами вертикальных полос 5×5 см. Однако такая конструкция прослойки требует больших трудозатрат при ее подготовке. Таким образом, для покрытий лесных дорог могут применяться прослойки с размерными параметрами вертикальных полос 5×5 и 10×10 см, а их выбор будет зависеть от крупности частиц сыпучего материала покрытия, удобства заполнения им межполосного расстояния и определяться экономическими расчетами.

На основании полученных зависимостей распределения напряжений, возникающих по глубине дорожной конструкции, установлено также, что применение различного типа вертикальных прослоек позволяет обеспечить структурную стабилизацию перемещения частиц материалов внутри конструктивного слоя покрытия. Так, напряжения, регистрируемые между спаренными колесами тележки стенда на глубине 13 см, снижались до 35%, а на глубине 28 см – до 12%, что свидетельствует об уменьшении касательных сил, возникающих в процессе смещения сыпучих частиц материала слоя.

В процессе исследования прочностных параметров покрытия по показателю упругой деформации установлено, что разработанная конструкция с комбинированными прослойками позволяет повысить прочность дорожной конструкции. Так, средние значения упругой деформации находились в диапазонах:

- для покрытия с горизонтальными прослойками: $0,6126 \leq x \leq 0,6242$ мм;
- с комбинированными прослойками 10×10 см: $0,5244 \leq x \leq 0,5337$ мм;
- с комбинированными прослойками 5×5 см: $0,4702 \leq x \leq 0,4798$ мм.

На основании полученных данных величины упругого прогиба и действующей нагрузки по разработанной во второй главе методике определяли общий модуль упругости на поверхности слоя и модуль упругости расчетного слоя для различных покрытий. Результаты данных исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Модули упругости слоев дорожной конструкции с различными типами прослоек

Тип прослойки	Значение модуля упругости, МПа
Горизонтальная на поверхности слоя	104,0
Комбинированная 10×10 см на поверхности слоя	121,7
Комбинированная 10×10 см расчетного слоя	197,0
Комбинированная 5×5 см на поверхности слоя	135,3
Комбинированная 5×5 см расчетного слоя	293,0

Сравнительная оценка покрытий показывает, что применение комбинированной прослойки на двухслойной конструкции с заданными параметрами материалов покрытия позволяет повысить на 15–25% модуль упругости на поверхности слоя, что обеспечивает улучшение работоспособности дорожной конструкции, а также позволяет уменьшить общую толщину устраиваемых слоев покрытия до 35% и, соответственно, затраты на дорожно-строительные материалы.

На основании оценки различных комбинированных прослоек установлено, что лучшие прочностные показатели покрытия обеспечиваются при использовании прослоек с размерными параметрами вертикальных полос 5×5 см.

Результаты проведенных экспериментальных исследований позволяют сделать вывод об эффективности разработанного способа структурной стабилизации слоев покрытия и конструкции покрытия лесных автомобильных дорог на основе комбинированных прослоек из геосинтетического материала.

В четвертой главе диссертации обоснована технология устройства покрытия с комбинированными прослойками из вертикально-горизонтальных полос геосинтетического материала и представлены результаты производственной проверки работоспособности разработанной конструкции покрытия.

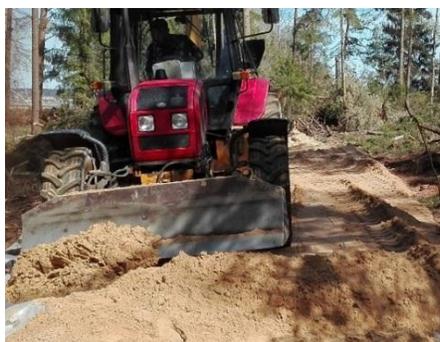
Основному технологическому процессу устройства покрытия предшествует подготовительная операция по формированию прослойки (соединению вертикальных и горизонтальных полос) и сворачиванию ее в рулон. Наиболее универсальными и эффективными способами соединения полос для практического использования являются их сшивка и термоспайка. После подготовительных работ выполняются основные работы по устройству покрытий с комбинированными прослойками: подвозка материала покрытия; раскатка рулонов в местах прохождения колесопроводов (полос наката); установка сложенных вертикальных полос прослойки перпендикулярно поверхности дороги; подвозка и разгрузка материала слоя покрытия оптимальной влажности; отсыпка слоя покрытия с заполнением пространств между вертикальными и горизонтальными полосами прослойки и выравнивание покрытия; профилирование поверхности проезжей части дороги; уплотнение покрытия. Для механизации процесса раскатки прослойки и установки полос геосинтетического материала в вертикальное положение разработано устройство для укладки комбинированных прослоек (заявка на полезную модель).

С целью отработки технологии устройства и оценки эффективности работы конструкций покрытия с комбинированными прослойками проведена ее производственная проверка на базе ГЛХУ «Логойский лесхоз» и ГОЛХУ «Осиповичский опытный лесхоз». Для проведения производственных исследований осуществлялось строительство опытного объекта на лесной автомобильной дороге с применением геосинтетических прослоек и местных грунтов. Опытный объект характеризовался удовлетворительными условиями эксплуатации.

На выбранном технологическом пути закладывался опытный участок с горизонтальной прослойкой посредством отсыпки привозного грунта автосамосвалом и последующего разравнивания его отвалом колесного трактора (рисунок 8). Для повышения работоспособности одного из участков в местах прохождения колесопроводов укладывалась комбинированная прослойка.



а



б



в

***а* – отсыпка привозного грунта на горизонтальную прослойку; *б* – разравнивание грунта; *в* – укладка и засыпка грунтом комбинированных прослоек**
Рисунок 8. – Отсыпка и разравнивание привозного грунта

По дороге с опытным участком (рисунок 9) в летний период осуществлялась вывозка древесины в объеме 5 тыс. м³. Древесина вывозилась в сортиментах лесовозными автопоездами МАЗ-6303А8 с прицепом МАЗ-83781-20.



а



б

***а* – опытный участок лесной дороги; *б* – вывозка лесоматериалов по опытному участку**
Рисунок 9. – Эксплуатация опытного участка лесной дороги

После эксплуатации опытных участков дорожного покрытия проводилось их обследование, которое показало уменьшение колеи на 20% за счет снижения бокового смещения песчаного материала слоя на участке с комбинированными прослойками по сравнению с участком только с горизонтальной прослойкой.

Для оценки экономической эффективности разработанной конструкции покрытия и технологии его устройства осуществлялось строительство технологического подъездного пути для освоения лесосечного фонда в 83-м квартале Октябрьского лесничества ГОЛХУ «Осиповичский опытный лесхоз». Длина опытного участка с геосинтетической прослойкой составила 133 метра от общей протяженности технологического пути 950 м. Расчет фактического экономического эффекта проведен путем сравнения стоимостных затрат по выполнению дорожных работ с применением двух видов геосинтетических прослоек: горизонтальной и комбинированной с размерными параметрами вертикальных полос 10×10 см. Экономический эффект при строительстве таких технологических путей составил 535 рублей в расчете на 1 км. Также в реальных условиях эксплуатации выполнена оценка ожидаемого экономического эффекта при строительстве магистральных лесных автомобильных дорог с комбинированными прослойками. Эффект достигался за счет увеличения прочностных параметров дорожного покрытия и, соответственно, снижения толщины слоя покрытия и составил в расчете на 1 км 4640 белорусских рублей (в ценах 2017 года).

Опытно-промышленная апробация и внедрение разработанной конструкции покрытия лесных автомобильных дорог с применением комбинированных прослоек и технологии его строительства показали целесообразность и эффективность использования полученных результатов в производственных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. На основании анализа различных видов покрытий лесных автомобильных дорог, показателей их работоспособности и направлений повышения прочности разработан способ структурной стабилизации слоев покрытия путем введения в них комбинированных прослоек из вертикально-горизонтальных полос геосинтетического материала, позволяющий уменьшить перемещение сыпучих частиц материалов внутри конструктивного слоя покрытия, обеспечить равномерное распределения напряжений по глубине конструкции при передаче вертикальной нагрузки и повысить прочностные качества покрытий [1-А, 2-А, 3-А, 9-А].

2. Разработана конструкция покрытия лесных автомобильных дорог на основе комбинированных прослоек из вертикально-горизонтальных полос геосинтетического материала, которые устанавливаются в покрытие в местах полос наката с одновременным заполнением межполосного расстояния грунтом. Конструкция обеспечивает снижение напряжений при передаче колесной нагрузки по конструктивным слоям, стабильную работу покрытия, позволяет уменьшить толщину его слоя и затраты на дорожно-строительные материалы [5-А, 6-А, 8-А, 10-А].

3. На основании проведенных теоретических исследований разработана методика определения модуля упругости слоев дорожной конструкции графо-экспериментальным способом. Методика позволяет с большей достоверностью получаемых результатов оценивать прочностные свойства покрытий лесных ав-

томобильных дорог, содержащих комбинированные прослойки, а также для различных материалов при заданных прочностных параметрах слоев покрытия устанавливать рациональную их толщину [6-А, 7-А].

4. Экспериментально получены данные изменения напряжений, возникающих при колесной нагрузке автомобиля по глубине разработанной конструкции покрытия, подтверждающие обеспечение стабилизирующей функции применения комбинированных прослоек. Так, напряжения между спаренными колесами тележки стенда в различных слоях конструкции на участке с комбинированными прослойками снижались в 1,1–1,5 раза по сравнению с применением горизонтальных прослоек [4-А, 5-А, 6-А].

5. Получены значения модуля упругости на поверхности слоя для двухслойной конструкции с песчано-гравийными материалами покрытия, которые составили: для горизонтальной прослойки – 104 МПа; для комбинированной прослойки с размерными параметрами вертикальных полос 10×10 см – 121,7 МПа; для комбинированной прослойки 5×5 см – 135,3 МПа. Повышение модуля упругости с использованием комбинированной прослойки в заданных условиях на 15–25% обеспечивает улучшение работоспособности дорожной конструкции и позволяет уменьшить общую толщину слоев покрытия до 35% [4-А, 6-А, 7-А].

6. Для покрытий лесных автомобильных дорог рекомендованы комбинированные прослойки с высотой вертикальных полос и расстоянием между ними 5×5 и 10×10 см, при этом лучшие прочностные показатели покрытия обеспечивают прослойки с размерными параметрами вертикальных полос 5×5 см [7-А, 10-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанный способ структурной стабилизации слоев покрытия, конструкция покрытия лесных автомобильных дорог на основе комбинированных прослоек (подана заявка на изобретение), методика определения модуля упругости слоев дорожной конструкции рекомендуются к использованию проектными (РУП «Белгипродор», РУП «Белгипролес»), а также дорожно-строительными организациями при обосновании параметров дорожных конструкций, разработке проектной документации и строительстве лесных автомобильных дорог [11-А, 12-А].

2. Рекомендации по параметрам комбинированных прослоек, а также технологии устройства (прошли опытно-промышленную апробацию и внедрены на базе ГЛХУ «Логойский лесхоз», ГОЛХУ «Осиповичский опытный лесхоз») могут быть применимы лесохозяйственными учреждениями при транспортном освоении лесных массивов, что позволит снизить затраты на строительство лесных дорог до 4640 руб./км и обеспечить круглогодичную их эксплуатацию [8-А].

3. Результаты исследований использованы при разработке «Рекомендаций по текущему ремонту и содержанию лесных автомобильных дорог», утвержденных Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь, а также внедрены в учебный процесс на кафедре лесных дорог и организации вывозки древесины БГТУ.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК

1-А. Дини, М.Н. Леса Ирана и их транспортное освоение / М.Н. Дини // Труды БГТУ. – 2014. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 60–62.

2-А. Насковец, М.Т. Подвижной состав и автомобильные дороги для вывозки древесины. Основы взаимодействия / М.Т. Насковец, М.Н. Дини // Труды БГТУ. – 2015. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 94–98.

3-А. Насковец, М.Т. Взаимодействие насыпей лесных автомобильных дорог, содержащих упрочняющие прослойки с торфяными основаниями / М.Т. Насковец, А.И. Драчиловский, М.Н. Дини // Вестник СибАДИ. – 2015. – Вып. 6 (46). – С. 71–75.

4-А. Насковец, М.Т. Разработка методики сравнительной оценки работоспособности дорожных конструкций под воздействием колесной нагрузки / М.Т. Насковец, А.И. Драчиловский, М.Н. Дини // Труды БГТУ. – 2016. – № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 83–86.

5-А. Насковец, М.Т. Комбинированные геосинтетические прослойки для устройства лесных дорог. Конструкции и результаты лабораторных испытаний / М.Т. Насковец, М.Н. Дини // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновл. ресурсов. – 2017. – № 1. – С. 109–114.

6-А. Леонович, И.И. Лабораторные испытания упрочняющих прослоек для устройства лесных автомобильных дорог / И.И. Леонович, М.Т. Насковец, М.Н. Дини // Автомобильные дороги и мосты. – 2017. – № 1. – С. 56–60.

7-А. Насковец, М.Т. Исследование работоспособности дорожных одежд с использованием стабилизирующих геосинтетических прослоек / М.Т. Насковец, М.Н. Дини, И.Ф. Кузьмицкий // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновл. ресурсов. – 2017. – № 2. – С. 219–224.

Статьи в научных сборниках

8-А. Дини, М.Н. Опыт использования упрочняющих прослоек в конструкциях лесных дорог / М.Н. Дини, М.Т. Насковец // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. / Брянский гос. инж.-технол. ун-т; под общ. ред. Е.А. Памфилова. – Брянск, 2017. – Вып. 48. – С. 3–5.

Материалы научных конференций

9-А. Насковец, М.Т. Учет воздействия колесной нагрузки при конструировании лесных автомобильных дорог / М.Т. Насковец, Н.И. Жарков, М.Н. Дини // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 14–15 апреля 2016 г. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2016. – С. 222–223.

10-А. Дини, М. Н. Применение горизонтальных и вертикальных упрочняющих геосинтетических прослоек в конструкциях лесных дорог / М.Н. Дини, Н.И. Жарков // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апреля 2017 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2017. – С. 187–190.

Заявка на изобретение

11-А. Способ устройства дорожной одежды колеяного типа: заявка на изобретение Респ. Беларусь, МПК Е 01С 3/00 / М.Т. Насковец, М.Н. Дини; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20160341; заявл. 16.09.16.

Заявка на полезную модель

12-А. Устройство для укладки в дорожные покрытия комбинированных прослоек из геосинтетического материала: заявка на выд. патента Респ. Беларусь на полезную модель, МПК Е 01С 21/00 / М.Т. Насковец, М.Н. Дини; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № и 20170291; заявл. 28.08.17.

РЭЗІЮМЭ

Дзіні Мортэза Носрат

Павышэнне трываласці пакрыццяў лясных аўтамабільных дарог прымяненнем камбінаваных праслоек з геасінтэтычнага матэрыялу

Ключавыя словы: лясная дарога, канструкцыя пакрыцця, геасінтэтычны матэрыялы, камбінаваная праслойка, трываласць, структурная стабілізацыя, модуль пругкасці, эфектыўнасць.

Мэта працы: павышэнне трываласці лясных аўтамабільных дарог шляхам распрацоўкі канструкцый і тэхналогій будаўніцтва пакрыццяў на аснове структурна-стабілізуючых камбінаваных праслоек з геасінтэтычнага матэрыялу.

Метады даследавання і апаратура: прымяняліся метады матэматычнай статыстыкі, тэорыя планавання эксперыменту, тэорыя механікі грунтоў і пругкіх уласцівасцей матэрыялаў. Для правядзення эксперыментальных даследаванняў выкарыстоўваліся эксперыментальны стэнд з самаходнай каляскай, вагавая платформа УД-1, тензарэзістарныя пераўтваральнікі ціску, шматфункцыянальны вымяральны ўзмацняльнік Spider 8, рычажны прагібамер ПГ-1Ф.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацаваныя спосаб стабілізацыі размеркавання напружанняў па глыбіні дарожнай канструкцыі, заснаваны на ўвядзенні ў канструктыўныя пласты вертыкальна-гарызантальных праслоек з геасінтэтычнага матэрыялу, якія забяспечваюць трываласць, і на яго аснове канструкцыя пакрыцця лясных аўтамабільных дарог, якая забяспечвае зніжэнне напружання пры перадачы колавай нагрузкі і стабільную працу пакрыцця. Распрацавана новая метадыка вызначэння модуля пругкасці слаёў дарожнай канструкцыі графа-эксперыментальным спосабам, якая дазваляе вызначаць трываласныя ўласцівасці пакрыццяў дарог, што ўтрымліваюць камбінаваныя праслойкі. Упершыню атрыманы залежнасці змены напружанняў, якія ўзнікаюць пры перадачы колавай нагрузкі аўтамабіля па глыбіні канструкцыі пакрыцця з трываласнымі праслойкамі.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: вынікі даследавання прыняты да выкарыстання ў Міністэрстве лясной гаспадаркі Рэспублікі Беларусь, укаранёныя ў ДЛГУ «Лагойскі лясгас», ДДЛГУ «Асіповіцкі доследны лясгас», а таксама ў навучальны працэс на кафедры лясных дарог і арганізацыі вывазкі драўніны БДГУ.

Галіна прымянення: абгрунтаванне параметраў дарожных канструкцый і будаўніцтва лясных аўтамабільных дарог праектнымі (РУП «Белгіпрадар», РУП «Белгіпралес»), дарожна-будаўнічымі арганізацыямі, а таксама лесагаспадарчымі ўстановамі пры транспартным асваенні лясных масіваў.

РЕЗЮМЕ

Дини Мортеза Носрат

Повышение прочности покрытий лесных автомобильных дорог применением комбинированных прослоек из геосинтетического материала

Ключевые слова: лесная дорога, конструкция покрытия, геосинтетические материалы, комбинированная прослойка, прочность, структурная стабилизация, модуль упругости, эффективность.

Цель работы: повышение прочности лесных автомобильных дорог путем разработки конструкций и технологий строительства покрытий на основе структурно-стабилизирующих комбинированных прослоек из геосинтетического материала.

Методы исследования и аппаратура: применялись методы математической статистики, теория планирования эксперимента, теория механики грунтов и упругих свойств материалов. Для проведения экспериментальных исследований использовались экспериментальный стенд с самоходной тележкой, весовая платформа УД-1, тензорезисторные преобразователи давления, многофункциональный измерительный усилитель Spider 8, рычажный прогибомер ПГ-1Ф.

Полученные результаты и их новизна: разработаны способ стабилизации распределения напряжений по глубине дорожной конструкции, основанный на введении в конструктивные слои упрочняющих вертикально-горизонтальных прослоек из геосинтетического материала, и на его основе конструкция покрытия лесных автомобильных дорог, которая обеспечивает снижение напряжений при передаче колесной нагрузки и стабильную работу покрытия. Разработана новая методика определения модуля упругости слоев дорожной конструкции графо-экспериментальным способом, позволяющая определять прочностные свойства покрытий дорог, содержащих комбинированные прослойки. Впервые получены зависимости изменения напряжений, возникающих при передаче колесной нагрузки автомобиля по глубине конструкции покрытия с упрочняющими прослойками.

Рекомендации по использованию: результаты исследований приняты к использованию в Министерстве лесного хозяйства Республики Беларусь, внедрены в ГЛХУ «Логойский лесхоз», ГОЛХУ «Осиповичский опытный лесхоз», а также в учебный процесс на кафедре лесных дорог и организации вывозки древесины БГТУ.

Область применения: обоснование параметров дорожных конструкций и строительство лесных автомобильных дорог проектными (РУП «Белгипродор», РУП «Белгипролес»), дорожно-строительными организациями, а также лесохозяйственными учреждениями при транспортном освоении лесных массивов.

SUMMARY

Dini Morteza Nosrat

Strengthening of Forest Automobile Road Surface by Applying Combined Geosynthetic Interlayers

Key words: forest road, surface structure, geosynthetic materials, combined interlayer, strength, structural stabilization, modulus of elasticity, efficiency.

The purpose of the work: to strengthen the forest roads by developing structures and construction technologies of the surfaces based on structurally stabilizing combined interlayers of geosynthetic material.

Methods of research and equipment: methods of mathematical statistics, theory of experimental planning, theory of soil mechanics and elastic properties of materials were applied. For experimental studies a test bench with a self-propelled carriage, UD-1 weighting platform, strain gauge pressure transducers, a multifunctional measuring amplifier Spider 8 and a lever-type deflectometer PG-1F were used.

Findings and their originality: the method was developed for stabilizing the distribution of stresses along the depth of the road structure, based on the introduction into the structural layers of reinforcing vertical and horizontal interlayers of geosynthetic material, and on its basis the forest road surface structure, which ensures reduced stresses in the transmission of wheel loads and stable operation of the surface. The new method for determining the modulus of elasticity of road structure layers using a graphical and experimental method was developed, which makes it possible to determine the strength properties of road surfaces containing combined interlayers. For the first time there were obtained the dependences of the stresses generated during the transmission of the vehicle wheel load along the depth of the surface structure with reinforcing layers.

Recommendations for use: the research findings are accepted for use in the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, implemented in the GLHU "Logoyskiy Leskhoz", GOLHU "Osipovichy Experimental Forestry", and also in the educational process at the Department of Forest Roads and Timber Transportation of BSTU.

Scope of use: when justifying the parameters of road structures and constructing the forest roads by design (RUE "Belgiprodor", RUE "Belgiproles") and road-building organizations, as well as forestry institutions during transport development of forest areas.

Научное издание

Дини Мортеза Носрат

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОКРЫТИЙ ЛЕСНЫХ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПРИМЕНЕНИЕМ
КОМБИНИРОВАННЫХ ПРОСЛОЕК ИЗ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКОГО
МАТЕРИАЛА**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок
и лесного хозяйства

Ответственный за выпуск Дини М.Н.

Подписано в печать 22.03.2018. Формат бумаги 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 1,3. Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 60 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.