

На правах рукописи

Ченушкина Светлана Владимировна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛЕСОТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ДОРОГ**

4.3.4 – Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и
переработки древесины
(технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2023

Работа выполнена в ФГБОУ ВО "Уральский государственный лесотехнический университет"

Научный руководитель **Кручинин Игорь Николаевич**
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», профессор кафедры транспорта и дорожного строительства

Официальные оппоненты: **Никитин Владимир Валентинович**
доктор технических наук, доцент, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры «Технология и оборудование лесопромышленного производства»

Бурмистров Валерий Алфеевич
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО "Воронежский государственный университет инженерных технологий"

Защита состоится **06 октября 2023 г.** в 10-00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.424.01 по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, к. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (www.usfeu.ru).

Автореферат разослан « ____ » августа 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, доктор
технических наук, профессор

Елена Евгеньевна Шишкина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Общая система функционирования устойчивого лесопользования стала неотделимой частью развития и эксплуатации лесотранспортной инфраструктуры лесосырьевых баз. Лесотранспортная инфраструктура, а именно лесные лесовозные автомобильные дороги служат ключевым элементом освоения лесосырьевых баз.

Потребность в совершенствовании лесотранспортной инфраструктуры обуславливает необходимость развития методов мониторинга состояния лесных дорог и повышения уровней их транспортно-эксплуатационных показателей. При этом необходимо учитывать, что современными нормативно-правовыми документами в области лесного законодательства определено, что лесотранспортная инфраструктура должна проектироваться для всех видов лесопользования.

Однако, существующие методы мониторинга и оценки транспортно-эксплуатационного состояния лесотранспортных сетей, с использованием традиционного инструментального осмотра или диагностики уже не соответствуют современным требованиям и неосуществимы без внедрения информационных технологий, а поэтому требуются новые методы совершенствования лесотранспортной инфраструктуры на основе мониторинга состояния лесных дорог.

Существующая в настоящее время «Единая государственная автоматизированная информационная система учёта древесины и сделок с ней» Федерального агентства лесного хозяйства позволила систематизировать сведения о лесах, об их использовании, охране, защите, воспроизводстве, о древесине и сделках с ней, а также сформировать сведения о состоянии и перспективах развития всего лесного комплекса страны. Однако при анализе ее структуры, было выявлено, что транспортная инфраструктура лесов в программе рассматривается крайне ограничено и носит лишь декларативный характер, что несет существенное ограничение на ее функционирование.

Необходимость совершенствования методов мониторинга транспортно-эксплуатационного состояния лесных дороги с использованием информационных технологий обусловлена еще и тем, что влияние лесотранспортной инфраструктуры на средообразующие функции лесов значительно и требует учета экологических последствий при рациональном природопользовании, поэтому исследования, направленные на решения этих задач, являются первоочередными и актуальными.

Работа выполнялась в соответствии со Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года (распоряжение Правительства РФ от 11 октября 2021 г. №474).

Степень разработанности темы исследования. Проблемами повышения эффективности функционирования лесотранспортной инфраструктуры при освоении лесосырьевых баз занимались такие учреждения высшего образования, как СПбГЛТУ, ВГЛТУ, ВГУИТ, УГЛТУ, УГТУ, ПГТУ, ими разработаны вопросы проектирования, строительства, эксплуатации и мониторинга состояния лесовозных дорог. Выполненные исследования направлены на оценку проектных решений транспортного освоения лесосырьевых баз, а также развитие технологий их эксплуатации и диагностики. Значительное количество исследований посвящено анализу изменения транспортно-эксплуатационных показателей лесных дорог, расположенных в сложных природно-климатических условиях на территориях Свердловской, Челябинской областей и Пермского края.

При этом требования, предъявляемые к методам диагностики и мониторинга состояния лесных дорог, а так же к их технологиям проведения до конца не сформулированы.

В диссертации обосновывается решение проблемы повышения транспортно-эксплуатационных показателей лесотранспортной инфраструктуры лесов.

Цель исследования. Повышение эффективности функционирования лесотранспортной инфраструктуры лесов.

Задачи исследования:

1. Разработать методы мониторинга транспортно-эксплуатационных показателей лесных дорог в условиях цифровой трансформации лесного хозяйства.

2. Разработать информационную систему мониторинга транспортно-эксплуатационного состояния лесных дорог.

3. Провести комплекс экспериментальных и модельных исследований по настройке и внедрению информационной системы мониторинга транспортно-эксплуатационного состояния лесных дорог.

Объект исследования: лесотранспортная инфраструктура лесов.

Предмет исследования: лесные дороги, технологии, методы и способы их мониторинга.

Методы исследования: системный анализ, методы, математического и имитационного моделирования, эксперимента, математической статистики.

Научная новизна работы. Результатами диссертационной работы, обладающими научной новизной, являются:

1. Разработанная методика мониторинга транспортно-эксплуатационных показателей лесных дорог, отличающаяся возможностью использования информационных технологий оценки основных параметров лесотранспортной инфраструктуры.

2. Полученные аналитические зависимости оценки транспортно-эксплуатационного состояния лесных дорог, по обобщенному показателю эффективности, отличающиеся возможностью мониторинга состояния лесотранспортной инфраструктуры в режиме реального времени.

3. Разработанная информационная система мониторинга транспортно-эксплуатационного состояния лесотранспортной инфраструктуры, отличающаяся возможностью обеспечения выбора рациональных и логистических маршрутов транспортировки древесного сырья

Научные положения, выносимые на защиту.

1. Методика мониторинга транспортно-эксплуатационных показателей лесных дорог, позволяющая использовать информационные технологии оценки основных параметров лесотранспортной инфраструктуры.

2. Закономерности изменения транспортно-эксплуатационных показателей лесных дорог в зависимости от обобщенного показателя эффективности, позволяющие оценивать состояние лесотранспортной инфраструктуры, в режиме реального времени.

3. Алгоритмы работы информационной системы мониторинга транспортно-эксплуатационного состояния лесных дорог, позволяющие повысить эффективность функционирования лесотранспортной инфраструктуры лесов.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в разработке методики мониторинга транспортно-эксплуатационных показателей лесных дорог с использованием информационных технологий.

Результаты работы позволят повысить технический уровень функционирования лесотранспортной инфраструктуры, улучшить транспортную доступность лесов и увеличить срок межремонтной эксплуатации лесных дорог.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Результаты, выносимые на защиту, относятся к пункту 8 – «Технология транспортного освоения лесосырьевых баз» (паспорт специальности 4.3.4 – «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины» (технические науки)).

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций. Сформулированные научные положения, выводы и рекомендации в диссертации обоснованы на основе теоретических и эмпирических исследований, полученных в работе и обработанных экспериментальных результатов, полученных в данной работе. Данные, полученные в результате мониторинга транспортно-эксплуатационного состояния лесных дорог и определяемых за счет автоматизированных решений, подтверждаются статистическими расчётами, полученными на основе проведенных экспериментов, не противоречат научным положениям математического и имитационного моделирования. Разработанные модули и информационная система были реализованы с использованием серверного скриптового языка PHP с сохранением полученных и вычисляемых параметров в системе управления базой данных MySQL, анализ геопространственной информации осуществлялся в среде Quantum GIS.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации. В работе и опубликованных статьях автор обосновала актуальность темы, поставила цель научно-исследовательской работы и сформулировала исследовательские задачи, определила и улучшила методические аспекты проведения исследований. Являясь инициатором и непосредственным участником проведения имитационных и полевых экспериментов и сбора данных, осуществляла деятельность по аннотированию и ведению исследовательских данных. Автором выполнен анализ научно-технических источников информации, сформулированы проблема, цель, задачи исследования, получены теоретические и экспериментальные результаты, осуществлены их обработка, интерпретация и внедрение в производство и учебный процесс.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на Всероссийских и международных научных и научно-практических конференциях:

– Реализация Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 года в новых реалиях. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск, 2023. (г. Иркутск, 2023 г.);

– Разработка энергоресурсосберегающих и экологически безопасных технологий лесопромышленного комплекса. Материалы Международной научной конференции ученых и студентов, Воронеж, 28 сентября 2022 г. (г. Воронеж, 2022 г.)

Реализация работы. Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены, использованы и апробированы при участии автора на базе Электронной Информационной Образовательной Системы ФГБОУ ВО УГЛТУ и в ООО «Уралвермикулит».

Разработанные математические модели и программы для ЭВМ, реализующие эти модели, используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Уральского государственного лесотехнического университета.

Публикации. Результаты исследований отражены в 13 научных работах общим объемом 3,46 п.л. (авторских 2,67 п.л.), в том числе в 4 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа включает введение, 4 главы, общие выводы и приложения; содержит 145 страниц текста, 17 таблиц, 33 рисунка и библиографический список из 114 наименований, включая 24 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность тематики диссертационной работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, изложены научная новизна результатов выполненных исследований, их теоретическая и практическая значимость.

В первой главе выполнен анализ работ, посвященных мониторингу и оценке транспортно-эксплуатационного состояния лесных дорог, с использованием традиционных методов инструментального осмотра и диагностики, расположенных на территориях Свердловской, Челябинской областей и Пермского края.

Основные требования к лесотранспортной инфраструктуре лесов были сформулированы в исследованиях В.И. Алябьева, Н.П. Вырко, И.И. Леоновича, Э.О. Салминена и других ученых.

Вопросами эксплуатации и мониторинга состояния лесных дорог занимались такие ученые, как О.Н. Бурмистрова, Б.А. Ильин, В.К. Курьянов, И.Н. Кручинин, А.Ю. Мануковский, С.И. Сушков, А.В. Скрыпников.

В основе их исследований лежат принципы оценки транспортно-эксплуатационных показателей лесных дорог, а вопросы повышения эффективности функционирования лесотранспортной инфраструктуры рассмотрены с точки зрения традиционных технологий диагностики автомобильных дорог. При этом, как правило, не рассматривались возможности использования информационных технологий.

Основные требования к информационным системам лесного хозяйства, строительства и эксплуатации лесных дорог рассмотрены в работах Э.Р. Ахтямова, С.А. Гальченко, А.В. Евченко, В.В. Никитина, Н.Т. Юшкевича.

На основе анализа этих работ было определено, что существующие методы мониторинга и оценки транспортно-эксплуатационного состояния лесных дорог, с использованием традиционного инструментального осмотра и диагностики уже не соответствуют современным требованиям и невозможны без внедрения информационных технологий. При этом в РФ существует «Единая государственная автоматизированная информационная система учёта древесины и сделок с ней» Федерального агентства лесного хозяйства и разрабатывается Федеральная государственная система лесного комплекса (ФГИС ЛК). Однако при анализе их

структур, было выяснено, что учет транспортной инфраструктуры лесов в системах рассматривается крайне ограниченно и носит декларативный характер.

Поэтому, для повышения эффективности функционирования лесотранспортной инфраструктуры лесов необходимы дополнительные исследования по применению современных методов мониторинга лесных дорог с использованием информационных технологий и их взаимодействия с единой государственной автоматизированной информационной системой учета древесины и сделок с ней.

В заключении первой главы и на основании проведенного анализа сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе сформулированы общие требования к информационной системе мониторинга лесотранспортной инфраструктуры, предложен алгоритм и ее компьютерная реализация.

Постановка задачи мониторинга транспортно-эксплуатационных показателей лесных дорог в условиях цифровой трансформации лесного хозяйства включает следующие процедуры: постановку задачи в общем виде; формирование критерия в виде обобщенного показателя эффективности транспортно-эксплуатационного состояния лесотранспортной инфраструктуры; задание ограничений; разработка алгоритма поиска решения; реализация алгоритма нахождения обобщенного показателя эффективности в компьютерной реализации.

В общем виде эту задачу можно представить следующим образом: транспортно-эксплуатационные показатели лесной дороги характеризуется следующими параметрами: E_{vdi} – динамический модуль упругости дорожного покрытия, МПа; H_i – показатель поперечной ровности (глубина колеи) дорожного покрытия, см; B_i – показатель фактической ширины проезжей части лесной дороги, м; Q_i – показатель грузооборота лесной дороги, тыс. т. нетто /год.

Введем ограничения на транспортно-эксплуатационные показатели: динамический модуль упругости дорожного покрытия лесной дороги от $E_{vdi}^{min} = 65$ МПа, до $E_{vdi}^{max} = 80$ МПа. Величина поперечной ровности дорожного покрытия (глубина колеи), от $H_i^{min} = 0,005$ м, до $H_i^{max} = 0,15$ м. Фактическая ширина проезжей части лесной дороги, от $B_i^{min} = 4,8$ м, до $B_i^{max} = 6,8$ м. Грузооборот лесной дороги от $Q_i^{min} = 15$ тыс. т. нетто /год, до $Q_i^{max} = 200$ тыс. т. нетто /год.

В этом случае обобщенный показатель эффективности транспортно-эксплуатационного состояния лесных дорог T , примет вид:

$$T = \frac{k_1(H_i - H_i^{min})}{H_i^{min} - H_i^{max}} + \frac{k_2(E_{vdi} - E_{vdi}^{min})}{E_{vdi}^{max} - E_{vdi}^{min}} + \frac{k_3(B_i - B_i^{min})}{B_i^{max} - B_i^{min}} + \frac{k_4(Q_i - Q_i^{min})}{Q_i^{max} - Q_i^{min}}, \quad (1)$$

где H_i^{min} , H_i^{max} , E_{vdi}^{min} , E_{vdi}^{max} , B_i^{min} , B_i^{max} , Q_i^{min} , Q_i^{max} - минимальные и максимальные значения показателей поперечной ровности (глубина колеи) дорожного покрытия, см; динамического модуля упругости дорожного покрытия, МПа; показателей фактической ширины проезжей части лесной дороги, м; показателей грузооборота лесной дороги, тыс. т. нетто /год;

k_1, k_2, k_3, k_4 – весовые коэффициенты при каждом частном показателе, определяются пользователем информационной системы мониторинга.

Для решения задачи разработки методики мониторинга транспортно-эксплуатационных показателей лесных дорог был определен алгоритм, с использованием информационной системы мониторинга, и с учетом заданных ограничений. Структурная схема информационной системы представлена на рисунке 1. Система включает в себя работу четырех модулей: модуль расчета показателя прочности лесной дороги (динамический модуль упругости дорожного покрытия); модуль оценки поперечной ровности (глубина колеи на дорожном покрытии); модуль оценки ширины проезжей части лесной дороги; грузооборот лесной дороги.



F – модуль показателя прочности дорожного покрытия лесной дороги; Rut – модуль показателя поперечной ровности (глубина колеи) дорожного покрытия лесной дороги; W – модуль оценки показателя ширины проезжей части лесной дороги; Q – модуль оценки грузооборота лесной дороги; T – обобщенный показатель эффективности

Рисунок 1 – Структурная схема информационной системы мониторинга транспортно-эксплуатационного состояния лесных дорог

Структурная схема подсистемы оценки прочности дорожного покрытия по динамическому модулю упругости изображена на рисунке 2. Предполагается изначальное заполнение базы данных ограничений нормативов с учетом регионов РФ и действующей документации. Аналогично построены подсистемы оценки ширины проезжей части лесной дороги; оценки поперечной ровности (глубина

колеи на дорожном покрытии), грузооборота лесной дороги. Количество итераций должно соответствовать количеству замеров с занесением даты и географических координат.

Разработанное программное решение позволит проводить оценку обобщенного показателя эффективности транспортно-эксплуатационного состояния лесотранспортной инфраструктуры T . В нашем случае, наиболее приемлемым компромиссом будет задание весовых коэффициентов равными 0,5, что минимизирует противоречие между различными критериями. По результатам комплексной оценки состояния лесотранспортной инфраструктуры было принято решение об уменьшении степени влияния показателя ширины проезжей части до значения $\kappa_3 = 0,32$. В случае необходимости придания специфических свойств системе мониторинга лесных дорог имеется возможность задания иных значений соответствующих весовых коэффициентов.

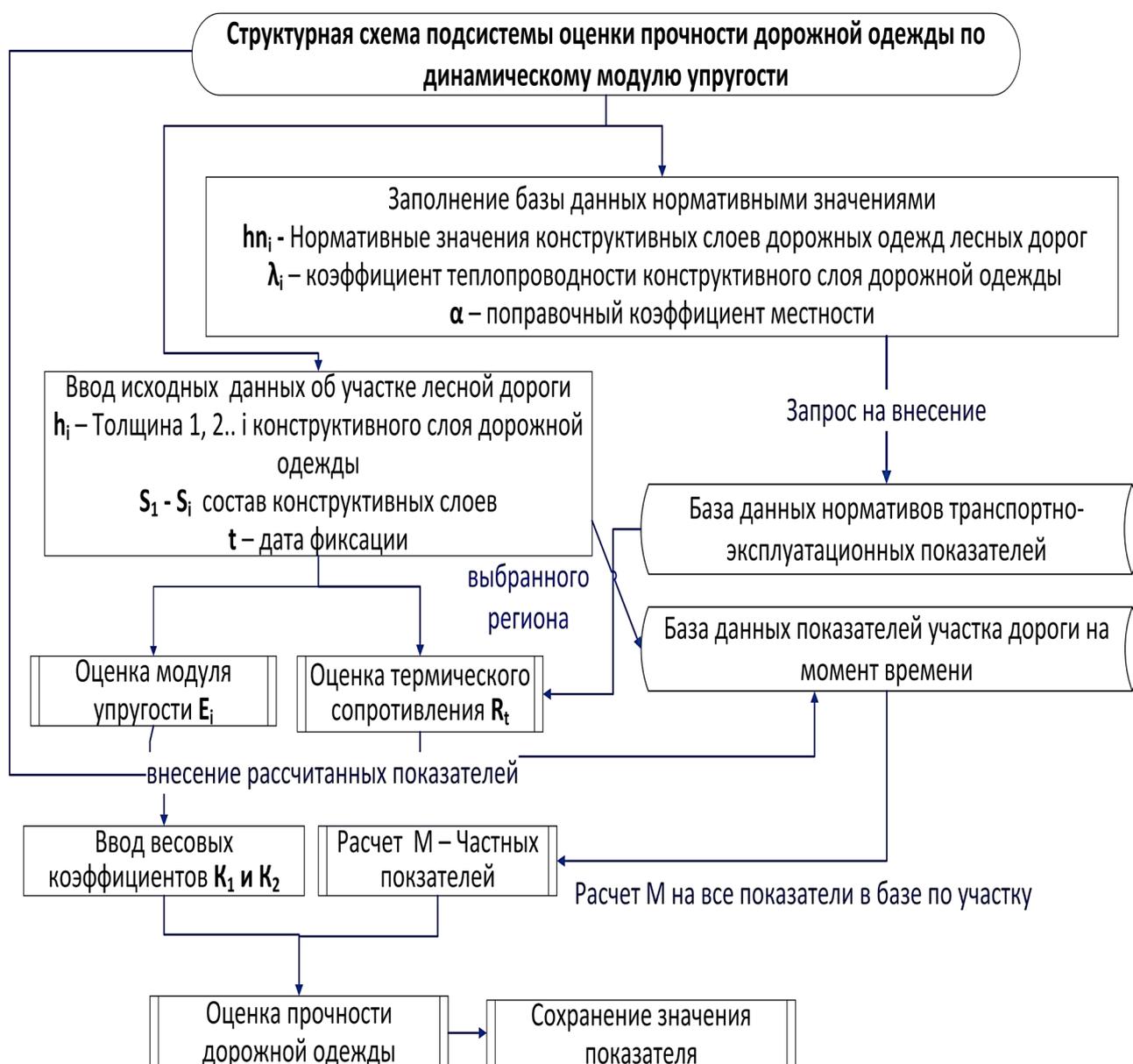


Рисунок 2 – Структурная схема подсистемы оценки прочности дорожного покрытия по динамическому модулю упругости

Пример диапазонов значений обобщенного показателя эффективности транспортно-эксплуатационного состояния лесотранспортной инфраструктуры в зависимости вида дорожного покрытия приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Значения обобщенного показателя эффективности транспортно-эксплуатационного состояния лесотранспортной инфраструктуры

Вид дорожного покрытия	Значения обобщенного показателя эффективности				
	Зеленый	Синий	Желтый	Оранжевый	Красный
	обеспечено, состояние отличное	обеспечено, состояние хорошее	обеспечено, состояние удовлетворительное	обеспечено, состояние плохое	не обеспечено, состояние очень плохое
Покрытие переходного типа	0,568 – 1,0	0,456 – 0,567	0,356 – 0,455	0,245 – 0,187	0,165 – 0,188
Покрытие щебеночное	0,755 – 1,0	0,658 – 0,754	0,453 – 0,657	0,365 – 0,452	0,231 – 0,252
Грунтовое улучшенное покрытие	0,532 – 1,0	0,456 – 0,531	0,302 – 0,455	0,201 – 0,156	0,115 – 0,157

Для повышения доступности системы и реализации возможности накопления и анализа данных в качестве средств реализации программного решения были выбраны технологии веб-программирования с дальнейшим размещением системы в сети Интернет в качестве модуля Электронной Информационной Образовательной Среде ФГБОУ ВО УГЛТУ.

В третьей главе представлены материалы опытно-экспериментальных исследований транспортно-эксплуатационных показателей лесных дорог. Целью обследования в натуральных условиях функционирования лесотранспортной инфраструктуры стало инструментальное измерение параметров отдельных участков лесных дорог.

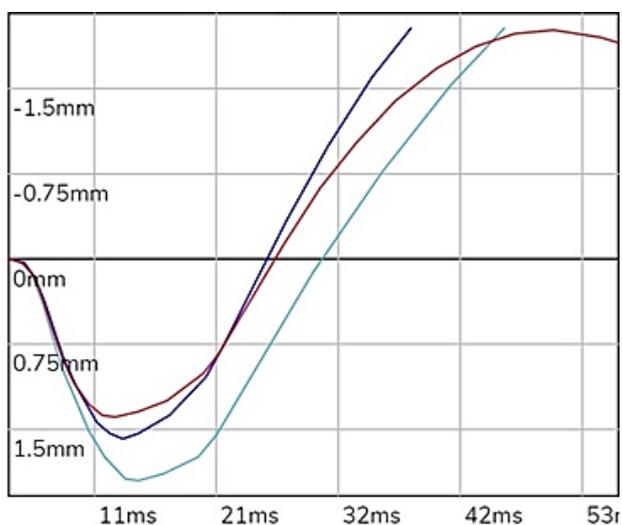
Таблица 2 – Пример ведомости испытаний параметров и глубины колеи лесной дороги (участок №5)

№ п/п	КМ	+	Результаты измерений						
			Поперечный уклон I, ‰	Глубина колеи, см			Ширина между колеями, см	Ширина колеи, см	
				левая	центральная часть	правая		левая	правая
					...				
8	6	0	22	3,7	8,0	3,6	158	30	35
		250	26	3,5	1,2	3,4	181	40	39
		505	22	3,5	1,0	3,5	151	35	31
		750	22	4,7	1,2	4,6	190	30	33
		250	20	4,0	1,0	3,5	212	48	33
		500	44	3,9	1,1	3,6	212	36	36
		750	32	3,5	1,0	3,0	212	55	56
					...				

Натурные исследования проводились при обследовании наиболее характерных участков лесотранспортной инфраструктуры, расположенных в Свердловской, Челябинской области и Пермском крае.

При проведении исследований использованы следующие виды испытаний: измерение динамического модуля упругости дорожных покрытий лесных дорог; оценка поперечной ровности и глубины колеи, оценка ширины проезжей части лесных дорог, оценка грузооборота и интенсивности движения лесовозного транспорта, экспертная оценка транспортно-эксплуатационных показателей лесных дорог.

Условия испытаний наиболее полно соответствовали вероятностной природе функционирования лесовозного транспорта в реальных условиях эксплуатации. Примеры мониторинга лесных дорог представлены в таблице 2 и на рисунках 3 и 4.



а) графическая зависимость изменения динамического прогиба дорожного покрытия (участок №5); б) измерение динамического модуля упругости щебеночного покрытия лесной дороги плотномером ZFG-3000-10 GPS

Рисунок 3 – Мониторинг прочности дорожных покрытий лесных дорог

Помимо инструментального обследования проводилась экспертная оценка транспортно-эксплуатационного состояния лесных дорог. В таблице 3 представлены основные критерии значений экспертных оценок (в баллах).

Значения основных физико-механических и геометрических параметров лесных дорог, полученные в результате опытно-экспериментальных исследований транспортно-эксплуатационных показателей, были использованы при настройке информационной системы мониторинга лесных дорог.

В четвертой главе разработана информационная система мониторинга транспортно-эксплуатационного состояния лесных дорог, фрагмент логической структурной модели базы данных системы представлен на рисунке 5.

Таблица 3 – Критерии экспертной оценки транспортно-эксплуатационного состояния лесных дорог

Код ТЭП	Транспортно-эксплуатационный показатель	Вид дорожного покрытия	Оценка в баллах транспортно-эксплуатационного состояния				
			«отлично» 4,8-5,0	«хорошо» 4,0-4,7	«удовл.» 3,0-3,9	«плохо» 2,0-2,9	«очень плохо» менее 2
1.1	Показатель прочности лесной дороги	Покрытие переходного типа	Без дефектов, отсутствие выбоин	Отдельные трещины на расстоянии 20-50 м	Выбоины, пучины на расстоянии 15-20 м	Проломы на расстоянии 2 -15 м	Трещины, проломы на расстоянии 1 -2 м
1.2	Показатель прочности лесной дороги	Покрытие щебеночное	Без дефектов, отсутствие выбоин	Отдельные выбоины, на расстоянии 20-40 м	Выбоины, пучины на расстоянии 10-20 м	Проломы на расстоянии 2 -10 м	Проломы, пучины на расстоянии 1 -2м
1.3	Показатель прочности лесной дороги	Грунтовое улучшенное покрытие	Без дефектов, отсутствие выбоин	Отдельные выбоины, на расстоянии 10-20 м	Выбоины, пучины на расстоянии 5-10 м	Проломы, на расстоянии 2-5 м	Пучины, проломы на расстоянии 1 -2м
2.1	Показатель поперечной ровности дорожного покрытия	Покрытие переходного типа	Глубина колеи до 0,5 см	Глубина колеи от 0,5 до 3 см	Глубина колеи от 3,0 до 5 см	Глубина колеи от 5 до 15 см	Глубина колеи свыше 15 см
2.2	Показатель поперечной ровности дорожного покрытия	Покрытие щебеночное	Глубина колеи до 1,0 см	Глубина колеи от 1,0 до 3 см	Глубина колеи от 3 до 5 см	Глубина колеи от 5 до 15 см	Глубина колеи свыше 15 см
2.3	Показатель поперечной ровности дорожного покрытия	Грунтовое улучшенное покрытие	Глубина колеи до 1,5 см	Глубина колеи от 1,5 до 5 см	Глубина колеи от 5 до 10 см	Глубина колеи от 10 до 15 см	Глубина колеи свыше 15 см
3.1	Показатель оценки ширины проезжей части	Покрытие переходного типа	ширина проезжей части свыше 6,8 м	ширина проезжей части от 6,0 до 6,8 м	ширина проезжей части от 4,8 до 5,9 м	ширина проезжей части до 4,7 м	ширина проезжей части менее 4,7 м
3.2	Показатель оценки ширины проезжей части	Покрытие щебеночное	ширина проезжей части свыше 6,8 м	ширина проезжей части от 6,0 до 6,8 м	ширина проезжей части от 4,8 до 5,9 м	ширина проезжей части до 4,7 м	ширина проезжей части менее 4,7 м
3.3	Показатель оценки ширины проезжей части	Грунтовое улучшенное покрытие	ширина проезжей части свыше 6,8 м	ширина проезжей части от 6,0 до 6,8 м	ширина проезжей части от 4,8 до 5,9 м	ширина проезжей части до 4,7 м	ширина проезжей части менее 4,7 м
4.1	Показатель грузооборота, тыс. т. нетто /год	Грунтовое улучшенное покрытие	от 40 до 50	От 25 до 40	От 15 до 25	Менее 15	Не выраженный
4.2	Показатель грузооборота, тыс. т. нетто /год	Покрытие переходного типа	Свыше 100	От 75 до 100	От 50 до 75	Менее 50	Не выраженный
4.3	Показатель грузооборота, тыс. т. нетто /год	Покрытие щебеночное	Свыше 200	От 150 до 200	От 100 до 150	Менее 100	Менее 50

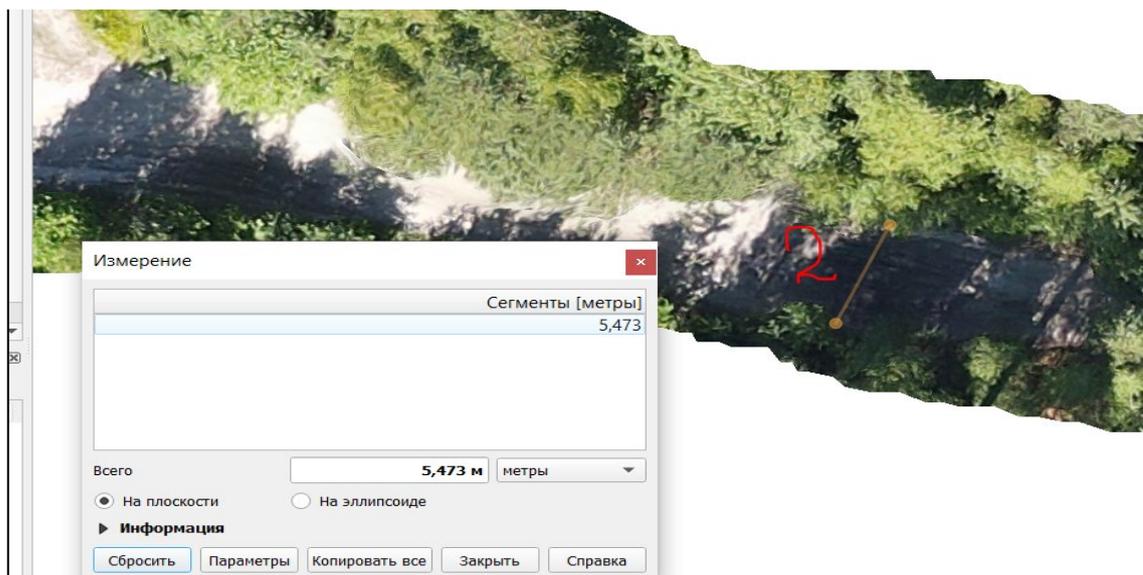


Рисунок 4 – Рабочий момент оценки ширины проезжей части покрытия переходного типа, участок ПК 18+20 филиала ООО «Ураллеспром» с использованием дрона DJI Mavic Air 2, на платформе Quantum GIS

Программа информационной системы мониторинга размещена в сети Интернет в качестве модуля Электронной Информационной Образовательной Среды ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» и доступна по адресу <https://lroad.lms-usfeu.ru/> .

Для входа в информационную систему необходимо пройти процедуру регистрации и авторизации и осуществить вход в личный кабинет, где можно просмотреть информацию о своих лесных участках или внести сведения о них в реестр.

Информация об арендованных участках строится на основе данных интеграционных решений с Единой государственной автоматизированной информационной системой учёта древесины и сделок с ней. Предполагается, что частичное наполнение системы информацией производится самим арендатором, поэтому возникла необходимость в оперативной оценке основных параметров лесных дорог. Их оценка производится на основании впервые разработанных критериев, представленных в таблице 3.

Пример реализации работы информационной системы представлен на рисунке 6, включая программные решения модулей оценки частных показателей.

На рисунке 7 представлены основные значения частных показателей транспортно-эксплуатационного состояния лесной дороги.

Согласно занесённых в базу данных частных критериев была реализована цветовая дифференциация уровней транспортно-эксплуатационного состояния участков лесных дорог.

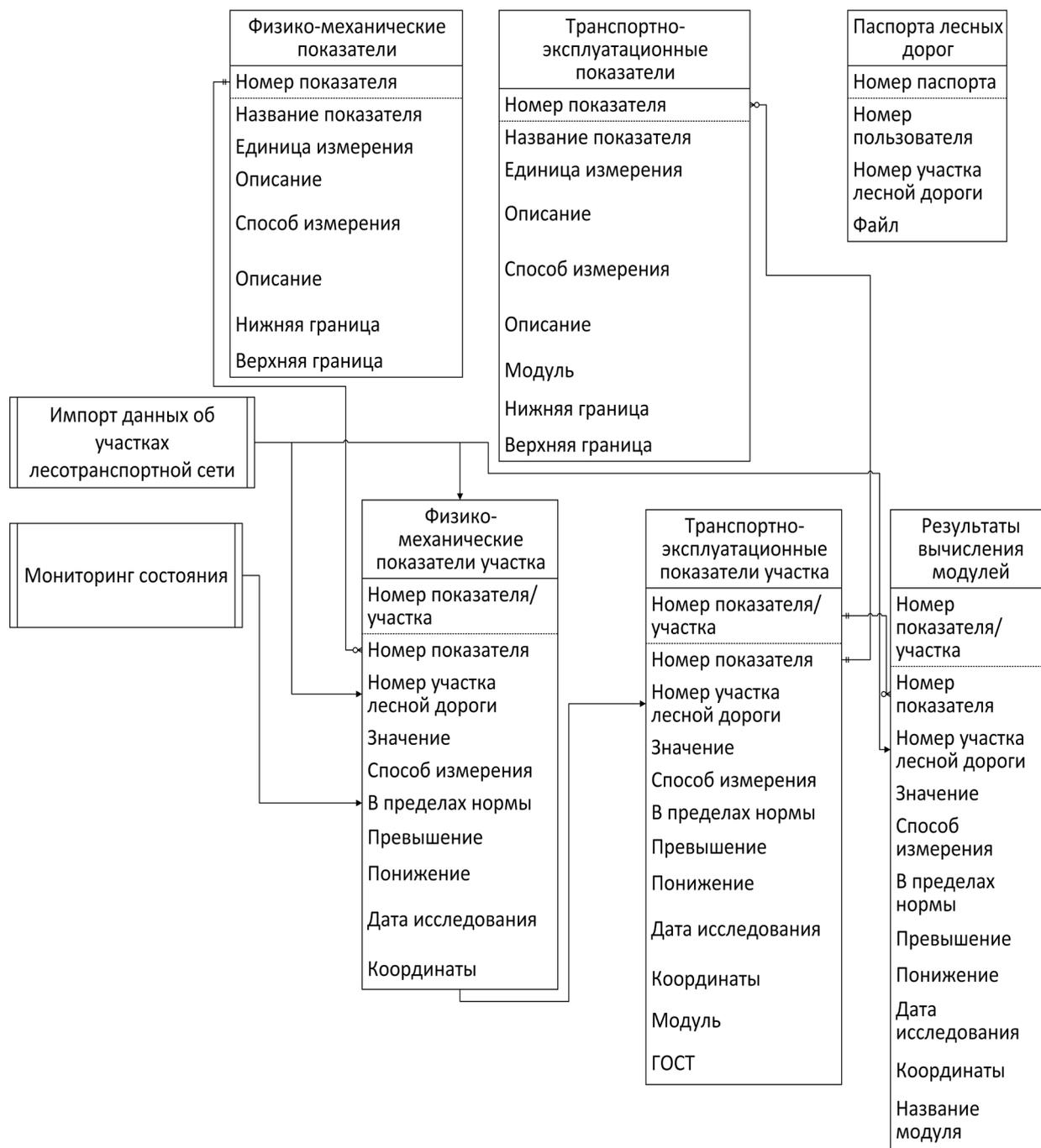


Рисунок 5 – Фрагмент структуры логической модели базы данных информационной системы мониторинга лесных дорог

На рисунке 8 представлен пример оценки транспортно-эксплуатационного состояния лесной дороги по обобщенному показателю эффективности.

ЦИФРОВОЙ РЕЕСТР ЛЕСОТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

ПАНЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ

МОЙ УЧАСТОК

УЧЕТ ДОРОГ

АНАЛИТИКА

ПАСПОРТА ДОРОГ

ДОКУМЕНТАЦИЯ

Выйти

Внесение транспортно-эксплуатационных показателей

Учебно-опытный лесхоз УГЛТУ
ИНН: 6662000973
Северка, ул. Лесная, 3, оф. 205

Дата внесения: 20.09.2022

№5 Северка, Свердловская обл.

№ 2 Участок дороги

Добавить Все лесные автомобильные дороги

Модуль расчета колеиности

Определяем параметры

- Ввод количества замеров:
- Измерение параметров внешней колеи:
 - δ1:
 - δ2:
 - δ3:
- Измерение параметров внутренней колеи:
 - δ4:
 - δ5:
 - δ6:

Расчет

Описание участка дороги

Номер участка лесной дороги: №4104120 ЛР105
 Номер лесной дороги: №4104120
 Номер лесотранспортной сети: Р242 (Е22)
 Уникальный код участка: 11
 Описание дороги в р-оне Соколинский камень, до полигона
 Географические координаты начала: 57,03039 59,55605
 Географические координаты окончания: 59,55605, 60,273426
 Километраж 100 м

Физико-механические показатели

Показатель	15.08.2022	20.09.2022
Ширина проезж. части	5,02	
Водостойкость	+	
Радиус кривой	5 м	

Транспортно-эксплуатационные показатели

Показатель	15.08.2022	20.09.2022
Динамический модуль упругости	1-2	
Показатель поперечной ровности (колеиность)	1,5	
Ширина	5,2	
Грузооборот	101	

Рисунок 6 – Пример работы информационной системы мониторинга лесных дорог (частный показатель поперечная ровность (глубина колеи))



а)



б)



в)



г)

а) показатель прочности дорожного покрытия лесной дороги (динамический модуль упругости); б) показатель поперечной ровности (глубина колеи) дорожного покрытия лесной дороги; в) показатель ширины дорожного покрытия лесной дороги; г) показатель грузооборота лесной дороги

Рисунок 7 – Показатели эффективности транспортно-эксплуатационного состояния лесной дороги

На рисунке 9 визуализация оценки транспортно-эксплуатационного состояния участка лесной дороги в качестве поверхностного слоя интерактивной карты.

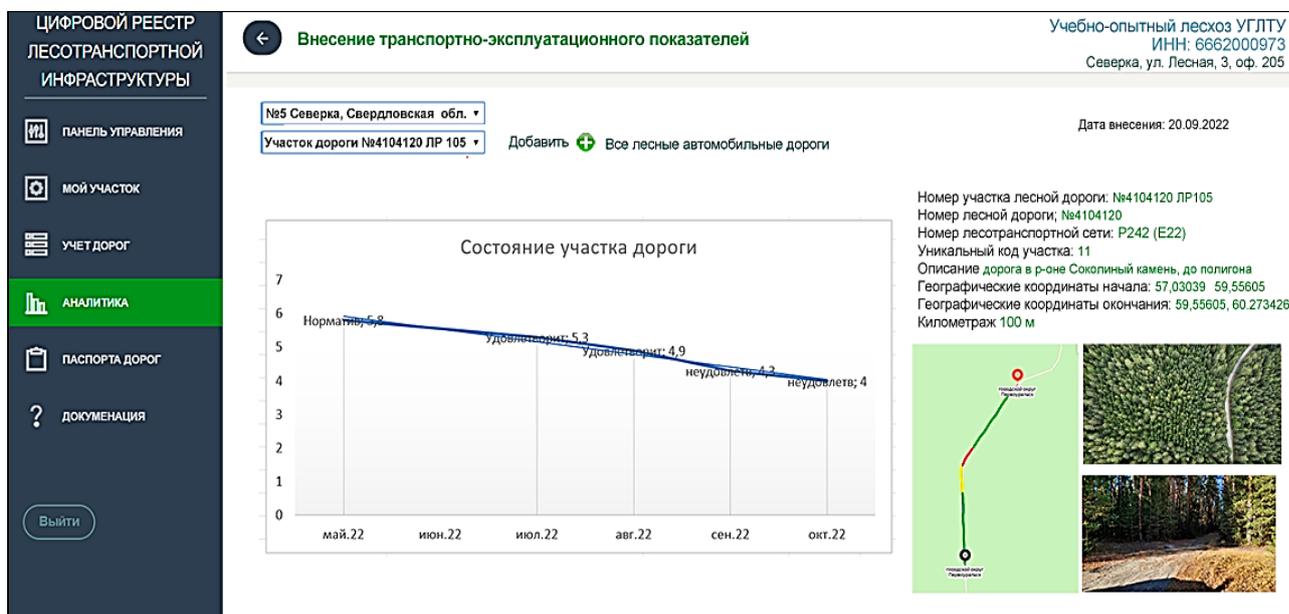


Рисунок 8. Пример изменения обобщенного показателя эффективности транспортно-эксплуатационного состояния лесной дороги (опытно-экспериментальный участок №1).

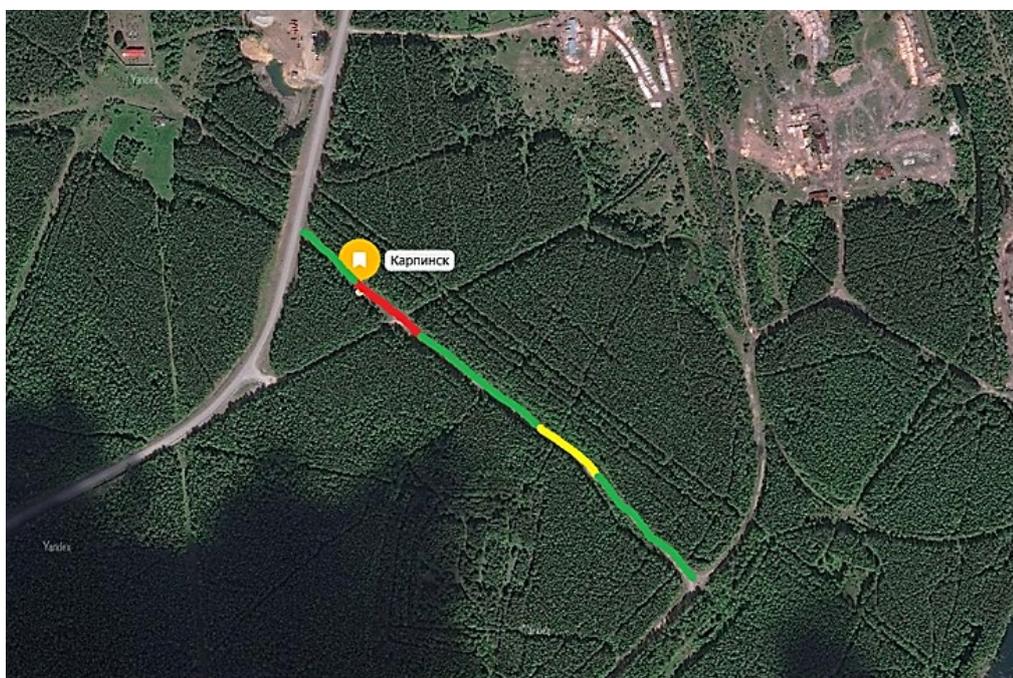


Рисунок 9. Визуализация оценки транспортно-эксплуатационного состояния участка лесной дороги. Цветографические обозначения приведены в таблице 1

Для оценки экономической эффективности внедряемого решения использо-

ван метод определения снижения размера вреда, причиняемого лесотранспортными средствами дорожным покрытиям.

Для сравнения рассматривались капитальные затраты на разработку информационной системы с учетом сложности ее изготовления и затрат на корректировку с оценкой возможного нанесенного вреда лесной дороге с различными типами покрытий. Экономическая эффективность от внедрения информационной системы мониторинга лесных дорог, в текущих ценах II квартала 2023 г. с НДС составила в снижении ущербов, нанесенных лесным дорогам с покрытиями капитального типа до 2929 рублей на каждые сто километров, а с покрытиями переходного типа до 963 рублей на каждые сто километров.

Основные выводы и рекомендации

1. Разработанные методы мониторинга транспортно-эксплуатационных показателей лесных дорог позволили проводить оценку фактического состояния лесотранспортной инфраструктуры в условиях реального времени с использованием информационных технологий, обеспечивая тем самым возможность устойчивого лесопользования.

2. Впервые получены основные закономерности изменения транспортно-эксплуатационного состояния лесных дорог в зависимости от обобщенного показателя эффективности лесотранспортной инфраструктуры.

3. Анализ показал, что оптимальными транспортно-эксплуатационными параметрами лесных дорог следует считать: динамический модуль упругости дорожного покрытия лесной дороги не менее 76 МПа, величина поперечной неровности дорожного покрытия (глубина колеи) не более 0,07 м, фактическая ширина проезжей части лесной дороги не менее 5,8 м, с грузооборотом лесной дороги от 45 до 58 тыс. т. нетто /год, при обобщенном показателе эффективности не менее 0,634.

4. Разработанная информационная система мониторинга включает в себя модули подпрограмм, соответствующие основным критериям эффективности и состоит из: подсистемы оценки показателя прочности дорожного покрытия лесной дороги; подсистемы оценки показателя поперечной ровности дорожного покрытия (глубина колеи); подсистемы оценки показателя ширины проезжей части лесной дороги; подсистемы оценки грузооборота лесной дороги.

5. Впервые разработана методика мониторинга транспортно-эксплуатационных показателей с применением информационных технологий. Получены массивы данных с использованием цифрового плотномера ZFG-3000-10 GPS и свободной кроссплатформенной геоинформационной системой Quantum GIS.

6. Разработана методика экспертной оценки транспортно-эксплуатационного состояния лесных дорог с возможностью пользования системой мониторинга в интерактивном режиме, силами самих пользователей или арендаторами лесных участков.

7. Разработана и внедрена информационная система мониторинга состояния лесных дорог, реализованная на базе Электронной Информационной Образовательной Системы ФГБОУ УГЛТУ позволяющая проводить совместную работу с Единой государственной автоматизированной информационной системой учета древесины и сделок с ней (ЛесЕГАИС), что повышает эффективность функционирования лесотранспортной инфраструктуры.

8. Ожидаемый экономический эффект от использования информационной система мониторинга транспортно-эксплуатационного состояния лесных дорог позволит снизить ущербы, нанесенные лесным дорогам на 2929 рублей на каждые сто километров пути, для дорог с покрытиями капитального типа и на 963 рублей на каждые сто километров для дорог с покрытиями переходного типа.

Перспективы дальнейшей разработки темы. В дальнейшем предполагается расширить область исследований по применению информационной системы для временных дорог (автозимники) при освоении лесосырьевых баз в зимний период года.

Список основных публикаций по теме диссертации:

а) в рецензируемых научных журналах и изданиях для опубликования основных научных результатов диссертации

1. Ченушкина С.В. Разработка методов повышения транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных автомобильных дорог, работающих в сложных природно-климатических условиях / М.Е. Жалко, А.М. Бургонутдинов, О.Н. Бурмистрова, С.В. Ченушкина, В.В. Данилов // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2022. - № 1. – С.10 -17.

2. Ченушкина С.В. Оптимальное проектирование параметров конструктивных элементов дорожной одежды с морозозащитным слоем / В.В. Побединский, И.Н. Кручинин, С.В. Ченушкина, Г.А. Иовлев, Э.Р. Ахтямов // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2022. - № 2. – С.28 – 36.

3. Ченушкина С.В. Цифровая трансформация лесного хозяйства: технологии и распределенные реестры лесотранспортной инфраструктуры / С.В. Ченушкина, И.Н. Кручинин // *Научный журнал. Системы Методы Технологии*. - 2022 № 4 (56). – С. 132 – 137.

4. Ченушкина С.В. Разработка реестровой модели лесотранспортной инфраструктуры в рамках цифровой трансформации лесного хозяйства Российской Федерации / С.В. Ченушкина, И.Н. Кручинин, В.В. Побединский, Я.И. Абрамов // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2022. - № 4. – С.3 - 10.

б) в других изданиях и материалах конференций

5. Ченушкина С.В. Проблемы развития лесотранспортной отрасли региона / С.В. Ченушкина // *Научный журнал. Эпоха науки*. 2022. № 31. С. 77-80.

6. Ченушкина С.В. 3D-моделирование лесотранспортной сети в условиях цифровой трансформации лесного хозяйства. Ченушкина С.В., Кручинин И.Н. *Тенденции развития науки и образования*. 2022. № 88-83. С. 158-160.

7. Ченушкина С.В. Реестр лесотранспортной сети как элемент цифровой трансформации лесного хозяйства / С.В. Ченушкина, И.Н. Кручинин // В сборнике: *Разработка энергоресурсосберегающих и экологически безопасных технологий лесопромышленного комплекса: материалы Международной научной конференции ученых и студентов, Воронеж, 28 сентября 2022 г.* / отв. ред. С. Н. Снегирева; М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2022. – С. 115 – 119.

8. Ченушкина С.В. Цифровое прототипирование как инструмент развития информатизации в лесном хозяйстве / С.В. Ченушкина // В сборнике: *Реализация Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 года в новых реалиях*.

Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Науч. редактор О.И. Горбунова. Иркутск, 2023. С. 150-154.

б) свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2022616417. Российская Федерация. Программа оптимизации параметров конструкции лесовозной дороги с морозозащитным слоем / В.В. Побединский, И.Н. Кручинин; С.В. Ченушкина, Э.Р. Ахтямов заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет. – №2022614372; заявл. 24.03.2022; зарегистрировано 08.04.2022.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2021614476. Российская Федерация. Программное обеспечение для автоматизации образовательного процесса "ВЕКТОР-ВУЗ" / С.В. Ченушкина заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет. – №2021613632; заявл. 25.03.2021; зарегистрировано.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2023617530. Российская Федерация. Модуль цифрового прототипа показателя поперечной ровности (колейность дорожного покрытия) / С.В. Ченушкина, И.Н. Кручинин заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет. – №2023615763; заявл. 29.03.2023; зарегистрировано 11.04.2023.

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2023621133. Российская Федерация. Информационный реестр транспортно-эксплуатационного состояния лесных автомобильных дорог / С.В. Ченушкина, И.Н. Кручинин; Э.Р. Ахтямов заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет. – №2023620818; заявл. 29.03.2023; зарегистрировано 07.04.2023.

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2023617737. Российская Федерация. Модуль цифрового прототипа показателя оценки ширины проезжей части лесной дороги / И.Н. Кручинин, С.В. Ченушкина, заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет. – №2023615900; заявл. 29.03.2023; зарегистрировано 13.04.2023.

Просим принять участие в работе диссертационного Совета или прислать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, УГЛТУ, диссертационный совет 24.2.424.01, e-mail: d21228102@yandex.ru.

Подписано в печать 2023 г.
Усл. п.л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ №

Редакционно-издательский отдел