

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 630*383 : 625.7/.8

КРАСКОВСКИЙ
Станислав Владимирович

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСНЫХ ДОРОГ
С ОБЪЕМНЫМИ ГЕОРЕШЕТКАМИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
НЕПРЕРЫВНОСТИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок
и лесного хозяйства

Минск 2008

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» на кафедре транспорта леса.

Научный руководитель

Лыщик Петр Алексеевич,
кандидат технических наук, доцент,
учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»,
кафедра транспорта леса

Официальные оппоненты:

Матвейко Александр Петрович,
доктор технических наук, профессор,
учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»,
кафедра лесных машин и технологии лесозаготовок;

Штабинский Владислав Владиславович,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник дорожного управления государственного предприятия «БелдорНИИ»

Оппонирующая организация

Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет»

Защита состоится « 06 » июля 2009 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, в ауд. 240, корп. 4. Тел.: (017) 227-83-41, факс: (017) 227-62-17, электронная почта: root@bstu.unibel.by.

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

Автореферат разослан « 05 » июня 2009 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций



Мохов С. П.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность и непрерывность лесозаготовительного производства во многом предопределяются работой транспорта леса. В свою очередь, она напрямую зависит от эксплуатационного состояния и качества лесных дорог. Из общей протяженности лесных дорог дороги круглогодочного действия составляют только 12,6%, при этом их существующая густота не является оптимальной (0,222 км/км² при требуемых 0,430 км/км²). Большинство лесных дорог (90,6%) – грунтовые, которые в период весенне-осенней распутицы находятся в неудовлетворительном состоянии и становятся практически непроезжаемыми. Это вызывает простои лесовозного автотранспорта, нарушает ритмичность и снижает эффективность лесозаготовительного производства. Отрицательную лепту вносит и избыточная заболоченность территории, из-за чего на протяжении ряда последних лет ежегодно не осваивается 20–30% лесосечного фонда.

Стратегический план развития лесного хозяйства на период до 2015 г. предусматривает строительство 13,9 тыс. км дорог круглогодочного действия. Министерством лесного хозяйства на ближайшие годы намечено первоочередное строительство лесных дорог в объеме не менее 100 км в год. Наряду с необходимостью строительства остается актуальной и проблема ремонта и содержания ранее построенных лесных дорог.

С другой стороны, лесной комплекс Республики Беларусь ежегодно пополняется новыми лесовозными автопоездами повышенной грузоподъемности, для эффективной работы которых необходимо иметь качественную дорожно-транспортную сеть круглогодочного действия.

Таким образом, строительство прочных и долговечных лесных дорог круглогодочного действия является актуальной задачей для лесного комплекса, выполнить которую можно за счет применения в их конструкциях необходимых упрочняющих элементов. Использование в этом качестве геосинтетических материалов, и в частности объемных георешеток, относится к одному из наиболее перспективных направлений в практике дорожного строительства.

Данное направление является относительно новым и характеризуется при этом практически полным отсутствием нормативной базы для проектирования и расчета упрочненных дорожных конструкций.

Среди известных методов расчета дорожных конструкций с объемными георешетками преобладают эмпирические, в большинстве своем характеризующиеся узкой направленностью и значительной разрозненностью получаемых результатов. Использование существующих методов расчета также не позволяет устанавливать рациональное местоположение объемной георешетки в конструкции, достаточно полно определять прочностные характеристики упрочненного грунта и исследовать его напряженное состояние.

Вышеизложенное подтверждает, что разработка упрочненных конструкций лесных дорог круглогодочного действия, методов их расчета с обоснованием и подбором параметров объемных георешеток в зависимости от типа грунта и условий эксплуатации является актуальной задачей для транспортного освоения лесных массивов и обеспечения эффективности и непрерывности лесозаготовительного производства.

12.12.09

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами. Диссертационная работа соответствует научному направлению кафедры транспорта леса учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» и выполнялась в рамках следующих научно-исследовательских работ:

1. БС 23-207 «Разработать и внедрить в условиях производства технические решения, повышающие несущую способность грунтовых лесных дорог» (ГНПП «Леса Беларуси»), № гос. регистрации 20033191, срок выполнения 2003–2005 гг.;

2. БС 26-211 «Разработать и внедрить оптимальные схемы транспортного освоения лесов, рекомендации по созданию экономичных дорожных конструкций и технологии строительства новых и усиления существующих лесотранспортных путей для освоения труднодоступного лесосечного фонда» (ГНПП «Управление лесами и рациональное лесопользование»), № гос. регистрации 20064123, срок выполнения 2006–2010 гг.

Цели и задачи исследований. Цель работы – обеспечение непрерывности и эффективности лесозаготовительного производства за счет использования разработанных дорожных конструкций, упрочненных объемными георешетками, с учетом типа грунта и условий эксплуатации лесных дорог.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) проанализировать состояние дорожно-транспортной сети предприятий лесного комплекса, опыт использования геосинтетических материалов, и в частности объемных георешеток, в практике строительства автомобильных дорог, изучить методы расчета дорожных конструкций с объемными георешетками;

2) разработать теоретические предпосылки упрочнения лесных дорог круглогодичного действия объемными георешетками;

3) исследовать влияние параметров объемных георешеток на прочностные характеристики упрочненных грунтов;

4) разработать методику расчета и оценки напряженного состояния лесных дорог, упрочненных объемными георешетками;

5) обосновать конструкции лесных дорог, упрочненных объемными георешетками, обеспечивающие непрерывность лесозаготовительного производства;

6) провести стендовые испытания упрочненных дорожных конструкций и опытно-промышленную проверку работоспособности лесных дорог, построенных с использованием объемных георешеток, определить долговечность объемных георешеток с учетом эксплуатационных факторов.

Объектами исследования являются лесные дороги круглогодичного действия, объемные георешетки, грунты, конструктивные слои земляного полотна и дорожных одежд. Предметами исследования являются взаимосвязь грунтов и объемных георешеток, напряженное состояние упрочненных дорожных конструкций под воздействием лесовозного автотранспорта.

Положения, выносимые на защиту:

1. Рациональное местоположение объемных георешеток в конструкциях лесных дорог для конкретных типов грунтов, установленное на основе расчета аналитических зависимостей для определения напряжений в конструкциях дорог и оценки их сдвиговой прочности.

2. Метод расчета на прочность грунта, упрочненного объемной георешеткой, включающий определение характеристик его сдвиговой прочности: сцепления и коэффициента внутреннего трения композита «грунт – георешетка», коэффициента армирования.

3. Установленные закономерности влияния параметров объемных георешеток на модуль упругости упрочненных грунтов и дорожно-строительных материалов.

4. Методика расчета конструкций лесных дорог с объемными георешетками, учитывающая свойства упрочняемого грунта и используемой георешетки, позволяющая исследовать и прогнозировать напряженное состояние упрочненных дорожных конструкций.

4. Конструкции лесных дорог с объемными георешетками, обеспечивающие непрерывность лесозаготовительного производства, разработанные на основе обоснования и выбора их параметров с учетом типов грунтов и условий эксплуатации.

Личный вклад соискателя. Автор диссертации принимал непосредственное участие в постановке цели и задач исследований, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных данных, подготовке докладов и публикаций. Соавторы публикаций участвовали в обсуждении результатов исследований. Все основные результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты и положения диссертационной работы были доложены и одобрены на Международной научно-технической конференции «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии» (БГТУ, Минск, 16–18 ноября 2005 г.), 70–73 научно-технических конференциях БГТУ (Минск, 2006–2009 гг.), Международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (БРУ, Могилев, 19–20 апреля 2007 г.), 8-й Международной научно-технической конференции «Лесной комплекс: состояние и перспективы развития» (БГИТА, Брянск, 1–30 ноября 2007 г.), республиканской научно-технической конференции молодых ученых «Энерго- и ресурсосберегающие технологии при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог и мостов» (БелдорНИИ, Минск, 22–23 ноября 2007 г.), 6-й Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в строительстве автомобильных дорог, мостов и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь» (БНТУ, Минск, 17–18 декабря 2008 г.).

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 8 статей объемом 3,3 авторского листа в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК по специальности, материалы 4 научных конференций (13 страниц). Подана заявка на изобретение «Способ устройства дорожной одежды» № а20081310, заявл. 17.10.2008 г.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 6 глав, заключения, списка использованных источников и 9 приложений. Работа изложена на 152 страницах, содержит 44 иллюстрации объемом 20 страниц, 19 таблиц (12 страниц), 9 приложений (19 страниц). Библиографический список содержит 127 наименований на 11 страницах, из них 13 – собственные публикации автора на 2 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена аналитическому обзору литературных источников по теме диссертации. Проведенный анализ современного состояния дорожной лесотранспортной сети, причин разрушения и деформаций лесных дорог круглогодичного действия позволил определить природные и эксплуатационные факторы, затрудняющие эффективную и непрерывную работу лесозаготовительного производства. Снизить влияние данных факторов можно путем упрочнения лесных дорог геосинтетическими материалами, и в частности объемными георешетками (далее – георешетками).

Изучению вопросов упрочнения дорожных конструкций, технологий их строительства посвящены работы Н. П. Вырко, В. Д. Казарновского, И. И. Леонovichа, Ю. М. Львовича, С. А. Матвеева, Ю. В. Немировского, Е. С. Пшеничниковой, В. В. Штабинского, А. Н. Шуваева, В. Н. Яромко и др.

Анализ исследований, проведенных в области упрочнения дорожных конструкций георешетками, показал, что применяются в основном трудоемкие эмпирические методы. В теоретических методах расчета упрочненных дорожных конструкций отсутствуют рекомендации по установлению глубины закладки георешетки в конструкции в зависимости от типа грунта и условий эксплуатации, недостаточно полно исследовано влияние параметров георешеток на прочностные характеристики упрочненного грунта и его напряженно-деформированное состояние. При упрочнении лесных дорог круглогодичного действия георешетками данные вопросы требуют проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований.

По результатам работы над первой главой сформулированы цель и задачи исследований.

Вторая глава посвящена описанию объектов и методов проведения исследований.

Определение гранулометрического состава, верхнего и нижнего пределов пластичности, максимальной плотности и оптимальной влажности грунта осуществлялось по общепринятым в грунтоведении методикам.

Стендовые испытания моделей дорожных конструкций проводились на экспериментальном стенде кафедры транспорта леса БГТУ, включающем грунтовой канал и автоматизированную самоходную тележку для создания нагрузки от спаренного колеса лесовозного автопоезда.

Величины вертикальных сжимающих напряжений, возникающих в грунте в процессе проходов тележки, измерялись при помощи мессдоз. Для снятия показаний мессдоз применяли измерительные усилители Spider-8. Величину модуля упругости грунта определяли по значениям упругих перемещений жесткого штампа, измеряемых при помощи рычажного прогибомера.

В процессе производственных испытаний определяли скорости движения лесовозных автопоездов, измеряли глубину колеи, определяли модули упругости слоев дорожной конструкции в соответствии с действующими методиками.

Величину модуля упругости георешеток определяли по значениям упругих деформаций, замеряемых тензометром T2020 DC10 SH при растяжении образцов георешеток.

Для расчета долговечности образцы георешетки подвергали термическому анализу на дериватографе типа ОД-103 с целью определения энергии активации материала георешетки по методу Бройдо.

Третья глава посвящена разработке теоретических основ упрочнения лесных дорог круглогодичного действия георешетками. За основной критерий прочности дорожных одежд и земляного полотна лесных дорог был принят критерий сдвигоустойчивости, т. к. их разрушение определяется накоплением остаточных деформаций сдвига.

Для расчета напряжений в грунте как упруго-линейном полупространстве использовали зависимости Буссинеска. Эти зависимости позволяют определять напряжения, возникающие от действия сосредоточенной силы, приложенной к границе полупространства. При переходе от сосредоточенной силы к нагрузке, распределенной по площади отпечатка колеса автомобиля, получены зависимости для расчета напряжений в грунте:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= -q \left(1 - z^3 / \sqrt{(R^2 + z^2)^3} \right), \\ \sigma_3 &= -q \left[(1 + \mu) \left(1 - z / \sqrt{R^2 + z^2} \right) - \frac{1}{2} \left(1 - z^3 / \sqrt{(R^2 + z^2)^3} \right) \right],\end{aligned}\tag{1}$$

где σ_1 , σ_3 – соответственно максимальные и минимальные нормальные напряжения, МПа; q – нагрузка, передаваемая от колеса автомобиля на поверхность полупространства, МПа; z – глубина определения напряжений, м; R – радиус круга, равновеликого по площади отпечатку колеса, м; μ – коэффициент Пуассона грунта.

С помощью зависимостей (1) можно оценить прочность грунтов при сложном напряженном состоянии.

Согласно теории прочности Мора – Кулона, наиболее применимой к грунтам, предельное состояние в них наступает при равенстве максимального касательного τ_{\max} и предельного касательного $\tau_{\text{пр}}$ напряжений, т. е. при $\tau_{\max} = \tau_{\text{пр}}$. Отнеся эти напряжения к нагрузке q , условие предельного состояния грунтов при сдвиге можно записать в следующем виде:

$$T_{\max} = T_{\text{пр}} \quad \text{или} \quad \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2q} = \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_3 + 2H}{2q} \right) \sin \varphi_w,\tag{2}$$

где $T_{\max} = \tau_{\max} / q$; $T_{\text{пр}} = \tau_{\text{пр}} / q$; $\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$, МПа; $\tau_{\text{пр}} = (\sigma_1 + \sigma_3 + 2H) \sin \varphi_w / 2$, МПа; $H = c_w / \text{tg} \varphi_w$, МПа; c_w , φ_w – соответственно сцепление (МПа) и угол внутреннего трения грунта, зависящие от его плотности – влажности и числа приложенной нагрузки N ; $\text{tg} \varphi_w = f_w$ – коэффициент внутреннего трения.

Выполненные согласно условию (2) расчеты показали: под воздействием лесовозного автотранспорта, приведенного к расчетному автомобилю группы А ($q = 0,6$ МПа, $R = 0,185$ м), в конструкциях лесных дорог из песчаных, глинистых грунтов, песчано-гравийных смесей на определенной глубине наступает предельное состояние (таблица 1).

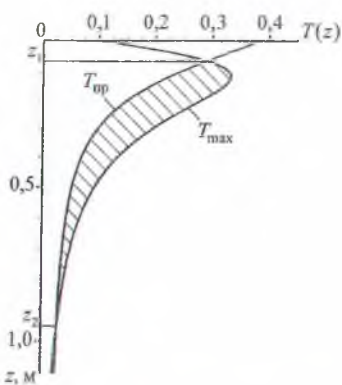


Рисунок 1 – Предельное состояние в суглинке при $W = 0,6$ и $N = 10^3$

Например, в суглинке при влажности $W = 0,6$ (в долях от влажности на границе текучести грунта W_T) и числе приложенных нагрузки $N = 10^3$ предельное состояние наступает на глубине z_1 и прекращается на глубине z_2 (рисунок 1). В области между этими точками сдвигающие напряжения превышают предельно допустимые.

Согласно условию (2) установлено, что для одного и того же типа грунта с возрастанием числа приложенных нагрузки N и относительной влажности W области предельного состояния увеличиваются, при этом глубина наступления предельного состояния уменьшается (таблица 1).

Таблица 1 – Глубина наступления предельного состояния в грунтах и песчано-гравийных смесях

Влажность грунта W в долях от W_T	Глубина (см) при числе приложенных нагрузки N			
	10^3	10^4	10^5	10^6
<i>Пески крупные / пески средней крупности / пески мелкие</i>				
Поры грунта полностью заполнены водой	9 / 8 / 7	9 / 8 / 7	8 / 8 / 7	8 / 7 / 6
<i>Суглинки</i>				
0,6...0,9	7...5	5...2	3...2	2...1
<i>Суглинки (глины)</i>				
0,6...0,9	7...1	4...0	3...0	2...0
<i>Песчано-гравийные смеси</i>				
—	18	15	13	11
Примечание: W_T – влажность грунта на границе его текучести.				

Предельное состояние приводит к накоплению остаточных деформаций в дорожной конструкции и способствует образованию колеи. Для предотвращения или снижения интенсивности накопления остаточных деформаций в дорожной конструкции рекомендуется использовать георешетку, перекрывающую область наиболее опасных напряжений сдвига. При этом глубина закладки георешетки назначается с учетом глубины наступления предельного состояния в грунтах и не должна превышать значений, приведенных в таблице 1.

Четвертая глава посвящена исследованиям свойств упрочненных грунтов, их напряженного состояния, а также разработке и обоснованию конструкций лесных дорог с георешетками.

Георешетка состоит из лент, которые через определенные промежутки соединены между собой с помощью швов и при растяжении в поперечном направлении образуют сотовую структуру. Ячейки этой сотовой структуры имеют форму, состоящую из прямолинейных и небольших криволинейных участков. Поскольку эта форма близка к ромбической, то в качестве расчетной схемы ре-

альной ячейки георешетки была принята ячейка в виде ромба.

При заполнении ячеек грунтом образуется композит «грунт – георешетка» с характерным повторяющимся элементом $ABCD$ (рисунок 2). Предельное сопротивление сдвигу данного элемента и в целом композита определяется силами сдвига, воспринимаемыми грунтом и георешеткой в предельном состоянии.

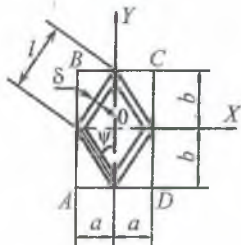


Рисунок 2 – Характерный повторяющийся элемент композита «грунт – георешетка»

При этом сдвиговую прочность композита характеризуют сцепление c_0 и коэффициент внутреннего трения композита f_0 , определяемые по формулам

$$c_0 = c_w + k(\tau_p - c_w), \quad f_0 = f_w(1 - k), \quad (3)$$

где $k = A_p / A_k$ – коэффициент армирования; A_p, A_k – площади соответственно георешетки и композита в пределах рассматриваемого элемента $ABCD$, см²; τ_p – предельное сопротивление сдвигу материала георешетки, МПа.

С учетом принятых обозначений (рисунок 2) можно записать, что $A_p = 4\delta l$, $A_k = 4ab$, и определить, тем самым, коэффициент армирования k по формуле

$$k = \delta l / (ab) = \delta / (l \sin \psi \cos \psi), \quad (4)$$

где δ – толщина ребра георешетки, см; l – длина грани ячейки, см; a, b – размеры ячейки в плане, зависящие от угла ψ между двумя ребрами ячейки, см.

При оценке влияния георешеток на модуль упругости композита «грунт – георешетка» в расчетах исходили из теории армированных материалов и допускали, что грунт и материал георешетки являются линейно-упругими материалами. Были получены зависимости для определения модуля упругости композита в различных направлениях:

в направлении оси Z , перпендикулярной плоскости XOY ,

$$E_z = E_r + k(E_p - E_r); \quad (5)$$

в направлении оси Y

$$E_y = \frac{E_r}{C_y} + \frac{\delta}{a} \left(E_p - \frac{E_r}{C_y} \right) \cos \psi, \quad C_y = 1 - \frac{\delta}{b} \left(1 - \frac{E_r}{E_p} \right) \sin \psi; \quad (6)$$

в направлении оси X

$$E_x = \frac{E_r}{C_x} + \frac{\delta}{b} \left(E_p - \frac{E_r}{C_x} \right) \sin \psi, \quad C_x = 1 - \frac{\delta}{a} \left(1 - \frac{E_r}{E_p} \right) \cos \psi, \quad (7)$$

где E_r, E_p – модули упругости соответственно грунта и георешетки, МПа.

Проведена оценка влияния георешетки «Белгеосот» из полиэтиленовых полос ($E_p = 1193$ МПа) и георешетки «Комета» из полос полиэфирного иглопробивного полотна ($E_p = 75$ МПа) на модуль упругости упрочненных грунтов и песчано-гравийных смесей.

Установлено: решающее значение на модуль упругости композита оказывают длина граней ячеек l и модуль упругости материала георешетки E_p , причем уменьшение длины граней ячеек l пропорционально увеличению модуля упругости композита; при снижении угла ψ модуль упругости композита в направлении осей Z и Y увеличивается, а в направлении оси X снижается.

Например, при использовании георешетки «Белгеосот» с длиной граней ячеек $l = 10$ см максимальное (в направлении оси Z) увеличение модуля упругости составляет для песков 24,5–80,2%, супесей 30,1–140,2%, суглинков и глин 30,1–152,6%, песчано-гравийных смесей 10,8–20,9%.

Георешетка «Комета» с длиной граней ячеек $l = 10$ см позволяет увеличить модуль упругости супесей всего на 8,8%, суглинков и глин на 9,9%, а в случае с песками и песчано-гравийными смесями даже уменьшает его на 1,9–3,1%.

Разработана методика расчета конструкций лесных дорог с георешетками и проведена оценка их напряженного состояния с использованием теории прочности Мора – Кулона. Расчетная конструкция состоит из верхнего грунтового слоя толщиной h_c , соответствующей глубине наступления предельного состояния в грунте, упрочненного слоя толщиной h_y , соответствующей высоте георешетки, и нижнего грунтового слоя. На поверхность дороги воздействует вертикальная нагрузка q , равномерно распределенная по площади круга радиусом R (рисунок 3).

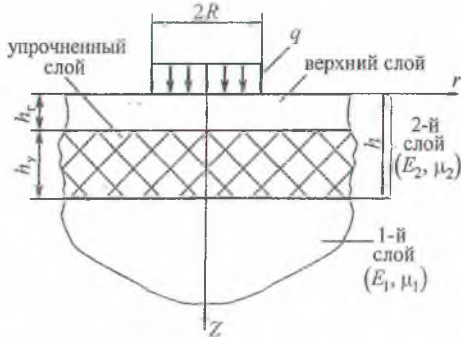


Рисунок 3 – Расчетная схема конструкции упрочненной лесной дороги

Для упрощения расчетов при определении напряжений дорожная конструкция была приведена к двухслойной. Нижним (первым) слоем считали подстилающий грунт, а вторым слоем толщиной h – слой, состоящий из упрочненного и верхнего слоев грунта. При этом первый слой характеризуется модулем упругости E_1 и коэффициентом Пуассона μ_1 , а второй слой – средневзвешенными модулем упругости E_2 и коэффициентом Пуассона μ_2 .

Для расчета напряжений σ_z и σ_r (МПа) в первом и втором слоях использовали функцию напряжений Эри, предложенную К. К. Туроверовым. Ниже приведены выражения для определения напряжений в первом и втором слоях в наиболее опасных точках, т. е. в точках, лежащих на оси Z . В первом слое

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{1(z)} = -\sigma_{z(1)} &= q\beta \int_0^{\infty} \frac{k_4 + k_3(1 - \alpha(1 - \eta))}{k_1 k_4 + k_2 k_3} e^{-\alpha\eta} J_1(\beta\alpha) d\alpha, \\ \sigma_{3(z)} = -\sigma_{r(1)} &= -\frac{q\beta}{2} \int_0^{\infty} \frac{k_4 - k_3(1 + 2\mu_1 + \alpha(1 - \eta))}{k_1 k_4 + k_2 k_3} e^{-\alpha\eta} J_1(\beta\alpha) d\alpha, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

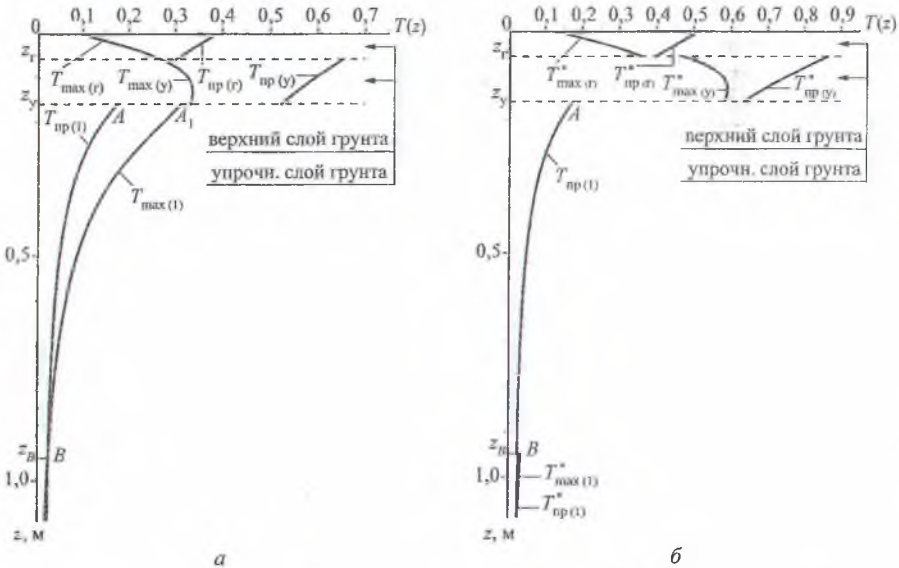
во втором слое

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{1(2)} = -\sigma_{z(2)} &= q\beta \int_0^{\infty} \frac{s_1 k_4 + s_2 k_3}{k_1 k_4 + k_2 k_3} e^{-\alpha \eta} J_1(\beta \alpha) d\alpha, \\ \sigma_{3(2)} = -\sigma_{r(2)} &= \frac{q\beta}{2} \int_0^{\infty} \frac{s_4 k_3 - s_3 k_4}{k_1 k_4 + k_2 k_3} e^{-\alpha \eta} J_1(\beta \alpha) d\alpha, \end{aligned} \right\} (9)$$

где $\beta = R/h$; $\eta = z/h$; $J_1(\beta\alpha)$ – функция Бесселя первого рода первого порядка; s_i, k_i – функции параметра интегрирования α .

С использованием зависимостей (8)–(9) согласно условию (2) построены графики изменения T_{\max} и $T_{\text{пр}}$ в верхнем, упрочненном и нижнем слоях грунта (рисунков 4, а) для упрочненной дорожной конструкции из супеси с относительной влажностью $W = 0,6W_T$ при числе приложенной нагрузки $N = 10^3$. При этом для верхнего и нижнего слоев принимали значения сцепления и угла внутреннего трения неупрочненного грунта, а для упрочненного слоя – значения сцепления и угла внутреннего трения композита «грунт – георешетка».

Анализ графиков показывает, что на глубине от z_y до z_B часть нижнего слоя грунта находится в предельном состоянии, и поэтому в ней будут возникать остаточные деформации (область AA_1B). Однако появление предельных напряжений компенсируется увеличением напряжений в слоях, работающих в упругой стадии. При этом эти слои грунта берут на себя дополнительные напряжения пропорционально их модулям упругости, т. е. если в неупрочненных грунтовых слоях напряжения увеличатся в n раз, то в упрочненном слое – в nE_y/E_r раз.



а – в предположении, что все слои работают в упругой стадии; б – с учетом того, что часть нижнего слоя грунта на глубине от z_y до z_B находится в предельном состоянии
Рисунок 4 – Графики изменения T_{\max} и $T_{\text{пр}}$ в дорожной конструкции, упрочненной георешеткой «Белгеосот» ($l = 20$ см, $h_y = 10$ см), при $W = 0,6$ и $N = 10^3$

Коэффициент компенсации напряжений n определяется из условия равенства компенсирующих напряжений и напряжений, попавших в область остаточных деформаций, по формуле

$$n = (\omega_n + \omega_r + \omega_y + \omega_1) / (\omega_r + \omega_y (E_y / E_r) + \omega_1), \quad (10)$$

где ω_n – площадь эпюры напряжений, попавших в область AA_1B , м; ω_r , ω_y , ω_1 – площади эпюр напряжений соответственно в верхнем, упрочненном и нижнем слоях грунта, м; E_y – модуль упругости упрочненного грунта, МПа.

Определение максимальных и предельных касательных напряжений с учетом n позволяет построить графики изменения T^*_{\max} и $T^*_{\text{пр}}$ (рисунок 4, б) в слоях дорожной конструкции. Как видно, T^*_{\max} в верхнем и упрочненном слоях грунта по величине не превышают $T^*_{\text{пр}}$ в этих слоях. Это означает, что дорожная конструкция будет работать практически без накопления остаточных деформаций. В обратном случае необходимо было бы увеличить толщину упрочненного слоя h_y или уменьшить длину граней ячеек l .

Результаты расчетов для дорожной конструкции из супеси, упрочненной георешеткой «Белгеосот», при различной длине граней l и высоте ячеек h_y , георешетки приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Наличие зон остаточных деформаций в упрочненной дорожной конструкции из супеси с влажностью $W = 0,6W_t$

Параметры ячеек георешетки		Число приложений нагрузки N			
длина граней l , см	высота h_y , см	10^3	10^4	10^5	10^6
10	10				
	15; 20				
20	10				
	15				
	20				
30	10				
	15				
	20				
40	10; 15; 20				

Примечание: – параметры георешетки оптимальны, остаточные деформации в слоях практически отсутствуют; – параметры георешетки оптимальны не в полной мере, остаточные деформации появляются в упрочненном слое; – георешетку с такими параметрами применять не рекомендуется, остаточные деформации появляются во всех слоях.

Как видно из таблицы 2, с увеличением длины граней ячеек l и числа приложений нагрузки N вариативность в выборе георешетки с оптимальными параметрами снижается, а при увеличении высоты ячеек h_y повышается.

В соответствии с разработанной методикой расчета аналогично вышеописанному подходу (таблица 2) установлены оптимальные параметры георешетки «Белгеосот» для конкретных типов грунтов и песчано-гравийных смесей (ПГС) с учетом их влажности W , числа приложений нагрузки N .

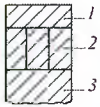
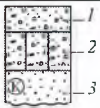
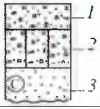
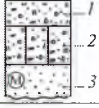
На основании этого в соответствии с расчетной схемой (рисунок 3) разработаны конструкции лесных дорог, упрочненных георешетками «Белгеосот»

при различном числе приложений нагрузки N и различном сочетании параметров ячеек георешетки (таблица 3).

Таблица 3 – Разработанные конструкции лесных дорог круглогодого действия, упрочненных георешетками «Белгеосот»

Влажность грунта W в долях от W_T	Схема конструкции	Толщина слоев 1, 2 (длина граней ячеек), см при числе приложений нагрузки N			
		10^3	10^4	10^5	10^6
<i>Пески крупные: 1, 3 – верхний и нижний слой; 2 – упрочненный слой</i>					
Поры грунта полностью заполнены водой		1: ≤ 9 2: 10 ($l \leq 30$); 15–20 ($l \leq 40$)	1: ≤ 9 2: 10–15 ($l \leq 30$); 20 ($l \leq 40$)	1: ≤ 8 2: 10–15 ($l \leq 30$); 20 ($l \leq 40$)	1: ≤ 8 2: 10 ($l \leq 20$); 15–20 ($l \leq 30$)
<i>Пески средней крупности: 1, 3 – верхний и нижний слой; 2 – упрочненный слой</i>					
Поры грунта полностью заполнены водой		1: ≤ 8 2: 10–15 ($l \leq 30$); 20 ($l \leq 40$)	1: ≤ 8 2: 10 ($l \leq 20$); 15 ($l \leq 30$); 20 ($l \leq 40$)	1: ≤ 8 2: 10 ($l \leq 20$); 15–20 ($l \leq 30$)	1: ≤ 7 2: 10–15 ($l \leq 20$); 20 ($l \leq 30$)
<i>Пески мелкие: 1, 3 – верхний и нижний слой; 2 – упрочненный слой</i>					
Поры грунта полностью заполнены водой		1: ≤ 7 2: 10 ($l \leq 20$); 15–20 ($l \leq 30$)	1: ≤ 7 2: 10 ($l \leq 20$); 15–20 ($l \leq 30$)	1: ≤ 7 2: 10–15 ($l \leq 20$); 20 ($l \leq 30$)	1: ≤ 6 2: 10 ($l = 10$); 15 ($l \leq 20$); 20 ($l \leq 30$)
<i>Супеси: 1, 3 – верхний и нижний слой; 2 – упрочненный слой</i>					
0,60		1: ≤ 7 2: 10 ($l \leq 20$); 15–20 ($l \leq 30$)	1: ≤ 5 2: 10–15 ($l = 10$); 20 ($l \leq 20$)	1: ≤ 3 2: 15–20 ($l = 10$)	1: ≤ 2 2: 15–20 ($l = 10$)
0,65; 0,70		1: ≤ 6 2: 10–15 ($l \leq 20$); 20 ($l \leq 30$)	1: ≤ 4 2: 10–15 ($l = 10$); 20 ($l \leq 20$)	1: ≤ 3 2: 15–20 ($l = 10$)	1: ≤ 2 2: 15–20 ($l = 10$)
0,75; 0,80		1: ≤ 6 2: 10 ($l = 10$); 15 ($l \leq 20$); 20 ($l \leq 30$)	1: ≤ 4 2: 10–15 ($l = 10$); 20 ($l \leq 20$)	1: ≤ 3 2: 15–20 ($l = 10$)	1: ≤ 2 2: 15–20 ($l = 10$)
0,85		1: ≤ 6 2: 10 ($l = 10$); 15 ($l \leq 20$); 20 ($l \leq 30$)	1: ≤ 3 2: 15–20 ($l = 10$)	1: ≤ 2 2: 15–20 ($l = 10$)	1: ≤ 2 2: 20 ($l = 10$)
0,90		1: ≤ 5 2: 10–15 ($l = 10$); 20 ($l \leq 20$)	1: ≤ 2 2: 15–20 ($l = 10$)	1: ≤ 2 2: 20 ($l = 10$)	1: ≤ 1 2: 20 ($l = 10$)
<i>Суглинки (глины): 1, 3 – верхний и нижний слой; 2 – упрочненный слой</i>					
0,60		1: ≤ 7 2: 10 ($l \leq 30$); 15–20 ($l \leq 40$)	1: ≤ 4 2: 10 ($l = 10$); 15–20 ($l \leq 20$)	1: ≤ 3 2: 10–15 ($l = 10$); 20 ($l \leq 20$)	1: ≤ 2 2: 15 ($l = 10$); 20 ($l \leq 20$)
0,65		1: ≤ 5 2: 10 ($l = 10$); 15 ($l \leq 20$); 20 ($l \leq 30$)	1: ≤ 3 2: 10–15 ($l = 10$); 20 ($l \leq 20$)	1: ≤ 2 2: 15–20 ($l = 10$)	1: ≤ 1 2: 20 ($l = 10$)

Окончание таблицы 3

Влажность грунта W в долях от W_T	Схема конструкции	Толщина слоев 1, 2 (длина граней ячеек), см при числе приложений нагрузки N			
		10^3	10^4	10^5	10^6
0,70		1: ≤ 3 2: 15 ($l=10$); 20 ($l \leq 20$)	1: ≤ 2 2: 15–20 ($l=10$)	1: ≤ 1 2: 20 ($l=10$)	1: ≤ 1 2: 20 ($l=10$)
0,75		1: ≤ 2 2: 15–20 ($l=10$)	1: ≤ 1 2: 20 ($l=10$)	1: 0 2: 20 ($l=10$)	1: 0 2: 20 ($l=10$)
0,80		1: ≤ 2 2: 20 ($l=10$)	1: 0 2: 20 ($l=10$)	Применение георешетки в данном случае нецелесообразно	
0,85; 0,90		1: ≤ 1 2: 20 ($l=10$)	Применение георешетки в данном случае нецелесообразно		
<i>ПГС: 1 – верхний слой; 2 – укрепленный слой + Пески крупные; 3 – нижний слой</i>					
Поры грунта полностью заполнены водой		1: ≤ 18 2: 10–20 ($l \leq 40$)	1: ≤ 15 2: 10–20 ($l \leq 40$)	1: ≤ 13 2: 10 ($l \leq 30$); 15–20 ($l \leq 40$)	1: ≤ 11 2: 10 ($l \leq 30$); 15–20 ($l \leq 40$)
<i>ПГС: 1 – верхний слой; 2 – укрепленный слой + Пески средней крупности; 3 – нижний слой</i>					
Поры грунта полностью заполнены водой		1: ≤ 18 2: 10 ($l \leq 30$); 15–20 ($l \leq 40$)	1: ≤ 15 2: 10 ($l \leq 30$); 15–20 ($l \leq 40$)	1: ≤ 13 2: 10–15 ($l \leq 30$); 20 ($l \leq 40$)	1: ≤ 11 2: 10–15 ($l \leq 30$); 20 ($l \leq 40$)
<i>ПГС: 1 – верхний слой; 2 – укрепленный слой + Пески мелкие; 3 – нижний слой</i>					
Поры грунта полностью заполнены водой		1: ≤ 18 2: 10–15 ($l \leq 30$); 20 ($l \leq 40$)	1: ≤ 15 2: 10–15 ($l \leq 30$); 20 ($l \leq 40$)	1: ≤ 13 2: 10 ($l \leq 20$); 15–20 ($l \leq 30$)	1: ≤ 11 2: 10 ($l \leq 20$); 15–20 ($l \leq 30$)

Предложенные конструкции лесных дорог, укрепленных георешетками «Белгеосот», разработаны впервые. Они отражают принципиально новый подход к их разработке и в зависимости от конкретных природно-производственных условий могут быть изменены.

Аналогичные расчеты были проведены для дорожных конструкций, укрепленных георешетками «Комета» с длиной граней ячеек $l = 10-40$ см и высотой $h_y = 15-20$ см. Однако, ввиду невысокой прочности георешетки «Комета», параметры ее ячеек не могут быть оптимальными во многих случаях. Они позволяют лишь снизить величину остаточных деформаций в слоях дорожной конструкции, не предотвращая в целом их появление.

В пятой главе приведены результаты сравнительных стендовых испытаний моделей разработанных укрепленных и неупрочненных дорожных конструкций. Испытания проводились с целью подтвердить влияние георешеток на прочность и напряженно-деформированное состояние лесных дорог.

Для определения модуля упругости грунта на грунтовом канале было заложено три модельных участка длиной 1,5 м, шириной 1,2 м и глубиной 0,7 м, грунт – суглинок. Участок без георешетки был контрольным. На втором и третьем участках верхние слои грунта упрочняли георешетками «Белгеосот» и «Коме-

та» с длиной граней ячеек соответственно 16 см и 20 см и высотой 15 см и 10 см. Над георешетками был устроен защитный слой из грунта толщиной 0,5 см.

Испытания показали, что на участке с георешеткой «Белгеосот» модуль упругости упрочненного грунта (80,7 МПа) выше модуля упругости неупрочненного грунта (50,7 МПа) на 59,2%. На участке с георешеткой «Комета» упрочняющий эффект значительно меньше – модуль упругости упрочненного грунта (55,6 МПа) выше модуля упругости неупрочненного грунта на 9,7%. При этом значение модуля упругости в случае с георешеткой «Белгеосот» оказалось даже выше рассчитанного по предложенным нами зависимостям на 11,9%, в случае с георешеткой «Комета» – на 8,6%.

Для исследования напряженно-деформированного состояния было заложено два модельных участка длиной 1,5 м, шириной 1,2 м и глубиной 0,6 м. Первый участок устраивали без георешетки и считали контрольным. На втором участке верхний слой грунта упрочняли георешеткой «Белгеосот» (рисунок 5, а). Толщина слоя над георешеткой составляла 5 см, что практически соответствовало глубине наступления предельного состояния в суглинке.



а



б

а – с георешеткой «Белгеосот»; б – с георешеткой «Комета»

Рисунок 5 – Устройство модельных участков

В процессе испытаний при проходах тележки измеряли вертикальные сжимающие напряжения мессдозами, которые закладывали на различной глубине участков по центру одного из колес. Величины напряжений записывались при помощи усилителей Spider-8. Нагрузка, передаваемая на поверхность участков, составляла 0,4 МПа, количество проходов тележки – 40.

Результаты измерений напряжений на модельных участках свидетельствуют о хорошей сходимости экспериментальных значений со значениями, рассчитанными по предложенным нами зависимостям. Разница составляет в среднем для участка с георешеткой «Белгеосот» 12,7%, для участка без георешетки – 18,0%. При этом в верхних слоях на двух участках экспериментальные значения несколько ниже теоретических, а в нижних – наоборот.

В ходе испытаний после определенного числа проходов тележки замерялась глубина колеи, фиксировался характер образования остаточных деформаций. На участке с георешеткой «Белгеосот» глубина колеи составила доли миллиметра,

т. е. при 40 проходах тележки образование колеи практически не происходило. На участке без георешетки наиболее интенсивно колея образовывалась при первых 12 проходах, стабилизировалась после 30 проходов, в конечном итоге ее глубина составила 2,2 см.

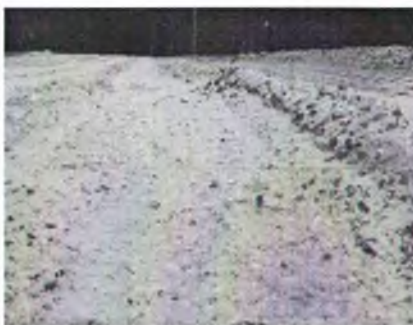
Для оценки влияния георешетки «Комета» на деформированное состояние дорожной конструкции было заложено два модельных участка длиной 2,2 м, шириной 1,2 м и глубиной 0,4 м. Верхний слой на контрольном участке без георешетки представлял собой покрытие из песчано-гравийной смеси толщиной 10 см. На участке с георешеткой (рисунок 5, б) покрытие из песчано-гравийной смеси укладывалось на упрочненное георешеткой грунтовое основание.

Установлено, что образование колеи на участках наиболее интенсивно происходило при первых 12 проходах. После 70 проходов глубина колеи стабилизировалась и в итоге на участке без георешетки составила 4,95 см, а на участке с георешеткой «Комета» – 3,65 см (т. е. на 35% меньше).

Таким образом, результаты стендовых испытаний показали хорошую согласованность с результатами теоретических исследований и подтвердили положительное влияние георешеток «Белгеосот» и «Комета» на прочность и напряженно-деформированное состояние лесных дорог круглогодочного действия.

В шестой главе на основании результатов проведенных производственных испытаний обоснована эффективность практического применения конструкций лесных дорог круглогодочного действия с георешетками. Опытно-промышленная проверка работоспособности дорожных конструкций проводилась на территории ГОЛХУ «Сморгонский опытный лесхоз», где в 2005 году был устроен опытный участок на лесной дороге круглогодочного действия. На этом участке дорожную одежду толщиной 10 см из песчано-гравийной смеси упрочняли георешеткой «Комета» с длиной граней ячеек 20 см и высотой 10 см.

В процессе производственных испытаний проводили сравнительные исследования эксплуатационного состояния опытного участка с георешеткой и контрольного участка без георешетки, показанных на рисунке 6.



а



б

Рисунок 6 – Общий вид контрольного (а) и опытного (б) участков (2006 год)

Испытания проводили в течение трех лет эксплуатации лесной дороги, в ходе которых подтвердилось влияние георешетки на интенсивность колесобра-

зования. Глубина колеи на опытном участке составила 4,9 см, в то время как на контрольном участке – 7,0 см, т. е. на 43% больше. При этом модуль упругости дорожных одежд на участках оказался практически одинаковым – соответственно 186 МПа и 187 МПа. Эти данные согласуются с результатами как стендовых испытаний, так и теоретических исследований, проведенных с георешеткой «Комета».

Испытания также показали, что за счет более высокого эксплуатационного состояния покрытия средняя скорость движения в грузовом направлении на опытном участке с георешеткой составила 10,26 м/с, на контрольном участке – 9,08 м/с, т. е. меньше на 11,5%.

Для расчета долговечности георешетки в конструкции лесной дороги извлекали ее образцы и подвергали термическому анализу с целью определения энергии активации материала георешетки. С учетом воздействия эксплуатационных факторов (жидкой фазы грунта и его кислотности, механических нагрузок, температуры дорожной конструкции), снижающих энергию активации, расчетная долговечность георешетки составила более 50 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Определено рациональное местоположение георешеток в дорожной конструкции для конкретных типов грунтов с учетом их влажности и числа приложенных нагрузок. Георешетки необходимо закладывать на глубине не более: для песчаных грунтов 6–9 см, для супесей 1–7 см, для суглинков и глин 0–7 см, для песчано-гравийных смесей 10–18 см [1, 7, 13].

2. Установлено, что сдвиговая прочность упрочненного грунта оценивается сцеплением и коэффициентом внутреннего трения композита «грунт – георешетка». Величины сцепления и коэффициента внутреннего трения композита зависят от свойств грунта, георешетки и коэффициента армирования. Коэффициент армирования зависит от параметров ячеек георешетки, увеличивается с уменьшением их размеров и колеблется в диапазоне 0,008–0,051 [5, 11, 12].

3. Получены зависимости для определения модуля упругости композита «грунт – георешетка». Установлены закономерности влияния на его величину параметров ячеек георешетки. Показано, что георешетка «Белгеосот» позволяет увеличить модуль упругости песков на 24,5–80,2%, супесей на 30,1–140,2%, суглинков и глин на 30,1–152,6%, песчано-гравийных смесей на 10,8–20,9%. Применение георешетки «Комета» позволяет увеличить модуль упругости супесей на 8,8%, суглинков и глин на 9,9%, а в случае с песками и песчано-гравийными смесями даже уменьшает его на 1,9–3,1% [4].

4. Разработана методика расчета и оценки напряженного состояния конструкций лесных дорог, упрочненных георешетками, которая позволяет: учитывать свойства упрочняемого грунта и используемой георешетки; прогнозировать напряженное состояние конструкции; минимизировать необходимость проведения трудоемких лабораторных и производственных испытаний дорожных конструкций с георешетками и проводить их подбор на стадии проектиро-

вания. Установлено, что вариативность в выборе георешетки уменьшается при увеличении длины граней ячеек от 10 см до 40 см и числа приложений нагрузки от 10^3 до 10^6 [7, 8].

5. На основе разработанных методик расчета упрочненных грунтов разработаны конструкции лесных дорог круглогодичного действия, упрочненных георешетками, с конструктивными слоями из лесчаных, глинистых грунтов и песчано-гравийных смесей [7];

6. Результаты стендовых испытаний модельных участков дорожных конструкций с георешетками «Белгеосот» и «Комета» показали, что их применение позволяет создать слой грунта повышенной прочности.

На участке с георешеткой «Белгеосот» модуль упругости упрочненного грунта выше модуля упругости неупрочненного грунта на 59,2%, а на участке с георешеткой «Комета» – на 9,7% [6].

Применение георешетки «Белгеосот» позволило практически полностью предотвратить появление остаточных деформаций и, тем самым, образование колеи [6]. Применение георешетки «Комета» позволило снизить глубину колеи на 35% по сравнению с участком без георешетки [2, 9].

7. Проводимые в течение трех лет опытно-производственные испытания на опытном участке лесной дороги круглогодичного действия, упрочненной георешеткой «Комета», подтвердили его повышенную работоспособность. Применение георешетки «Комета» позволило снизить глубину колеи на опытном участке на 43%, обеспечить более высокие в среднем на 11,5% скорости движения по нему. Долговечность георешетки в конструкции лесной дороги составляет более 50 лет. Опытный участок с георешеткой эксплуатируется с 2005 года по настоящее время [3, 10].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Результаты диссертационной работы использованы при строительстве лесохозяйственной дороги на территории ГЛХУ «Быховский лесхоз», а также включены в проекты строительства лесохозяйственных автомобильных дорог на территории ГЛХУ «Шумилинский лесхоз», ГОЛХУ «Сморгонский опытный лесхоз» с применением георешетки «Белгеосот».

Выполненные применительно к ГОЛХУ «Сморгонский опытный лесхоз» технико-экономические расчеты подтверждают эффективность строительства конструкций лесных дорог с георешетками. За счет снижения себестоимости вывозки древесины на 34,4 руб./($1 \text{ м}^3 \cdot \text{км}$) при повышении прочности и долговечности лесной дороги на основе георешеток можно достичь годового экономического эффекта в размере 12899,3 тыс. руб. (в ценах 2006 года).

2. Разработанные метод расчета на прочность и методика оценки напряженного состояния конструкций лесных дорог с георешетками внедрены в учебный процесс на кафедре транспорта леса БГТУ по дисциплинам «Сухопутный транспорт леса», «Строительство и эксплуатация лесовозных дорог».

3. Результаты исследований рекомендуются организациям, осуществляющим проектирование и строительство лесных дорог, а также фирмам-изготовителям георешеток.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК

1. Лыщик, П. А. Исследование напряженного состояния в грунтовой дорожке под воздействием колес лесовозного автопоезда / П. А. Лыщик, С. С. Макаревич, С. В. Красковский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 56–58.

2. Лыщик, П. А. Усиление лесных дорог объемными георешетками / П. А. Лыщик, С. В. Красковский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 116–118.

3. Лыщик, П. А. Долговечность объемных георешеток в конструкциях лесных дорог / П. А. Лыщик, С. В. Красковский, Н. Р. Прокопчук // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 129–132.

4. Лыщик, П. А. Определение модулей упругости грунта, армированного объемной георешеткой / П. А. Лыщик, С. С. Макаревич, С. В. Красковский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С. 113–116.

5. Лыщик, П. А. Сопrotивление сдвигу грунта, армированного объемной георешеткой / П. А. Лыщик, С. С. Макаревич, С. В. Красковский // Вестник БНТУ. – 2007. – № 4. – С. 5–8.

6. Красковский, С. В. Лабораторные испытания дорожных конструкций, армированных объемными георешетками / С. В. Красковский, П. А. Лыщик // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 127–131.

7. Красковский, С. В. Расчет и оптимизация конструкций лесных дорог, армированных объемными георешетками / С. В. Красковский, П. А. Лыщик, С. С. Макаревич // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 65–69.

8. Лыщик, П. А. Расчет на прочность по предельному состоянию сдвига дорожной конструкции, армированной объемной георешеткой / П. А. Лыщик, С. С. Макаревич, С. В. Красковский // Автомобильные дороги и мосты. – 2008. – № 1. – С. 53–60.

Материалы конференций:

9. Лыщик, П. А. Использование георешеток для упрочнения лесных дорог / П. А. Лыщик, С. В. Красковский // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 ноября 2005 г. / БГТУ; ред. кол. И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2005. – Ч. 2. – С. 245–247.

10. Красковский, С. В. Опытное строительство лесных дорог с применением объемных георешеток / С. В. Красковский, П. А. Лыщик // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам 8-й междунар. науч.-техн. конф. «Лесной комплекс: состояние и перспективы развития», Брянск, 1–30 ноября 2007 г. / БГИТА; ред. кол. Е. А. Памфилов [и др.]. – Брянск, 2007. – Вып. 20. – С. 47–50.

11. Красковский, С. В. Сдвиговая прочность грунта, армированного объ-

емной георешеткой / С. В. Красковский // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф.*, Могилев, 19–20 апреля 2007 г. / Белорусско-Российский университет; ред. кол. И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2007. – Ч. 2. – С. 107–108.

12. Красковский, С. В. Применение объемных георешеток для армирования лесных дорог / С. В. Красковский, П. А. Лыщик // *Инновационные технологии в строительстве автомобильных дорог, мостов и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь: материалы междунар. науч.-техн. конф.*, Минск, 17–18 декабря 2008 г. / БНТУ; ред. кол. И. И. Леонович [и др.]. – Минск, 2008. – С. 154–158.

Заявка на изобретение:

13. Способ устройства дорожной одежды: заявка на изобретение Респ. Беларусь, МПК8 Е 01 С 3/00, 5/00 / С. В. Красковский, П. А. Лыщик, С. С. Макаревич, М. Т. Насковец; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т – № а 20081310; заявл. 17.10.08. – 6 с.



РЕЗЮМЕ

Красковский Станислав Владимирович

Обоснование конструкций лесных дорог с объемными георешетками для обеспечения непрерывности лесозаготовительного производства

Ключевые слова: лесная дорога, дорожная конструкция, грунты, сдвиговая прочность, остаточные деформации, упрочнение, объемная георешетка, модуль упругости.

Объекты исследования: лесные дороги круглогодичного действия, объемные георешетки, грунты, конструктивные слои земляного полотна и дорожных одежд.

Цель работы – обеспечение непрерывности и эффективности лесозаготовительного производства за счет использования разработанных дорожных конструкций, упрочненных объемными георешетками, с учетом типа грунта и условий эксплуатации лесных дорог.

Методы исследования. В процессе проведения исследований применялись методы теории упругости, функционального анализа, физического моделирования, планирования эксперимента. Для проведения экспериментов, регистрации и обработки их результатов использовались измерительные усилители Spider-8, тензометр T2020 DC10 SH, дериватограф типа ОД-103, экспериментальный стенд, современная аппаратура.

Научная новизна полученных результатов. Разработаны аналитические зависимости для определения напряжений в дорожных конструкциях и оценки их сдвиговой прочности, позволяющие установить рациональное местоположение объемных георешеток в конструкциях лесных дорог круглогодичного действия для конкретных типов грунтов. Разработан метод расчета на прочность грунта, упрочненного объемной георешеткой, включающий определение характеристик его сдвиговой прочности: сцепления и коэффициента внутреннего трения композита «грунт – георешетка», коэффициента армирования. Установлены закономерности влияния параметров объемных георешеток на модуль упругости упрочненных грунтов и дорожно-строительных материалов. Разработана методика расчета конструкций лесных дорог, упрочненных объемными георешетками, учитывающая свойства упрочняемого грунта и используемой объемной георешетки, позволяющая исследовать и прогнозировать напряженное состояние упрочненных дорожных конструкций. Разработаны конструкции лесных дорог круглогодичного действия, упрочненных объемными георешетками, на основе обоснования и выбора их параметров в зависимости от типов грунтов и условий эксплуатации. Проведены стендовые и производственные испытания разработанных конструкций лесных дорог, упрочненных объемными георешетками.

Область применения результатов диссертации – предприятия лесного комплекса, проектные и строительные организации, фирмы-изготовители георешеток.

Краскоўскі Станіслаў Уладзіміравіч

Абгрунтаванне канструкцый лясных дарог з аб'ёмнымі геарашоткамі для забеспячэння бесперапыннасці лесанарыхтоўчай вытворчасці

Ключавыя словы: лясная дарога, дарожная канструкцыя, грунты, зрухавай трываласць, астаткавыя дэфармацыі, умацаванне, аб'ёмная геарашотка, модуль пругкасці.

Аб'екты даследавання: лясныя дарогі круглагадовага дзеяння, аб'ёмныя геарашоткі, грунты, канструктыўныя слаі землянога палатна і дарожнага адзення.

Мэта работы – забеспячэнне бесперапыннасці і эфектыўнасці лесанарыхтоўчай вытворчасці за кошт выкарыстоўвання распрацаваных канструкцый лясных дарог, умацаваных аб'ёмнымі геарашоткамі, з улікам тыпу грунту і ўмоў эксплуатацыі лясных дарог.

Метады даследавання. У працэсе правядзення даследавання выкарыстоўваліся метады тэорыі пругкасці, функцыянальнага аналізу, фізічнага мадэлявання, планавання эксперыменту. Для правядзення эксперыменту, рэгістрацыі і апрацоўкі іх вынікаў выкарыстоўваліся вымяральныя ўзмацняльнікі Spider-8, тэнзаметр T2020 DC10 SH, дэрыватограф тыпу ОД-103, эксперыментальны стэнд, сучасная апаратура.

Навуковая навізна атрыманых вынікаў. Распрацаваны аналітычныя залежнасці для вызначэння напружанняў у дарожных канструкцыях і ацэнкі іх зрухавай трываласці, што дазваляюць устанавіць рацыянальнае месцазнаходжанне аб'ёмных геарашотак у канструкцыях лясных дарог круглагадовага дзеяння для канкрэтных тыпаў грунтоў. Распрацаваны метады разліку на трываласць грунту, умацаванага аб'ёмнай геарашоткай, што дазваляе вызначыць характарыстыкі яго зрухавай трываласці: счэпленне і каэфіцыент унутранага трэння кампазіту «грунт – геарашотка», каэфіцыент арміравання. Устаноўлены заканамернасці ўплыву параметраў аб'ёмных геарашотак на модуль пругкасці ўмацаваных грунтоў і дарожна-будаўнічых матэрыялаў. Распрацавана метадыка разліку канструкцый лясных дарог, умацаваных аб'ёмнымі геарашоткамі, якая ўлічвае ўласцівасці ўмацоўваемага грунту і выкарыстоўваемай аб'ёмнай геарашоткі, дазваляе даследаваць і прагназаваць напружаны стан умацаваных дарожных канструкцый. Распрацаваны канструкцыі лясных дарог круглагадовага дзеяння, умацаваных аб'ёмнымі геарашоткамі, на падставе абгрунтавання і выбару іх параметраў у залежнасці ад тыпаў грунтоў і ўмоў эксплуатацыі. Праведзены стэндавыя і вытворчыя выпрабаванні распрацаваных канструкцый лясных дарог, умацаваных аб'ёмнымі геарашоткамі.

Сфера прымянення і вынікі дысертацыі – прадпрыемствы ляснога комплексу, практычныя і будаўнічыя арганізацыі, фірмы-вытворцы геарашотак.

SUMMARY

Kraskouski Stanislau Uladzimiravich

Justification of the construction of timber roads with solid geolattices
to guarantee timber production continuity

Key words: timber road, road construction, soils, shears strength, permanent deformation, reinforcing, solid geolattice, module of elasticity.

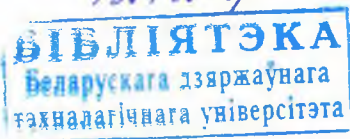
Object-matters of investigation: year-round timber roads, solid geolattices, soils, constructional layers of road bed and road bases.

Objective of research: to guarantee continuity and effectiveness of timber production due to implementation of designed road constructions, reinforced by solid geolattices, accounting for the soil type and timber roads functioning conditions.

Methods of investigation: In the course of research the following methods were used: theory of elasticity, functional analysis, physical modeling, and design of experiments. To carry out the experiments, register and process their results, test amplifier Spider-8, tensometer T2020 DC10 SH, derivatograph of OD-103 type, test bench, modern test equipment were employed.

Scientific novelty of the obtained results. Analytical dependencies were worked out to determine the stress in road constructions and assess their shear strength of soil, which enables to determine a rational site of solid geolattices in the construction of year-round timber roads for specific soil types. The calculation method was designed to analyze the strength of solid geolattice reinforced soil, which defines its shear strength characteristics: adhesion and viscosity of the composite «soil – geolattice» as well as reinforcement ratio. The mechanisms of influence of solid geolattices parameters on the elasticity module of reinforced soils and road construction materials were identified. The methodology of calculating timber road constructions reinforced by solid geolattices was developed, which takes into account the properties of the reinforced soil and those of the applied solid geolattice as well as projects the stress distribution of the reinforced road constructions. The year-round timber road constructions reinforced by solid geolattices were designed based on substantiating and selecting their parameters subject to the types of soil and operating conditions. Bench and operating testing of the designed timber road constructions reinforced by solid geolattices was carried out.

Field of application of the thesis results – forestry enterprises, design and construction organizations, geolattice manufacturing companies.



Научное издание

Красковский Станислав Владимирович

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСНЫХ ДОРОГ
С ОБЪЕМНЫМИ ГЕОРЕШЕТКАМИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
НЕПРЕРЫВНОСТИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

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

Ответственный за выпуск С. В. Красковский

Подписано в печать 04.06.2009. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,4.

Тираж 60 экз. Заказ 267 .

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220006. Минск, Свердлова, 13а.
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».

220006. Минск, Свердлова, 13.
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.