

На правах рукописи

Лабыкин Андрей Анатольевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
КОНТРОЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА УПЛОТНЕННЫХ СНЕЖНЫХ  
ПОКРЫТИЙ ЗИМНИХ 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 – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет» (ФГБОУ ВО УГЛТУ)

Научный руководитель **Кручинин Игорь Николаевич**  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», профессор кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей

Официальные оппоненты: **Бургонутдинов Альберт Масугатович**  
доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», профессор кафедры автомобильные дороги и мосты

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

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

Защита состоится **28 марта 2024 г.** в 10-00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.424.01

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

Автореферат разослан «\_\_» февраля 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор

Шишкина Елена Евгеньевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время, при реализации стратегии по устойчивому развитию лесопромышленного комплекса Северных регионов Российской Федерации возникла необходимость в оценке качества функционирования лесотранспортной инфраструктуры в зимний период года. Чаще всего основные исследования в этой области нацелены на повышении эффективности строительства и эксплуатации лесных дорог круглогодичного действия. В тоже время, проблемы при строительстве и эксплуатации зимних лесных дорог практически не рассматриваются. Большинство исследователей в области строительства зимних лесных дорог, пришли к выводу, что для обеспечения требуемых транспортно-эксплуатационных показателей дорожных покрытий необходим пересмотр основных требований к технологическим параметрам дорожных покрытий из уплотненного снежного покрытия, а следовательно, и к технологическому контролю строительства зимних лесных дорог.

Существующие методы технологического контроля строительства зимних лесных дорог используют методы, разработанные еще в начале прошлого века, что существенно затрудняет оперативную оценку транспортно-эксплуатационных показателей снежных дорожных покрытий. При этом затраты на строительство зимних лесных дорог будут напрямую зависеть от способов их строительства и методов контроля.

Необходимость совершенствования методов технологического контроля при строительстве зимних лесных дороги в условиях глобального изменения климата обусловлена еще и тем, что влияние лесотранспортной инфраструктуры на средообразующую функцию 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 Российской Федерации от 11 февраля 2021 года №312-р).

**Степень разработанности темы исследования.** Основные требования к зимним лесным и лесовозным автомобильным дорогам получили свое развитие в тридцатых – сороковых годах прошлого века. В дальнейшем, эти требования были определены и получили свое дальнейшее развитие во временных строительных нормах «Проектирование, строительство и содержание зимних автомобильных дорог в условиях Сибири и северо-востока СССР». Проблемами повышения эффективности строительства и эксплуатации лесовозных зимних дорог занимались такие учреждения высшего образования, как СПбГЛТУ, ВГЛТУ, УГЛТУ, УГТУ, ПГТУ, ими разработаны вопросы строительства и эксплуатации зимних лесовозных дорог. Выполненные исследования направлены на оценку решений транспортного освоения лесосырьевых баз в зимний период года, а также на изучение физико-механических свойств снежных покрытий, без анализа их транспортно-эксплуатационных показателей.

При этом требования, предъявляемые к технологическому контролю при строительстве зимних лесных дорог, технологиям их строительства и эксплуатации, были до конца не сформулированы.

В диссертации обосновывается решение проблемы совершенствования системы технологического контроля качества строительства зимних лесных дорог в уплотненном снежном дорожном покрытии.

**Цель исследования.** Совершенствование методов технологического контроля качества при строительстве уплотненных снежных дорожных покрытий зимних лесных дорог.

**Задачи исследования:**

1. Разработать методы оценки транспортно-эксплуатационных показателей уплотненных снежных дорожных покрытий зимних лесных дорог.

2. Провести комплекс экспериментальных исследований, по оценке транспортно-эксплуатационных показателей уплотненных снежных дорожных покрытий зимних лесных дорог.

3. Разработать систему технологического контроля качества при строительстве уплотненных снежных дорожных покрытий зимних лесных дорог.

**Объект исследования:** зимние лесные дороги.

**Предмет исследования:** методы, способы и средства технологического контроля зимних лесных дорог при их строительстве.

**Методы исследования:** системный анализ, математического моделирования, регрессионного анализа, эксперимента, математической статистики.

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

1. Разработанная методика оценки транспортно-эксплуатационных показателей зимних лесных дорог, отличающаяся возможностью использования динамических методов испытаний уплотненного снежного дорожного покрытия.

2. Полученные аналитические и регрессионные зависимости изменения транспортно-эксплуатационных показателей зимних лесных дорог, отличающиеся возможностью их оценки по модулю динамического прогиба уплотненного снежного дорожного покрытия.

3. Разработанные рекомендации по совершенствованию технологического контроля качества строительства зимних лесных дорог, отличающиеся возможностью оценки транспортно-эксплуатационных показателей снежного покрытия по модулю динамического прогиба.

**Научные положения, выносимые на защиту**

1. Методика оценки транспортно-эксплуатационных показателей зимних лесных дорог, позволяющая найти динамические и статические параметры уплотненного снежного дорожного покрытия.

2. Закономерности изменения транспортно-эксплуатационных показателей зимних лесных дорог, позволяющие проводить оценку основных параметров уплотненного снежного дорожного покрытия по модулю динамического прогиба.

3. Система технологического контроля качества строительства уплотненного снежного дорожного покрытия, позволяющая повысить транспортно-эксплуатационные показатели зимних лесных дорог.

**Теоретическая и практическая значимость работы** состоит в совершенствовании системы технологического контроля качества строительства зимних лесных дорог в уплотненном снежном дорожном покрытии.

Результаты работы позволят повысить технический уровень строящихся зимних лесных дорог и увеличить срок их эксплуатации при освоении лесосырьевых баз в зимний период года.

**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 в диссертации научные положения, выводы и рекомендации обоснованы теоретическими решениями и экспериментальными результатами, полученными в работе, базируются на результатах технологического контроля качества при строительстве зимних лесных дорог, не противоречат известным положениям научных методов математического моделирования и подтверждаются статистическими расчетами, выполненными на основе результатов опытных экспериментов. Полученные алгоритмы реализованы в виде вычислительных экспериментов в среде Matlab, FIS Editor, Microsoft Excel 2010.

**Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации.** В работе и опубликованных статьях автор обосновал актуальность темы, поставил цель научно-исследовательской работы и сформулировал исследовательские задачи, определил и улучшил методические аспекты проведения исследований. Являлся инициатором и непосредственным участником проведения полевых экспериментов и сбора данных, осуществлял 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 международных научных, научно-практических и научно-технических конференциях:

– Научные достижения в XXI веке: модернизация, инновации, прогресс. Материалы III Международной научно-практической конференции (г. Анапа, 2022 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 в Свердловской, Челябинской области при строительстве зимних лесных дорог, используются в учебном процессе Уральского государственного лесотехнического университета.

**Публикации.** Результаты исследований отражены в 15 научных работах общим объемом 4,84 п.л. (авторских 3,4 п.л.), в том числе в 3 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, общих выводов и приложений; содержит 161 страниц текста, 29 таблиц,

24 рисунка и библиографический список из 108 наименований, включая 16 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 состоянию лесотранспортной инфраструктуры лесосырьевых баз, расположенных на территориях Свердловской, Челябинской областей и Пермского края, в зимний период года. Проведена оценка транспортно-эксплуатационных показателей зимних лесных дорог с уплотненным снежным дорожным покрытием.

Основы транспортного освоения лесосырьевых баз были заложены в работах и исследованиях В.И. Алябьева, Н.П. Вырко, И.И. Леоновича, Э.О. Салмина и многих других ученых.

Вопросами строительства и эксплуатации зимних лесовозных автомобильных дорог занимались такие ученые, как И.А. Афанасьев, А.М. Бургонутдинов, М.М. Корунов, И.Н. Кручинин, С.И. Морозов, Ф.А. Павлов.

В основе этих исследований лежат принципы повышения технологической эффективности их строительства, а вопросы повышения транспортно-эксплуатационных показателей зимних лесных дорог рассмотрены с точки зрения традиционных технологий уплотнения снежных поверхностей. При этом, как правило, не рассматривалась возможность использования технологического контроля при уплотнении дорожного снежного покрытия.

Основные требования к автозимникам и снежным дорожным покрытиям были сформулированы в исследованиях Б.П. Вейнберга, К.Ф. Войтковского, А.К. Дюнина. Особо следует отметить временные строительные нормы «Проектирование, строительство и содержание зимних автомобильных дорог в условиях Сибири и северо-востока СССР», разработанные Омским филиалом Союздорнии и СибАДИ им.В.В.Куйбышева.

На основе анализа этих работ было определено, что существующие методы контроля при строительстве зимних лесных дорог, с использованием традиционных методов оценки толщины, плотности, жесткости уплотненного снежного покрытия и температуры окружающего воздуха не рассматривают процессы, при которых происходят изменения физико-механических свойств снежного покрытия. При этом, обычно технологический контроль носит формальный характер. В случае строительства зимних дорог с уплотненным снежным покрытием методы технологического контроля нуждаются в пересмотре.

Поэтому, для повышения эффективности функционирования лесотранспортной инфраструктуры лесосырьевых баз в зимний период года необходимо пересмотреть методы технологического контроля при строительстве зимних лесных дорог.

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

**Во второй главе** рассмотрены теоретические основы строительства уплотненных снежных дорожных покрытий зимних лесных дорог, сформулированы

общие требования к системе оценки транспортно-эксплуатационных показателей уплотненного снежного дорожного покрытия зимних лесных дорог, предложен алгоритм и ее компьютерная реализация.

В процессе технологического контроля при строительстве зимних лесных дорог необходимо оценивать значительное количество факторов, таких как физические, механические и климатические.

Постановка задачи технологического контроля строительства уплотненных снежных дорожных покрытий зимних лесных дорог включает следующие процедуры: постановку задачи в общем виде; формирование критерия оценки транспортно-эксплуатационных показателей уплотненного снежного дорожного покрытия; задание ограничений; разработка алгоритма поиска решения; реализация алгоритма.

Наши исследования привели к выводу, что в качестве выходного параметра оценки транспортно-эксплуатационных показателей зимних лесных дорог целесообразно использовать значение модуля динамического прогиба снежного дорожного покрытия.

Таким образом, в качестве обобщающей функции примем модуль динамического прогиба уплотненного снежного дорожного покрытия  $D_{покрытия}$ , МПа. В нашем случае данная функция примет вид:

$$D_{покрытия} = f(H_{сн}, T, P_{сн}), \quad (1)$$

где  $H_{сн}$  – толщина уплотненного снежного покрытия, см;  
 $T$  – температура окружающего воздуха, °С;  
 $P_{сн}$  – плотность снежного покрытия, г/см<sup>3</sup>.

Структурная схема оценки транспортно-эксплуатационных показателей уплотненного снежного дорожного покрытия представлена на рисунке 1.

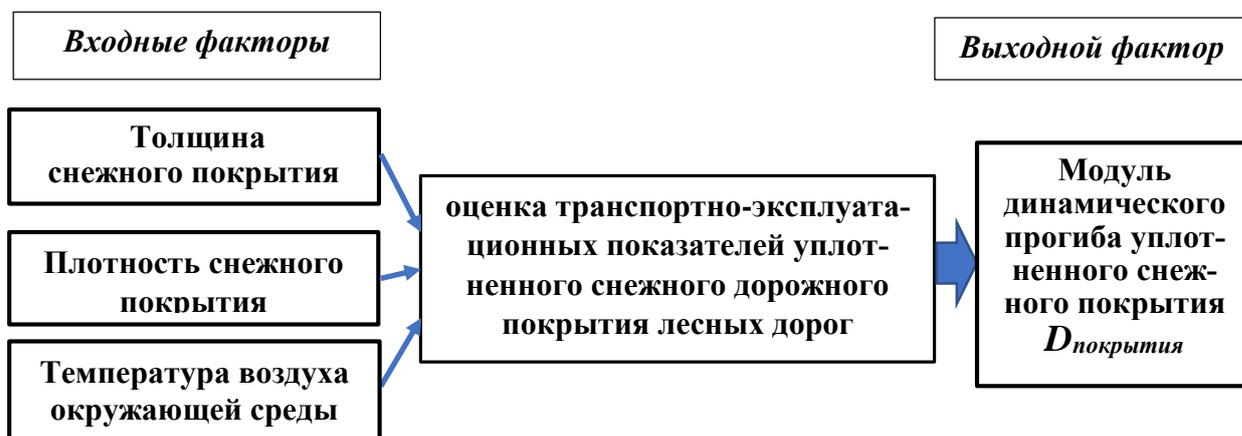
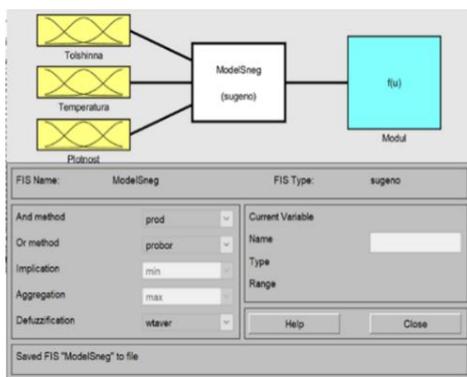


Рисунок 1 – Структурная схема оценки транспортно-эксплуатационных показателей уплотненного снежного дорожного покрытия

Выбрав в качестве критерия технологического контроля строительства зимних лесных дорог модуль динамического прогиба уплотненного снежного дорожного покрытия пришлось столкнуться с тем, что задача по оценке транспортно-эксплуатационных показателей зимних лесных дорог является многопараметрической и характеризуется неопределенностью в данных. При этом все

параметры являются взаимозависимыми. Учитывая неопределенность в данных, будем использовать методы теории нечеткой логики и нечетких множеств.

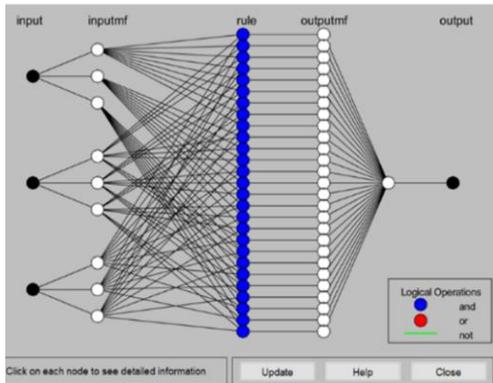
Для разработки интеллектуальной системы используем адаптивную нейро-нечеткую продукционную сеть типа ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System). Сеть разрабатываем в среде MATLAB. Для задания входных переменных создается файл формата \*.dat в виде матрицы с исходными данными. В интерфейсе программы задается схема метода нечеткого вывода, используемого в сети, она представлена на рис. 2, а. После загрузки исходных данных и определения параметров лингвистических переменных для входных переменных (рис.2, б), генерируется структура сети (рис. 2, в) с базой правил. В нашем случае имеется три входные переменные с тремя терм-множествами. Процесс точности обучения сети визуализируется на экране (рис. 2, г).



а)



б)



в)

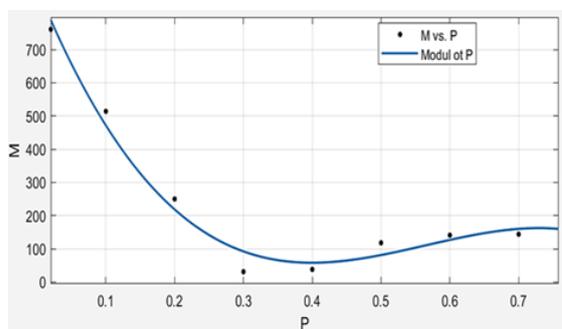


г)

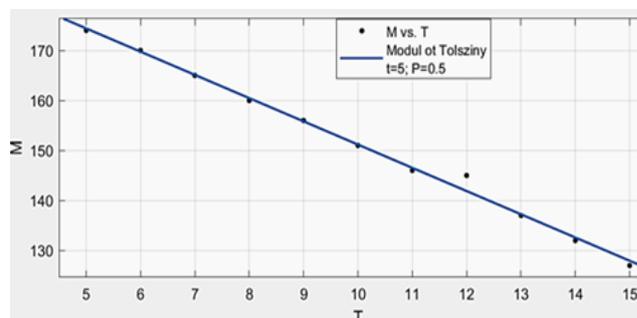
а) схема нечеткого вывода; б) задание входных переменных нечеткими функциями; в) генерация структуры нейронечеткой сети; г) – фрагмент обучения нейронечеткой сети  
Рисунок 2 – Оценка транспортно-эксплуатационных показателей уплотненного снежного покрытия зимних лесных дорогах с использованием нейросетевых технологий

Результаты оценки транспортно-эксплуатационных показателей уплотненного снежного покрытия зимних лесных дорог по изменению модуля динамического прогиба, при фиксированных значениях толщины, плотности снежного покрытия и температура воздуха представлены на рисунке 3. Анализ результатов модели показал, что расчеты вполне адекватны реальным объектам.

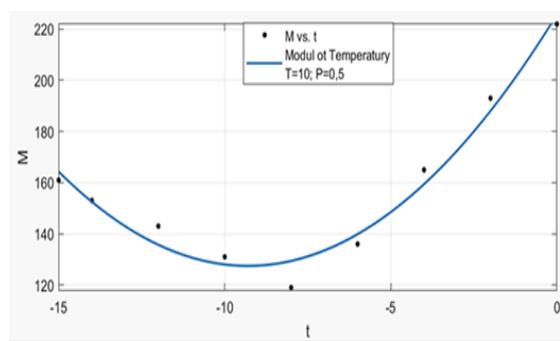
В таблице 1 приведены значения параметров обучающих выборок нейросети технологического контроля при строительстве снежных дорожных покрытий на зимних лесных дорогах.



а)



б)



в)

- а)  $D_{\text{покрытия}} = -5807 \cdot P^3_{\text{сн}} + 9834 \cdot P^2_{\text{сн}} - 5077 \cdot P_{\text{сн}} + 886,9$ , при толщине снежного покрытия в 15 см, температура воздуха  $-10^{\circ}\text{C}$ ;  
 б)  $D_{\text{покрытия}} = -4,645 H_{\text{сн}} + 197,6$ , при плотности снежного покрытия в  $0,50 \text{ г/см}^3$ , температура воздуха  $-5^{\circ}\text{C}$ ;  
 в)  $D_{\text{покрытия}} = 1,135 \cdot T^2 + 21,1 \cdot T + 225,7$  при толщине снежного покрытия в 20 см, плотностью  $0,50 \text{ г/см}^3$

Рисунок 3 – Графические зависимости изменения модуля динамического прогиба снежного покрытия

Таблица 1 – Значения параметров обучающих выборок нейросети технологического контроля при строительстве снежных дорожных покрытий на зимних лесных дорогах

№	Вид снежного покрытия	Толщина снежного покрытия, см	Плотность снежного покрытия, г/см <sup>3</sup>	Температура, °С	Модуль динамического прогиба $D_{\text{покрытия}}$ , МПа
1	рыхлый	15	0,28	- 5	15,6
2	уплотненный	10	0,60	- 15	178,2
3	слежавшийся	25	0,32	0	14,5
4	уплотненный	5	0,65	- 15	199,2
Обоснование переменных					
5	По данным наблюдения	Наибольшее и наименьшее зарегистрированное значение толщины	Наибольшее и наименьшее зарегистрированное значение плотности	при полевых испытаниях	Диапазон значений, полученных при полевых испытаниях
6		от 5,0 до 25	от 0,3 до 0,65	от 0 до минус 15	от 12,8 до 199,2

**В третьей главе** представлены материалы опытно-экспериментальных исследований при проведении технологического контроля строительства снежных дорожных покрытий на зимних лесных дорогах. Целью обследования в натуральных условиях стало инструментальное измерение параметров отдельных участков лесных дорог.

Натурные исследования проводились при строительстве и эксплуатации наиболее характерных участков лесотранспортной инфраструктуры, расположенных в Свердловской, Челябинской области и Пермском крае. Программа опытно-экспериментальных исследований включала в себя различные виды измерений. Была проведена оценка толщины, плотности, модуля динамического прогиба уплотненной снежной поверхности и температуры воздуха. Измерения динамических прогибов снежных поверхностей проводились с использованием прибора ZFG-3000-10 GPS.

Основные транспортно-эксплуатационные показатели уплотненных снежных покрытий были получены в процессе опытного строительства зимних лесных дорог, расположенных на территории Кыштымского лесхоза на участке ПК28+20 – ПК380+05, участок (55°36'55.5"N 60°31'57.3"E) в ноябре 2022 г.– апреле 2023 г., и Карпинского ЛПК филиал ООО «Ураллеспром» в феврале 2023 г. - марте 2023 г.

Условия испытаний наиболее полно соответствовали вероятностной природе функционирования лесовозного транспорта в зимний период. Примеры испытаний представлены в таблице 1 и на рисунке 4.



а)



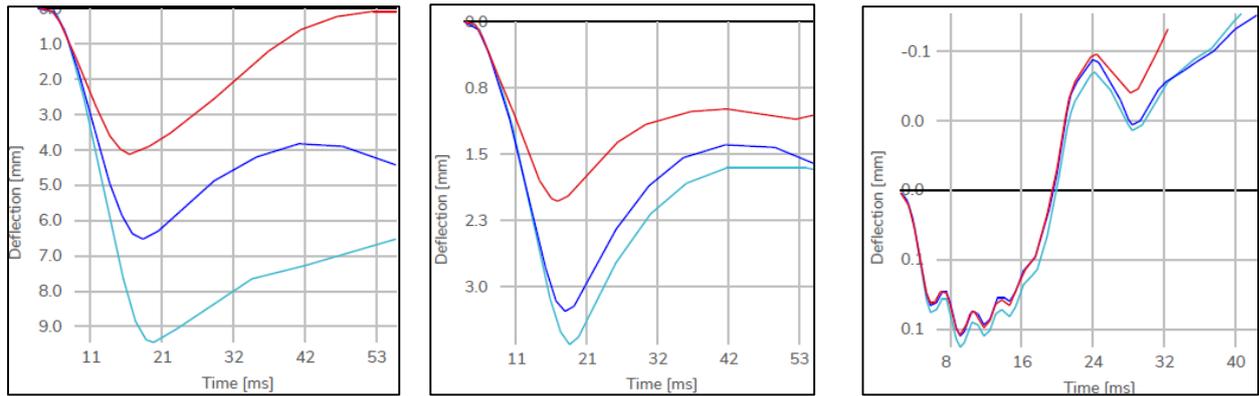
б)



в)

а) измерение модуля динамического прогиба снежного покрытия; б) прибор ZFG-3000-10 GPS; в) измерение плотности снежного покрытия методом режущего кольца  
Рисунок 4 – Измерение физико-механических параметров снежных покрытий лесных дорог с использованием динамического плотномера ZFG-3000-10 GPS и режущего кольца

Динамический плотномером ZFG-3000-10 GPS имеет встроенную функцию построения графических зависимостей динамических прогибов в функции времени. Анализ графиков динамических прогибов снежных покрытий показал, что на величину прогибов оказывает влияние плотность снега, его толщина и температура воздуха (рисунок 5).



а)

б)

в)

а) снег свежий, плотностью  $0,20 \text{ г/см}^3$ , температура воздуха  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ ; б) снег рыхлый, обвалованный, плотностью  $0,28 \text{ г/см}^3$ , температура воздуха  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ ; в) уплотненное снежное покрытие, плотностью  $0,60 \text{ г/см}^3$ , температура воздуха  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Рисунок 5 – Динамические деформации снежных поверхностей: линия зеленая – первый динамический прогиб; линия синяя – второй динамический прогиб; линия красная – третий динамический прогиб

Было выявлено, что чем ниже плотность снежной поверхности и выше температура воздуха, тем больше становится динамический прогиб покрытия и скорость нарастания деформаций.

Например, на снежной поверхности незначительной плотности происходят многократные деформации. На плотных снежных поверхностях, динамические деформации имеют незначительные величины и отличаются быстрыми изменениями амплитуд их значений. В наших исследованиях была зафиксирована существенная зависимость влияния температуры воздуха на модуль динамического прогиба снежной поверхности.

Анализ результатов измерения динамических деформаций снежных покрытий показывает, что они изменяются в довольно широком диапазоне. Выбрав в качестве критерия технологического контроля строительства зимних лесных дорог модуль динамического прогиба уплотненного снежного покрытия пришлось столкнуться с тем, что проблема оценки прочности зимних лесных дорог становится многопараметрической.

Для оценки степени влияния на прочность зимних лесных дорог технологических факторов при их строительстве был использован равномер-ротатальный план 2-го порядка. Для его проведения был выбран трехфакторный план Бокса-Хантера, включающий в себя двадцать испытаний. Разработанный план имеет приемлемые статистические показатели, при незначительном числе испытаний.

На основе статистического анализа и оценки значимости коэффициентов регрессии получено уравнение регрессии в нормализованных обозначениях:

$$\hat{y} = 137,069 - 11,560 x_1 + 57,506 x_2 - 2,681 x_3 - 2,748 x_1^2 - 28,707 x_2^2 - 11,274 x_3^2 - 9,685 x_1 x_2 - 0,702 x_1 x_3 - 0,310 x_2 x_3. \quad (2)$$

В натуральных обозначениях уравнение регрессии изменения модуля динамического прогиба уплотненного снежного покрытия имеет вид:

$$D_{\text{покрытия}} = -181,135 + 7,735N_{\text{сн}} + 1852,412 P_{\text{сн}} - 8,927T - 0,11N_{\text{сн}}^2 - 1277,17P_{\text{сн}}^2 - 0,45T^2 - 12,92N_{\text{сн}}P_{\text{сн}} - 0,028N_{\text{сн}}T - 4,96P_{\text{сн}}T, \quad (3)$$

где  $N_{\text{сн}}$  – толщина снежного покрытия, см;  
 $T$  – температура воздуха при испытаниях, °С;  
 $P_{\text{сн}}$  – плотность снежного покрытия, г/см<sup>3</sup>

Значения управляющих и выходных факторов представлены в таблицах 2 и 3.

Графические зависимости изменения модуля динамического прогиба уплотненного снежного покрытия лесных дорог от толщины, плотности и температуры воздуха, представлены на рисунке 6.

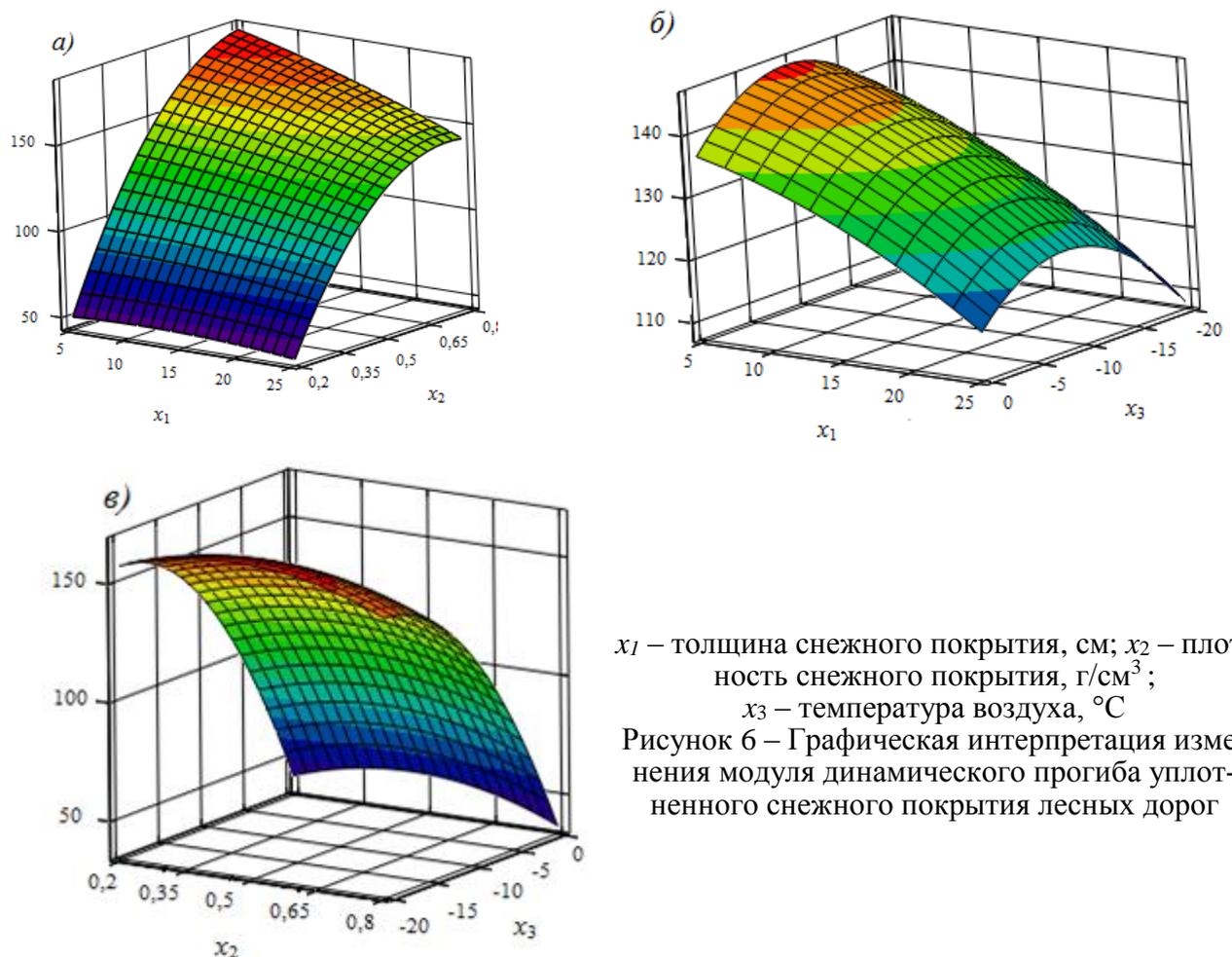


Рисунок 6 – Графическая интерпретация изменения модуля динамического прогиба уплотненного снежного покрытия лесных дорог

При решении оптимизационной модели использовалась технология оптимизации *Microsoft Excel 2010*. Оптимизация целевой функции (2) осуществлялась с применением метода обобщенного приведенного градиента. Оптимальные значения управляющих факторов составили:

$$x^* = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,588 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} 15 \text{ см} \\ 0,5 \text{ г/см}^2 \\ -7,1 \text{ }^\circ\text{C} \end{vmatrix} \quad (4)$$

где  $x_1 = 15$  см – толщина снежного покрытия;  $x_2 = 0,5$  г/см<sup>3</sup> – плотность снежного покрытия;  $x_3 = -7,1$  °С температура воздуха, при ожидаемом значении модуля динамического прогиба уплотненного снежного покрытия  $D_{\text{покрытия}} = 131,6$  МПа.

Таблица 2 – Диапазоны изменения управляющих факторов

Наименование фактора	Нормализованное обозначение	Натуральное обозначение	Значения на уровнях варьирования				
			звездная точка	нижний	основной	верхний	звездная точка
			-1,682	-1	0	+1	+1,682
Толщина снежного покрытия, см	$x_1$	$H_{\text{сн}}$	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0
Плотность снежного покрытия, г/см <sup>3</sup>	$x_2$	$P_{\text{сн}}$	0,20	0,35	0,5	0,65	0,76
Температура воздуха, °С	$x_3$	T	0	-5	-10	-15	-20

Таблица 3 – Выходной фактор

Наименование фактора	Обозначение	Нормализованное обозначение
Модуль динамического прогиба снежного покрытия, МПа	$D_{\text{покрытия}}$	y

**В четвертой главе** разработана система технологического контроля качества строительства уплотненных снежных дорожных покрытий зимних лесных дорог. В общем виде технологию строительства зимних лесных дорог можно разделить на следующие технологические процессы: первоначальная подготовка основания дорожной одежды из местного грунта, устройство водоотвода, формирование теплоизолирующих конструктивных слоев, накопление твердых снежных осадков, формирование снежного покрова на дорожном покрытии, послойное распределение снежного материала в технологическом слое, обжимка слоя снега гладилками, уплотнение снежного покрытия, технологический перерыв, уход за снежным покрытием, планирование уплотненного снежного покрытия.

Одним из элементов строительства лесотранспортной инфраструктуры в зимний период года служит система технологического контроля. Для осуществления контроля качества строительства уплотненных зимних покрытий лесных дорог необходим целый комплекс организационных и технологических мероприятий.

Разработанная схема технологического контроля качества строительства зимних лесных дорог представлена на рисунке 7.

Качество строительства оценивается по модулю динамического прогиба снежного покрытия. Измерение модуля динамического прогиба и основных технологических параметров осуществляется в точках, представленных в картах рабочего процесса и закрепленного в разработанном технологическом регламенте. Основные требования к снежным покрытиям представлены в таблице 4.

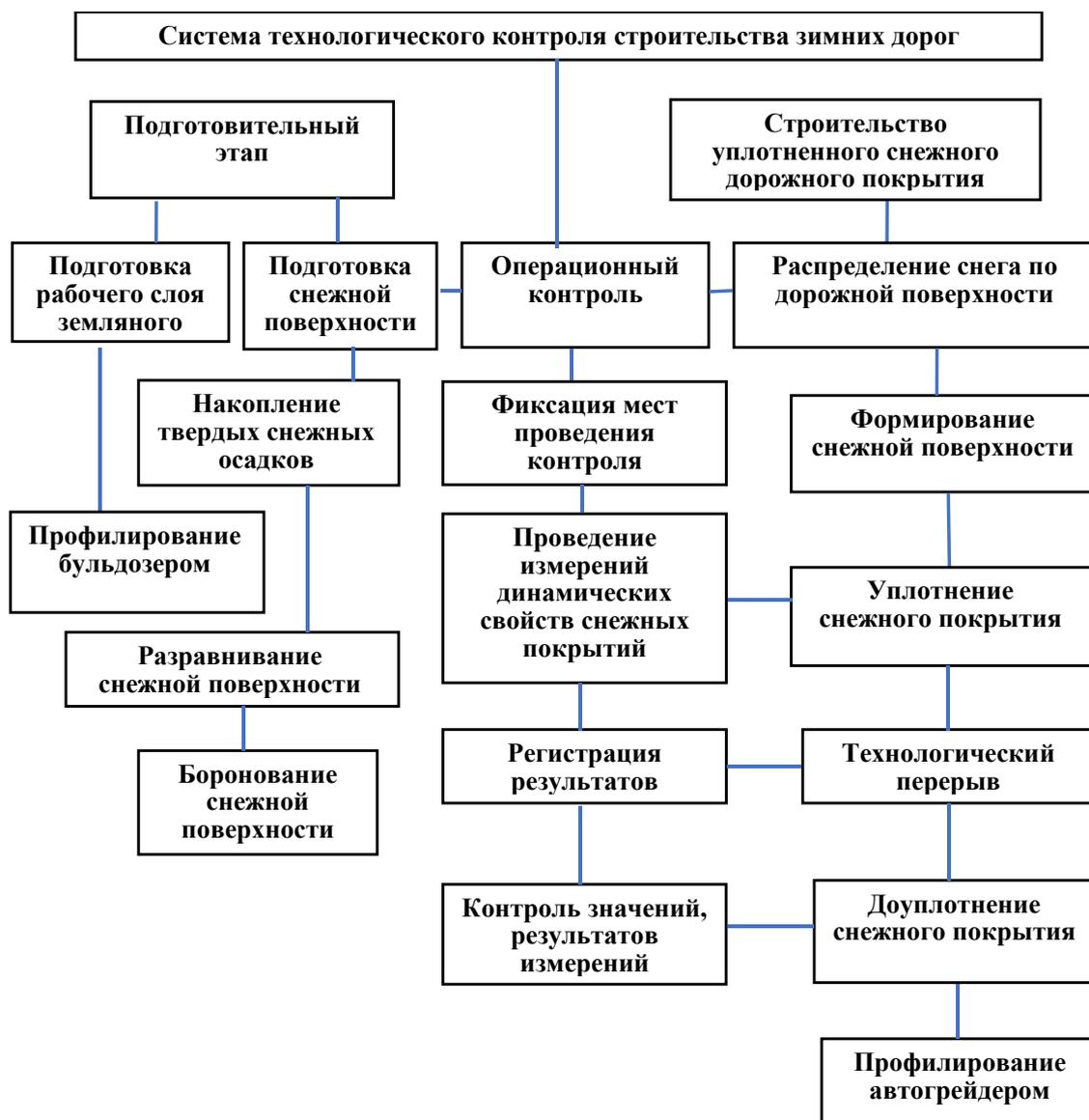


Рисунок 7 – Структурная схема технологического контроля качества строительства зимних лесных дорог

В случае неудовлетворительного качества проведения работ, принятые значения пересматриваются. Устройство снежного дорожного покрытия с необеспеченным модулем динамического прогиба возможно только при условии доведения его до требуемого значения.

Для оценки экономической эффективности внедряемого решения использован метод определения прямых затрат. Для сравнительной оценки рассмотрены варианты строительства зимней лесной автомобильной дороги на территории лесосырьевой базы, расположенной во II дорожно-климатической зоне.

Экономическая эффективность внедрения технологического контроля при строительстве дорожных конструкций с уплотненным снежным дорожным покрытием на лесной дороге протяженностью 3 км составила 201,6 тыс. руб.

Таблица 4 – Требования технологического контроля к уплотненным снежным дорожным покрытиям зимних лесных дорог

Транспортно-эксплуатационный показатель	Тип снежного покрытия	Толщина снежного покрытия, см	Модуль динамического прогиба снежного покрытия, МПа		
			При 0°C	При -5°C	При -15°C
Прочность снежного дорожного покрытия лесной дороги	Рыхлый, обвалованный	5,0	50-60	60-70	80-90
		10,0	25-35	40-50	10-50
		15,0	15-25	20-30	20-30
		25,0	15-25	10-20	25-25
Прочность снежного дорожного покрытия лесной дороги	Уплотненный, слежавшийся	5,0	120-130	130-140	130-140
		10,0	125-135	120-130	102-130
		15,0	130-140	130-140	140-150
		25,0	110-120	110-120	120-130
Прочность снежного дорожного покрытия лесной дороги	Уплотненный снежный покров	5,0	180-190	180-190	190-200
		10,0	150-160	110-120	165-175
		15,0	170-180	130-140	120-130
		25,0	190-200	150-160	130-140

### Основные выводы и рекомендации

1. Проведены экспериментальные исследования, по оценке транспортно-эксплуатационных показателей уплотненных снежных дорожных покрытий зимних лесных дорог.

2. Установлено, что для оценки транспортно-эксплуатационных показателей, уплотненных снежных дорожных покрытий зимних лесных дорог следует использовать динамические методы испытаний покрытий.

3. Впервые получены зависимости деформаций, уплотненных снежных дорожных покрытий и регрессионные модели оценки их транспортно-эксплуатационных показателей по модулю динамических деформаций с использованием интеллектуальной системы, построенной в виде нейронечеткой сети.

4. Установлено, что оптимальными параметрами уплотненного снежного дорожного покрытия следует считать: толщина уплотненного снежного покрытия равная 15 см; плотность снежного покрытия равная 0,5 г/см<sup>3</sup>; при температуре воздуха минус 7,1°C. Ожидаемое значение модуля динамического прогиба уплотненного снежного дорожного покрытия  $D = 131,6$  МПа.

5. Выявлено, что ухудшение транспортно-эксплуатационных показателей уплотненных снежных дорожных покрытий начинает происходить при снижении модуля динамического прогиба менее 80 – 90 МПа, при толщине слоя снега мене 9 см, при температуре воздуха от минус 3 и ниже.

6. Разработан и внедрен технологический регламент, устанавливающий обязательный технологический контроль при выполнении работ по устройству уплотненных снежных дорожных покрытий зимних лесных дорог.

7. Разработаны требования и регламенты технологического контроля качества строительства уплотненного снежного дорожного покрытия: толщина слоя снега не менее 15 см, температура воздуха не выше - 5 С, продолжительность технологического перерыва не менее 8 часов. Значения модуля динамического прогиба от 110 до 160 МПа.

8. Ожидаемый экономический эффект от внедрения технологического контроля качества при строительстве уплотненного снежного дорожного покрытия зимних лесных дорог позволяет в 1,24 раза снизить затраты на себестоимость строительства и увеличить сроки эксплуатации зимних лесных дорог.

9. Результаты исследований апробированы на практике и внедрены в ООО «ТД Урало-Сибирская компания», что подтверждается соответствующими актами.

10. Разработанные требования и регламенты могут быть адаптированы для использования их при строительстве автозимников местного значения и дорог специального промышленного транспорта.

**Перспективы дальнейшей разработки темы.** В дальнейшем предполагается использовать полученные результаты для разработки мероприятий по продлению сроков эксплуатации снежных покрытий зимних лесных дорог.

#### **Список основных публикаций по теме диссертации:**

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

1. Лабыкин А.А. Разработка требований к уплотненному снежному покрову зимних лесных дорог / А.А. Лабыкин, И.Н. Кручинин, Э.Р. Ахтямов // Деревообрабатывающая промышленность. – 2023. - № 2. – С.10 -19.

2. Лабыкин А.А. Оценка транспортно-эксплуатационного состояния уплотненного снежного покрова зимних лесных дорог с использованием нейронных сетей / А.А. Лабыкин, И.Н. Кручинин, В.В. Побединский, Э.Р. Ахтямов. //Деревообрабатывающая промышленность. – 2023. - №3 – С.3 – 11.

3. Лабыкин А.А. Совершенствование методов технологического контроля уплотненного снежного покрова при строительстве и эксплуатации зимней транспортной инфраструктуры лесов / А.А. Лабыкин, И.Н. Кручинин, Э.Р. Ахтямов, А.Г. Гороховский, Е.Е. Шишкина, Д.В. Овсейчик // Научный журнал. Системы Методы Технологии. - 2023 № 4 (60). – С. 147 – 154.

##### **б) в других изданиях и материалах конференций**

4. Лабыкин А.А. Транспортные сети Северного и Приполярного Урала / В.С. Авдеева, А.А. Лабыкин, И.Н. Кручинин // в сборнике: Научные достижения: теория, методология, практика. Сборник научных трудов по материалам XXXVIII Международной научно-практической конференции. Анапа, 2021. С. 7-11.

5. Лабыкин А.А. Природно-климатические условия Северного и Приполярного Урала / В.С. Авдеева, А.А. Лабыкин, И.Н. Кручинин // в сборнике: Наука и технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации. сборник научных трудов по материалам XXIX Международной научно-практической конференции. Анапа, 2021. С. 15-18.

6. Лабыкин А.А. Эксплуатационные особенности состояния лесовозных автомобильных дорог в зимних условиях Северного Урала / А.А. Лабыкин, Я.И. Абрамов // в сборнике: Наука в современном мире: результаты исследований и открытий. Сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции. Анапа, 2022. С. 54-58.

7. Лабыкин А.А. Влияние природно-климатических факторов Северного Урала на лесные дороги / А.А. Лабыкин, И.Н. Кручинин // в сборнике: Разработка энергоресурсосберегающих и экологически безопасных технологий лесопромышленного комплекса. Материалы Международной научной конференции ученых и студентов. Отв. редактор С.Н. Снегирева. Воронеж, 2022. С. 57-60.

8. Лабыкин А.А. Особенности применения снега, как дорожно- строительного материала для лесных дорог на территории лесов Северного Урала / А.А. Лабыкин, В.С. Авдеева, Я.И. Абрамов // в сборнике: Современная наука: эксперимент и научная дискуссия. Сборник научных трудов по материалам X Международной научно-практической конференции. Анапа, 2022. С. 54-57.

9. Лабыкин А.А. Транспортно-эксплуатационное состояние лесовозных автомобильных дорог Северного Урала / А.А. Лабыкин, В.С. Авдеева // в сборнике: Научные достижения в XXI веке: модернизация, инновации, прогресс. Сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции. Анапа, 2022. С. 90-93.

10. Лабыкин А.А. Математическая модель деформации снежного покрова малой толщины при движении лесовозных автопоездов / А.А. Лабыкин, И.Н. Кручинин, О.Н. Бурмистрова // в сборнике: Взаимодействие науки и общества в контексте междисциплинарных исследований. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2023. С. 18-22.

11. Лабыкин А.А. Нормирование толщины уплотненного снежного покрова на проезжей части лесовозных автомобильных дорог / А.А. Лабыкин, И.Н. Кручинин, О.Н. Бурмистрова // в сборнике: Научная трансформация - основа устойчивого инновационного развития общества. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2023. С. 38-46

12. Лабыкин А.А. Разработка математической модели деформации снежного покрова, лежащего на проезжей части лесной дороги / А.А. Лабыкин, И.Н. Кручинин, Д.В. Бурмистров // в сборнике: Научная трансформация - основа устойчивого инновационного развития общества. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2023. С. 46-52.

13. Лабыкин А.А. Условия применения зимних лесовозных автомобильных дорог / А.А. Лабыкин, И.Н. Кручинин, О.Н. Бурмистрова // Теория и практика современной науки. 2023. № 4 (94). С. 199-209.

**б) в патентах**

14. Пат. № 209723 Российская Федерация, МПК E01C19/28. Корпус дорожного знака. И.Н. Кручинин, И.Р. Шайхуллин, А.К. Мазитова, О.Н. Бурмистрова, Д.Д. Сабиров, З.И. Шайхуллина, Е.И. Кручинина, Я.И. Абрамов, **А.А. Лабькин**; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО УГЛТУ, RU . – № 2021127232, заявл. 16.09.2021 г. опубл. 21.03.2022 г. бюл. №10. (Соискателем разработано устройство для регулирования движения лесовозных автомобилей по зимним лесным дорогам).

15. Пат. № 219114. Российская Федерация, МПК E 01 H 4/00. Устройство для формирования уплотненного снежного покрытия. И.Н. Кручинин, **А.А. Лабькин**, Д.В. Овсейчик, В.В. Побединский, О.Н. Бурмистрова, В.С. Авдеева; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО УГЛТУ, RU . – № 2023112508 заявл. 16.05.2023 г. опубл. 28.06.2023 г. (Соискателем разработано устройство для строительства уплотненного снежного покрытия зимних лесных дорог).

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](mailto:d21228102@yandex.ru).

Подписано в печать 2024 г  
Усл. п.л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № .

---

Редакционно-издательский отдел