

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»**

На правах рукописи

Ахтямов Эльдар Рашидович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
СТРОИТЕЛЬСТВА МОРОЗОУСТОЙЧИВЫХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД
ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ С ДОБАВКАМИ ИЗ ВЕРМИКУЛИТА**

05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель – И. Н. Кручинин,
доктор технических наук, доцент

Екатеринбург

2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕСНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ЛЕСОВ ЕВРАЗИИ	11
1.1 Особенности транспортного освоения лесных земель трансграничных лесов Евразии	11
1.2 Природно-климатические условия расположения транспортной инфраструктуры трансграничных лесов Евразии.....	23
1.3. Особенности проектирования морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог.....	26
1.4 Обзор современных технологий строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог	42
Выводы по первой главе и постановка цели и задач исследования	48
ГЛАВА 2. ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОРОЗОУСТОЙЧИВЫХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С ДОБАВКАМИ ИЗ ВЕРМИКУЛИТА.....	51
2.1 Обоснование принципиальной и расчетной схем конструкции дорожной одежды	51
2.2 Постановка задачи оптимизации параметров конструкции морозоустойчивой дорожной одежды лесовозной дороги в общем виде..	52
2.3 Формирование целевой функции	54
2.4 Определение вектора управляющих параметров.....	56
2.5 Задание ограничений управляющих параметров.....	57
2.6 Формальная запись постановки задачи оптимизации конструкции морозоустойчивой дорожной одежды	58
2.7 Реализация алгоритма оптимизации параметров конструкции морозоустойчивой дорожной одежды	60
2.8 Разработка программы поиска оптимального решения.....	62
Выводы по второй главе	63

ГЛАВА 3. ЛАБОРАТОРНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРОЗОЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ С ДОБАВКАМИ ВЕРМИКУЛИТА.....	65
3.1 Разработка методики проведения экспериментальных исследований по строительству морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками вермикулита.....	65
3.2 Лабораторные исследования грунтовермикулитового материала.....	67
3.3 Планирование эксперимента по подбору теплофизических свойств дорожных покрытий лесовозных дорог	71
3.4 Результаты лабораторных исследований теплофизических свойств асфальтобетонных смесей с добавками из вермикулита.....	79
3.5 Построение регрессионной модели.....	81
3.6 Обоснование оптимальной величины содержания вспученного вермикулита в асфальтобетонном дорожном покрытии.....	83
3.7 Опытное-экспериментальное строительство морозоустойчивых дорожных одежд.....	85
Выводы по третьей главе	87
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА МОРОЗОУСТОЙЧИВЫХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ	89
4.1 Совершенствование технологии строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог	89
4.2 Разработка рекомендаций на выполнение работ по устройству морозозащитных слоев лесовозных дорог	91
4.3 Технология устройства морозозащитных слоев лесовозных дорог с добавками из вермикулита	94
4.4 Система технологического контроля качества строительства лесовозных дорог с использованием информационных технологий.....	100

4.5 Экономическая эффективность строительства морозозащитных дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита.....	108
Выводы по четвертой главе	111
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	113
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	116
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	130
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	143
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	145
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	146
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	155
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	189

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Как правило, транспортные сети действующих и потенциальных лесосырьевых баз располагаются в сложных природно-климатических условиях и в значительной удаленности от предприятий дорожно-строительного комплекса, что накладывает определенные ограничения как на конструкции лесовозных автомобильных дорог, так и на технологии их строительства.

Потребность в совершенствовании транспортно-эксплуатационных качеств лесотранспортной инфраструктуры обуславливает необходимость развития норм проектирования лесовозных автомобильных дорог и способов их строительства, повышения уровней содержания и эксплуатации, применения современных строительных материалов с улучшенными характеристиками. При этом необходимо учитывать, что ведение рациональной лесопромышленной деятельности ограничено возможностью использования некоторых типов дорожно-строительных материалов.

Существующие методы проектирования дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог, расположенных в сложных природно-климатических условиях, чаще всего не способны обеспечить эффективную борьбу с зимним морозным пучением, т.к. они в большинстве своем ориентированы на использование только традиционных теплоизоляционных строительных материалов, зачастую дорогостоящих. Также эти методы не рассматривают аспекты влияния прочностных и теплофизических характеристик конструктивных слоев дорожных одежд друг на друга, которые, в конечном итоге, определяют эксплуатационные свойства и долговечность лесовозных дорог.

Невозможность использования дорогостоящих теплоизоляционных материалов в дорожном строительстве на территориях большинства лесосырьевых баз РФ предопределяет важность поиска альтернативных технических решений, позволяющих использовать эффективные местные материалы для обустройства лесотранспортной инфраструктуры. Используемые материалы

должны быть не только экологически безопасными и с относительно низкой стоимостью, но и должны обеспечивать дорожной одежде требуемые морозоустойчивые свойства.

Однако следует отметить, что использование для строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог теплоизоляционных материалов сопряжено с рядом технических, технологических и эксплуатационных трудностей.

Необходимость совершенствования методов проектирования, разработки оптимальных конструкций морозоустойчивых дорожных одежд и способов их строительства обусловлена тем, что влияние лесовозных автомобильных дорог 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 Российской Федерации от 11 февраля 2021 года №312-р) и в рамках фундаментальных научных исследований ФГБОУ ВО УГЛТУ FEUG-2020-0013 «Экологические аспекты рационального природопользования» (номер госрегистрации темы АААА-А20-120092390016-9).

Степень разработанности темы исследования. Проблемами повышения эффективности проектирования и строительства лесовозных дорог занимались такие учреждения высшего образования, как СПбГЛТУ, ВГЛТУ, УГЛТУ, УГТУ, ПГТУ, ими разработаны вопросы проектирования и строительства лесовозных дорог. Выполненные исследования направлены на оценку проектных решений транспортного освоения лесосырьевых баз, а также развитие технологий их строительства и эксплуатации. Значительное количество исследований посвящено анализу создания транспортной инфраструктуры трансграничных лесов Евразии, расположенных в сложных при-

родно-климатических условиях на территориях Свердловской и Челябинской областей.

При этом требования, предъявляемые к обеспечению морозоустойчивости лесовозных дорог, технологиям их строительства и эксплуатации, до конца не сформулированы.

В диссертации обосновывается решение проблемы повышения эффективности проектирования и строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог, расположенных в сложных природно-климатических условиях, с использованием местного минерального сырья на основе вермикулита.

Цель исследования. Совершенствование методов проектирования и строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог с добавками из вермикулита.

Задачи исследования:

1. Разработать методы оптимального проектирования морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита, обеспечивающие их работоспособность в сложных природно-климатических условиях.

2. Провести комплекс экспериментальных исследований по оценке физико-механических и теплофизических характеристик морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита.

3. Разработать технологию строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита.

Объект исследования: лесовозные автомобильные дороги.

Предмет исследования: дорожные одежды лесовозных автомобильных дорог с добавками из вермикулита, технологии, методы и способы их строительства.

Методы исследования: системный анализ, методы дифференциального и интегрального исчисления, математического и имитационного моделирования, регрессионного анализа, эксперимента, математической статистики.

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

1. Разработанная методика проектирования морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог, отличающаяся учетом обобщенного показателя физико-механических и теплофизических свойств конструктивных слоев дорожных одежд.

2. Полученные аналитические и регрессионные зависимости оценки характеристик морозоустойчивых дорожных одежд, отличающиеся возможностью учета влияния добавок из вермикулита на физико-механические и теплофизические свойства конструктивных слоев лесовозных дорог.

3. Разработанные рекомендации по повышению технологической эффективности строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог, отличающиеся возможностью применения добавок из вермикулита.

Научные положения, выносимые на защиту.

1. Методика проектирования морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с учетом обобщенного показателя физико-механических и теплофизических свойств конструктивных слоев, позволяющая найти их оптимальные значения.

2. Закономерности изменения характеристик конструктивных слоев морозоустойчивых дорожных одежд в зависимости от содержания вермикулита.

3. Технология строительства морозоустойчивых дорожных одежд с использованием добавок из вермикулита, позволяющая повысить физико-механические и теплофизические характеристики конструктивных слоев дорожных одежд и тем самым обеспечить устойчивость лесовозных дорог к нагрузкам при их эксплуатации в сложных природно-климатических условиях.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в разработке математической модели оптимального проектирования морозоустойчивых дорожных одежд и совершенствовании технологии строительства лесовозных дорог с добавками из вермикулита.

Результаты работы позволят повысить технический уровень вновь строящихся лесовозных дорог и увеличить срок их межремонтной эксплуатации, улучшить лесотранспортную доступность трансграничных лесов Евразии, сократить затраты на дорожно-строительные материалы.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Результаты, выносимые на защиту, относятся к пункту 15 – «Обоснование схем транспортного освоения лесосырьевых баз, поставки лесопродукции, выбора техники и способов строительства лесовозных дорог и инженерных сооружений» (паспорт специальности 05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства).

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 опыта строительства лесовозных дорог, не противоречат известным положениям научных методов математического моделирования и подтверждаются статистическими расчетами, выполненными на основе результатов лабораторных и производственных экспериментов, проведенных. 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 лабораторных и 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, полу-

чены 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:

– Современные машины, оборудование и *IT*-решения лесопромышленного комплекса: теория и практика. Всероссийская научно-практическая конференция, Воронеж, 17 июня 2021 г. (г. Воронеж, 2021г.);

– Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации. XXXIX Международная научно-практическая конференция (г. Анапа, 2021 г.).

Реализация работы. Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены в Свердловской, Челябинской области при строительстве лесовозных дорог, используются в учебном процессе Уральского государственного лесотехнического университета и Ухтинского государственного технического университета.

Публикации. Результаты исследований отражены в 10 научных работах общим объемом 3,9 п.л. (авторских 2,3 п.л.), в том числе в 4 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, общих выводов и приложений; содержит 194 страницы текста, 25 таблиц, 31 рисунок и библиографический список из 125 наименований, включая 25 на иностранных языках

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕСНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТРАСГРАНИЧНЫХ ЛЕСОВ ЕВРАЗИИ

1.1 Особенности транспортного освоения лесных земель трансграничных лесов Евразии

Система устойчивого лесопользования неотделима от развития и эксплуатации дорожно-транспортной инфраструктуры лесосырьевых баз. Одним из основных элементов освоения лесосырьевых баз служит дорожно-транспортная инфраструктура, к которой относятся и все виды лесовозных дорог.

Современными нормативно-законодательными документами в области лесного законодательства устанавливается, что лесовозные дороги проектируются и строятся при любых видах использования лесов [56, 86]. Неразвитые лесотранспортные сети и дорожно-транспортная инфраструктура лесных земель существенно замедляют освоение эксплуатационных лесов и снижают экономическую доступность древесных лесных ресурсов.

Транспортная инфраструктура лесосырьевых баз Российской Федерации, по состоянию на начало 2022 г., имеет общую протяженность до 1,28 млн. км. Общая протяженность лесовозных дорог с капитальным типом дорожного покрытия небольшая, около десяти процентов. Преобладают дороги с усовершенствованным типом покрытия, около 962 тыс. км, а также дороги временного действия, общей протяженностью до 220 тыс. км [33, 92].

По состоянию на начало 2021 г. плотность лесотранспортной инфраструктуры в Российской Федерации составляет около 1,48 км на одну тыс. га лесных земель, что значительно меньше, чем в Скандинавских странах. На территории Урала этот показатель доходит до величины в 5,62 км на одну тыс. га [2].

Особенностью освоения лесных земель Уральского региона стало значительное увеличение средней дальности транспортировки лесоматериалов. Лесосырьевые базы существенно удалены от основных деревоперерабатывающих

предприятий, а лесотранспортные пути к ним проходят по автомобильным дорогам, которые относятся к различным структурам [93, 94].

Основой транспортной инфраструктуры лесосырьевых баз служат лесовозные автомобильные дороги. При этом именно лесовозные дороги служат основополагающим элементом технологии лесозаготовительного производства.

Лесовозные автомобильные дороги, их методы проектирования и строительства были рассмотрены в исследованиях таких ученых, как В. И. Алябьев [4], В. Ф. Бабков [12], Н. П. Вырко [23], Б. А. Ильин [42, 43], И. И. Леонович [38, 55], Э. О. Салминен [79, 80] и др.

Транспортно-эксплуатационные показатели лесовозных дорог были сформулированы и изучены такими учеными, как Д.Н. Афоничев [7], О. Н. Бурмистрова [16], И. Н. Кручинин [51, 52], В. К. Курьянов [54], М. Г. Салихов [78], М. Ю. Смирнов [84], А. В. Скрыпников [78].

Проектирование и строительство временных лесовозных дорог было изучено в работах С. И. Морозова [62], Ф. А. Павлова [68].

Лесовозные дороги сооружают для перевозки древесины и других грузов, осуществляемой лесозаготовительными или лесохозяйственными предприятиями. Все лесовозные дороги в зависимости от срока их эксплуатации подразделяются на постоянные и временные.

Известно, что лесовозные дороги постоянного действия могут находиться в эксплуатации свыше пяти лет [20, 86, 95]. К постоянным лесовозным дорогам можно отнести магистральные, которые соединяют участок лесозаготовки с погрузочными площадками нижних лесных складов, и дороги, примыкающие к магистралям.

Временные лесовозные дороги - это сезонные дороги, а также ветки и лесовозные усы. Все магистральные лесовозные дороги должны обеспечить функционирование лесозаготовительных предприятий до полного освоения лесосырьевой базы.

Различают следующие виды лесовозных автомобильных дорог [40, 42]:

– лесовозные автомобильные дороги внешние, подъездные пути. Создание транспортных связей между крупными лесохозяйственными организациями, которые осуществляют заготовку и переработку леса, с автомобильными дорогами общего пользования. Нормы проектирования как для автомобильных дорог IV, III категорий [95];

– лесовозные дороги межплощадочные. Создание транспортных связей между лесоучастками и территориями, на которых происходят лесозаготовительные работы или иные виды лесохозяйственной деятельности.

При этом они по своему назначению относятся как к магистральным дорогам, так и к внутриплощадочным и внутризаводским дорогам.

По степени транспортной доступности лесных территорий различают:

- I категория. Удаленность от существующих лесовозных дорог до 5 км;
- II категория. Удаленность от существующих лесовозных дорог от 5 до 10 км;
- III категория. Удаленность от существующих лесовозных дорог более 10 км.

К основными эксплуатационными показателями дорог относятся:

- грузооборот лесовозной дороги; грузовая работа лесовозной дороги;
- среднее расстояние вывозки по лесовозной дороге;
- средневзвешенный пробег по лесовозной дороге.

По общим объемам грузовой работы все лесовозные дороги подразделяются по категориям:

- I категория, с грузонапряженностью менее 100 тыс. т нетто/год;
- II категория, с грузонапряженностью более 100 тыс. т нетто/год.

Лесовозные автомобильные дороги являются структурой промышленного транспорта. Появляется возможность их прокладки по лесным массивам, а от них к автомобильным дорогам общего пользования, а также к производственным цехам лесопромышленных предприятий.

Лесные дороги также относятся к объектам лесохозяйственного назначения.

Именно лесные дороги обеспечивают возможность работы по лесовосстановительным и лесохозяйственным мероприятиям.

Типы лесохозяйственных дорог и их классификация приведена в таблице 1.1 [86].

Таблица 1.1– Лесохозяйственные дорог, классификация по СП 288.1325800.2016

Дороги	Расчетная интенсивность движения, авт./сут.	Тип дорог
Магистральные, внешние и дороги в зеленых зонах	25-50	I
Дороги с выходом на магистраль, дороги, соединяющие лесохозяйственные объекты с дорогами общего пользования	До 25	II
Противопожарные, дороги для вывозки лесохимического сырья, дороги к временным лесопитомникам, постоянным лесосеменным участкам, кордонам, егерским участкам	Единичная	III

В общем виде лесовозные дороги подразделяются на:

– дороги I типа, это магистральные дороги, объединяющие дороги низших типов в единую транспортную сеть;

– дороги II типа, это дороги, прокладываемые для освоения отдельных лесных массивов и проведения лесохозяйственных мероприятий, а также объединяющие различные подразделения лесохозяйственных предприятий и имеющие выход на магистральные дороги.

В Российской Федерации транспортная инфраструктура лесов включена в раздел ведомственных и частных автомобильных дорог необщего пользования.

При этом лесные дороги по назначению подразделяются на лесовозные дороги и лесохозяйственные дороги. Основные правила проектирования и строительства, детально разработаны в своде правил СП 288.1325800.2016 Лесные дороги [86]. Там же приведены основные требования, предъявляемые к лесовозным дорогам, которые проходят по территориям лесного фонда Российской Федерации.

По срокам действия дороги можно выделить на: лесовозные дороги постоянного действия и временные. Лесовозные дороги постоянного действия являются объектами капитального строительства и могут служить в виде:

- грузосборочных (лесовозные магистрали); лесовозных веток (ответвления от основной магистрали);
- лесовозных усов (ответвления от основных веток).

Что касается временных лесовозных дорог, то они не являются объектами капитального строительства и создаются без разработки проектных решений. Все временные лесные дороги можно разделить на дороги летние и дороги зимние [62, 86].

Лесохозяйственные дороги не используют для вывозки древесины, а их классификация приведена в таблице 1.2. Проблемы их эксплуатации рассмотрены в работах [79, 108, 110, 124]. При этом лесохозяйственные дороги выполняют и противопожарные функции путей сообщения [4].

Лесовозные дороги могут также иметь интенсивность движения не более 400 авт. в сутки, что позволяет отнести их к дорогам с низкой интенсивностью движения. В Российской Федерации в настоящее время действует свод правил СП 243.1326000.2015 «Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения», который позволяет применять эти нормы и правила при проектировании и строительстве лесовозных автомобильных дорог [85].

Освоение лесных ресурсов трансграничных лесов Евразии напрямую связано с транспортным освоением лесосырьевых территорий Свердловской области.

Особенностью транспортной инфраструктуры трансграничных лесов Евразии служит формирование связующего звена между Европой и Азией, что обеспечивает формирование многосторонних экономических, культурных, и социальных связей.

Таблица 1.2 – Лесные автомобильные дороги по функциональному назначению, классификация по СП 288.1325800.2016

Функциональное назначение	Грузооборот, млн. т нетто/год	Категория
Лесная дорога, связывающая лесосырьевую базу с нижним лесным складом предприятия, пунктом потребления древесины или дорогой общего пользования, пересекает лесной массив и объединяет все лесные дороги в единую сеть	От 0,35 до 0,7	I _л
Лесная дорога, связывающая лесосырьевую базу с нижним лесным складом, пунктом потребления древесины или дорогой общего пользования, пересекает лесной массив и объединяет все лесовозные дороги	От 0,14 до 0,35	II _л
Лесная дорога, примыкающая к лесным дорогам категории	Менее 0,14	III _л
Лесные дороги, предназначенные: – для доставки сельскохозяйственной и специальной техники и грузов к местам производства работ и лесным пожарам; – осуществления рекреационной деятельности; – вывозки лесохимического сырья; – подъезда к лесопитомникам; – подъезда к кордонам и егерским участкам, а также для патрулирования лесных массивов, временных дорог (сезонного действия).	Без определенного грузооборота	IV _л

Помимо этого, трансграничные леса Евразии представляют собой один из крупнейших лесопромышленных центров, максимально приближенных к зоне стратегических запасов лесного сырья (Ханты-Мансийскому автономному округу, Северному и Приполярному Уралу, Южному Уралу, Республике Коми), реализация которых составляет основу развития промышленного потенциала окружающих областей.

Транспортная инфраструктура лесопользования трансграничных лесов насчитывает более 123 тыс. километров, из них лесовозных круглогодочного действия составляет около 13,6 тыс. км. Подавляющее большинство из них - без права собственности, их эксплуатация производится только на принципах освоения близлежащих лесных участков (Приложение А, таблица А.1).

Анализ лесотранспортной инфраструктуры трансграничных лесов выявил, что общая протяженность лесовозных дорог, относящихся к федеральным, региональным и лесным дорогам, для Свердловской области составляет почти 31254,7 км, из которых протяженность дорог, расположенных на землях федеральной собственности, составляет около 723,5 км (около 1,8 %), регионального значения и землях лесопользования - около 11 786,5 км (около 36,2 %), местного значения – 19675,5 км (63%) (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Структура лесотранспортной сети трансграничных лесов Евразии, расположенных на территории Свердловской области

Вид транспортной инфраструктуры	Протяжённость лесотранспортных путей, км						
	Всего	Лесохозяйственные дороги				Лесовозные дороги	Дороги общего пользования
		I тип	I тип	III тип	Итого		
Общая протяжённость лесотранспортных путей:	102427,6	4749,1	14579,1	46210,3	65538,5	13937,2	22951,9
Наземные автомобильные дороги:	3760,7	144,7	2,7	3,0	150,4	1233,7	2376,6
с усовершенствованным типом покрытия	622,0	–	–	–	–	–	622,0
Грунтовые улучшенные	83051,3	3800,4	12544,9	41353,3	57698,6	7724,9	17627,8
в том числе постоянного действия	5471,8	428,9	148,0	54,3	631,2	575,0	4265,6
в том числе временного действия	77579,5	3371,5	12396,9	41299	57067,4	7149,9	13362,2

Протяженность дорог с твердым покрытием в Свердловской области составляет около 24 292,9 км [94].

Общая суммарная протяженность автомобильных дорог регионального значения и дорог на лесных землях составляет около 9745,603 км. Из них имеют дорожное покрытие усовершенствованного типа – 1423,096 км, автомобильные

дороги с покрытием переходного типа – 7687,042, автомобильные дороги с грунтовым покрытием – 635,465 км [53].

Общая характеристика транспортной инфраструктуры трансграничных лесов Евразии, на примере лесных земель Свердловской области, приведена в Приложении А, таблица А.1. 3.

В Челябинской области автомобильные дороги области представлены дорогами общего пользования федерального, областного и местного значения. В настоящее время территорию области пересекают федеральные автомобильные дороги Москва - Челябинск - Астана (М - 36 Е - 123), Москва - Челябинск - Екатеринбург (М - 5 «Урал», Челябинск – Курган – Новосибирск (М – 51 «Байкал» Е – 30), по которым осуществляется связь с соседними областями. Из других автодорог для перевозки грузов и пассажиров особенно важны автомобильные дороги общего пользования, находящиеся в областной собственности. Общая протяженность сети областных автомобильных дорог общего пользования составляет 8696,468 км (постановление Правительства Челябинской области от 23.03.2016).

По состоянию на 1 января 2017 года, общая протяженность дорог на территории лесного фонда региона составляет 22819 км, в том числе автомобильных - 22128 км, или 96 %, из которых на долю грунтовых дорог приходится 20353 км, или 89 %. Дороги с твердым покрытием составляют 1774 км, или около 8 % от общей протяженности дорог. Дороги общего пользования имеют протяженность 7215,3 км, или 32 % [57]. На железные дороги, пересекающие территории лесничеств, приходится 643 км, зимники составляют 37 км. Средняя протяженность дорог на 100 га лесных земель лесного фонда составляет 0,87 км, в том числе круглогодичного действия 0,28 км.

Наиболее обеспечены дорожной сетью Брединское, Карталинское, Миасское, Пластовское и Верхнеуральское лесничества, протяженность в которых на 100 га лесного фонда соответствует действующим нормативам. Невысокой транспортной доступностью характеризуются Каслинское, Катав-Ивановское, Чgebаркульское и Шершнеvское лесничества. При этом арендные отношения, и

прежде всего в сфере заготовки древесины, наиболее распространены в Нязепетровском, Катав-Ивановском, Усть-Катавском, Каслинском и Миасском лесничествах. Следовательно, для дальнейшего осуществления лесохозяйственной и лесопромышленной деятельности, в первую очередь, именно на территории лесничеств с недостаточным развитием существующих путей сообщения необходимо строительство новых лесохозяйственных дорог.

Детальная карта-схема транспортного освоения лесов Челябинской области приведена на рисунке 1.1.

Согласно лесным планам, на территории трансграничных лесов Евразии действует сезонность в лесозаготовительном производстве, и основной объем заготовки и вывозки древесины приходится на зимний период. Подобный подход негативно сказывается на концентрации материальных и финансовых ресурсов.

Следующим фактором, оказывающим негативное влияние на эффективное освоение трансграничных лесов Свердловской области, является отсутствие необходимой транспортной инфраструктуры магистральных лесовозных дорог. При этом часть лесозаготовительного процесса сосредотачивается в зоне лесов, примыкающих непосредственно к лесотранспортным магистралям или дорог, расположенных на региональных землях. Отсутствие дорожно-транспортной инфраструктуры существенно замедляет возможности освоения эксплуатационных лесов и снижает их экономическую доступность.

Как показано в работах [36, 71], круглогодичная заготовка и вывозка древесины опирается на развитую транспортную сеть. Для решения данного вопроса необходима разработка территориальной комплексной схемы транспортного освоения лесов, которая должна служить основой для проектирования и строительства транспортной инфраструктуры трансграничных лесов Евразии.

Развитие современной лесотранспортной инфраструктуры трансграничных лесов Свердловской области происходит в соответствии с программами Уральского Федерального округа.

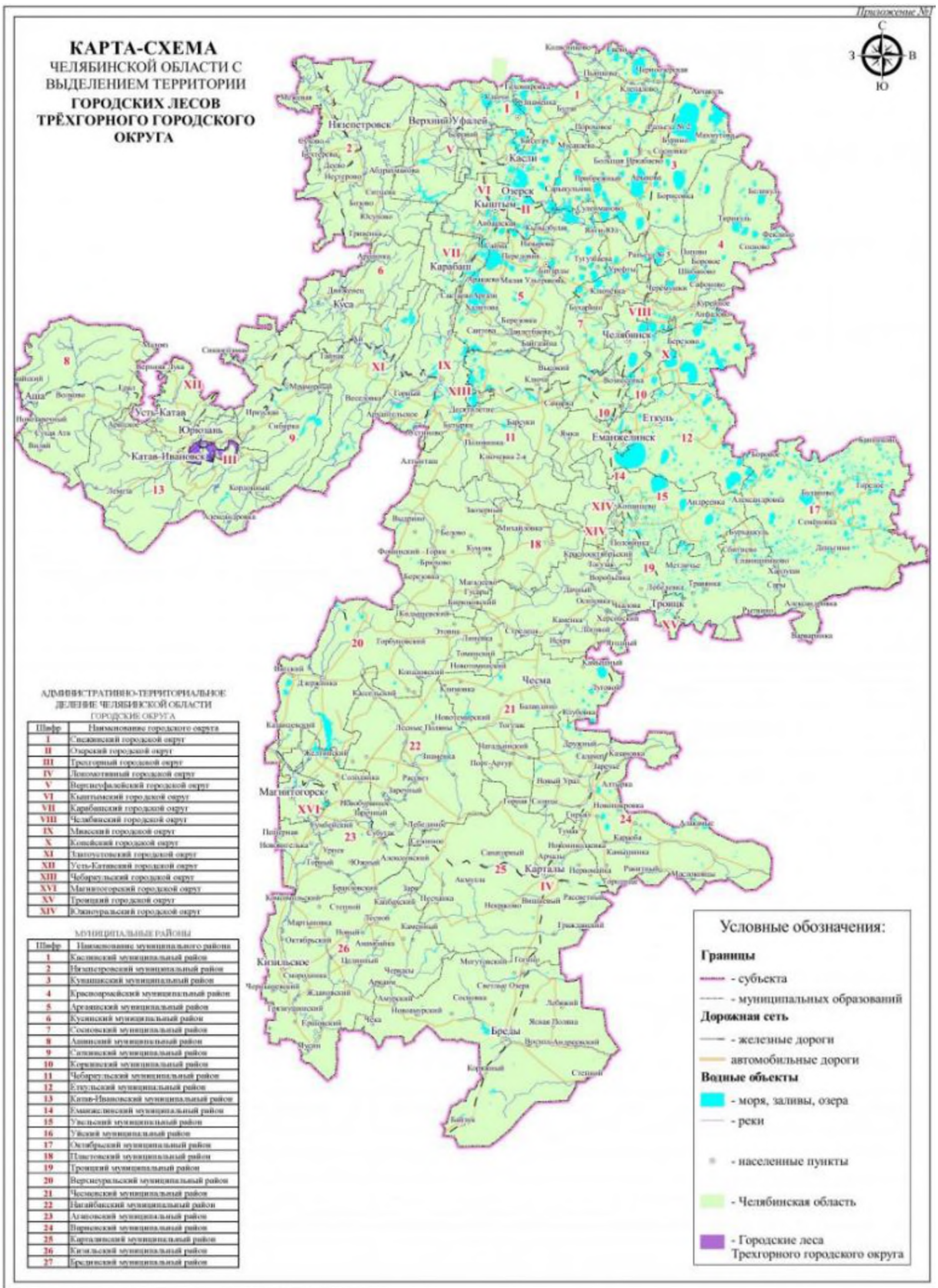


Рисунок 1.1 – Карта-схема Челябинской области с выделением территории городских лесов трёхгорного городского округа (по материалам Лесного плана Челябинской области)

В таблице А.1 (Приложение А.3) представлены основные характеристики лесотранспортной сети автомобильных лесовозных автомобильных дорог Свердловской области [70]. Протяженность лесотранспортной сети с улучшенным типом покрытия изменяется от 60 до 762 км.

Анализ транспортной доступности трансграничных лесов показал, что транспортировки древесного материала по лесным дорогам составили около 35,3 %, по дорогам, расположенным на землях федерального значения, - около 19,3 %, по дорогам, расположенным на региональных землях, - около 45,4 %.

Для территории трансграничных лесов характерна социальная значимость лесовозных автомобильных дорог. Для населения удаленных поселков, обслуживающих лесозаготовительное производство, участки лесовозных дорог являются единственной транспортной артерией, по которой осуществляется связь с областными населёнными пунктами.

Эффективность развития инновационных проектов лесозаготовительной отрасли будет оцениваться развитием транспортной инфраструктуры и развитием лесовозных дорог [94]. По Уральскому округу предлагается ежегодно к освоению до 35 млн. куб. м.

Общий запас древесины на землях лесного фонда Российской Федерации на 1 января 2019 года составлял приблизительно 1983,88 млн. куб. м. [92]. Максимальный ежегодный объем вырубки древесного сырья в эксплуатационных и защитных лесах Свердловской области, позволяющий обеспечить многоцелевое, рациональное, непрерывное, неистощительное использование лесов, принимая во внимание установленные возрасты рубок, сохранения естественное биологическое разнообразие, водоохранные, защитные и иные полезные свойства лесов, составляет до 24,8 млн. куб. м, то есть 1,3 % от общего запаса древесины, в том числе 10,8 млн. куб. м по хвойному хозяйству (0,9 % от общего запаса древесины хвойных насаждений).

Зоны планируемого использования лесов показаны на карте-схеме (рисунок 1.2).

В «Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года» определены основные требования к развитию лесотранспортной сети регионов РФ [92] и их взаимосвязь с Федеральными проектами [98]. Так, для освоения лесных ресурсов Свердловской области, транспортная инфраструктура должна иметь приращение от 500 до 700 км в год.

Освоение подобных территорий невозможно без планомерного развития лесовозной дорожной сети, с использованием современных методов проектирования и строительства дорог [95, 120].

1.2 Природно-климатические условия расположения транспортной инфраструктуры трансграничных лесов Евразии

В Российской Федерации имеются пять дорожно-климатических зон. Принцип зонального разделения основан на делении на характерные участки, которые удовлетворяют требованиям к проведению строительных работ и работ по строительству автомобильных дорог, при условии оценки однородности климата, промерзания грунтов на одной и той же глубине, подземных вод (Приложение А, таблица А4).



Рисунок 1.3 – Карта дорожно-климатического районирования зон Российской Федерации

Промерзание и вспучивание грунтового основания является одной из главных причин деформации дорожной одежды. В основу зимнего морозного пучения положены процессы объемного расширения воды (до 10 %). Зимнее морозное пучение является признаком воздействия следующих факторов:

- чрезмерное влагонакопление земляного полотна в рабочей части;
- промерзание грунтов в земляном полотне на глубину более 1,5 метра;
- пучинистые грунты.

Зимнее морозное пучение или деформация дорожной конструкции проявляется в зимний период года в виде взбугривания и потере устойчивости покрытия.

Для Свердловской и Челябинской области нормативная величина промерзания грунта представлена в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Величина нормативной глубины промерзания грунта
(по СП 131.13330.2020 Строительная климатология)

Ближайшие населенные пункты	Суглинки и глины	Песок мелкий, супесь	Песок крупный, гравелистый	Крупнообломочные грунты
Екатеринбург	1,53 м	1,86 м	1,99 м	2,26 м
Челябинск	1,63 м	1,98 м	2,12 м	2,40 м
Нязепетровск	1,64 м	2,00 м	2,14 м	2,43 м
Ивдель	1,85 м	2,26 м	2,42 м	2,74 м

Вся территория трансграничных лесов имеет сезонное промерзание грунтов [6]. Характеристика лесных земель лесного фонда на примере территории Свердловского лесничества представлена в Приложении А, таблица А.2. Для достижения эксплуатационной надежности лесовозных дорог в течение всего жизненного цикла необходимо устранить морозное пучение, а, значит, увеличить долговечность дорожной конструкции. При расчете толщины морозозащитного слоя необходимо выполнить расчет термического сопротивления дорожной конструкции.

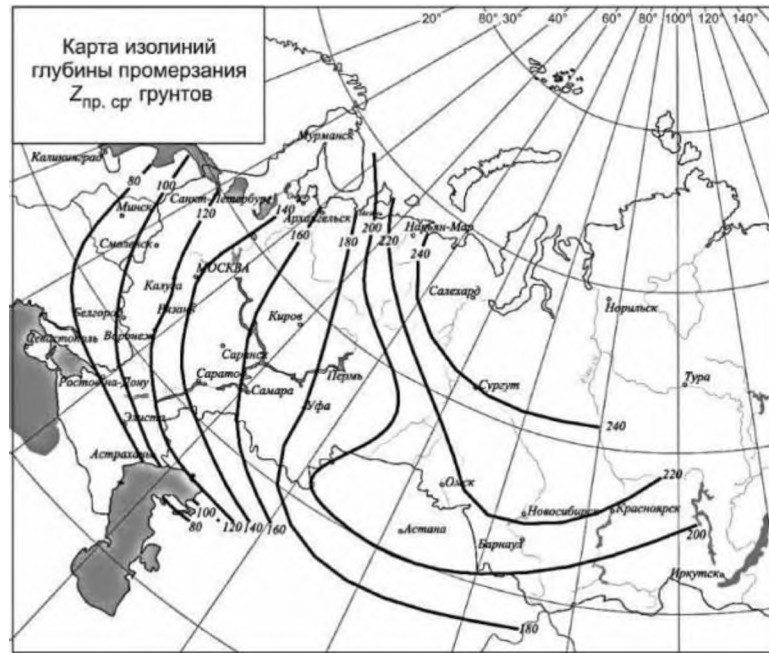
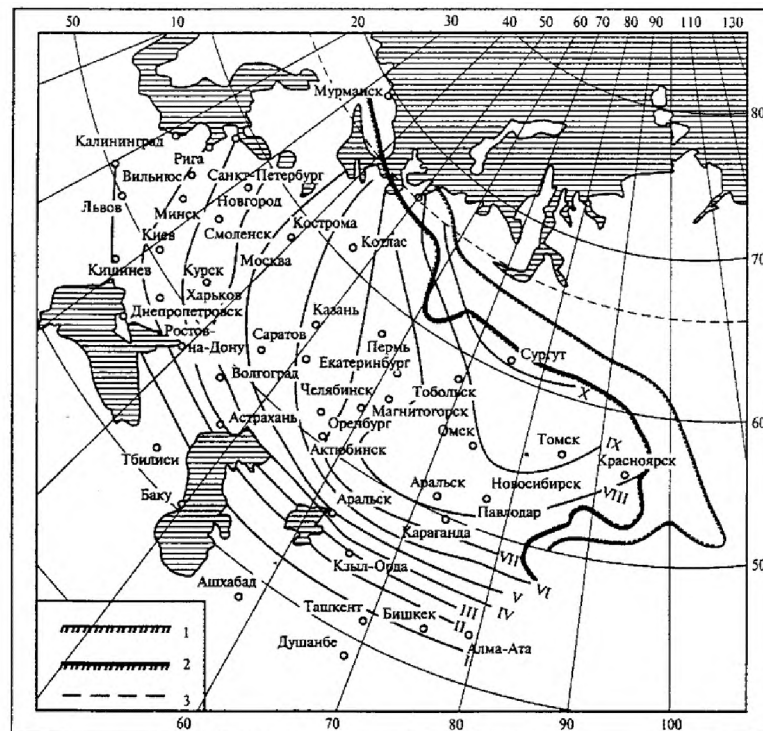


Рисунок 1.4 – Карта изолиний средней глубины промерзания $Z_{пр.ср}$ грунтов
(по СП 131.13330.2020 Строительная климатология)



I-X — номера изолиний; *1* – граница сплошного распространения
вечномерзлых грунтов; *2* – то же, островного; *3* – Северный полярный круг.

Рисунок 1.5 – Карта с изолиниями для определения требуемых значений термического сопротивления дорожной одежды

1.3. Особенности проектирования морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог

Лесотранспортную сеть сооружают для перевозки древесины и других грузов, осуществляемой лесозаготовительными или лесохозяйственными предприятиями. Все лесовозные дороги в зависимости от срока их эксплуатации подразделяются на постоянные и временные.

Правила проектирования и строительства детально разработаны в своде правил СП 288.1325800.2016. Лесные дороги. Там же приведены основные требования, предъявляемые к лесным дорогам, лесовозным дорогам и лесохозяйственным, которые проходят по территориям лесного фонда Российской Федерации.

Несмотря на характерные отличия лесовозных дорог от автомобильных дорог общего пользования, Свод правил рекомендует использовать для их проектирования и расчета дорожных одежд СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги» [88].

Учитывая, что лесовозный транспорт относится к промышленному транспорту, был проанализирован СП 37.133330.2012 «Промышленный транспорт». Помимо отсылки к СП 34.133330 «Автомобильные дороги», документ ссылается на методы проектирования для дорог общего пользования ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд» [66].

Лесовозные дороги чаще всего имеют незначительную интенсивность движения, а лесные лесохозяйственные вообще имеют явно невыраженный грузооборот. Анализ транспортной инфраструктуры трансграничных лесов показал, что наиболее распространенным типом дорожных одежд служат покрытия переходного и низшего типов.

Проведя анализ нормативно-технического документа СП 243.1326000.2015, видим, что при конструировании и расчете дорожных одежд автомобильных дорог с низкой интенсивностью основные ссылки идут на тот же СП 34.133330 и ОДН 218.046-01 [85, 88, 66]. И даже ГОСТ Р 58818-2020

[35] ссылается на документ по проектированию автомобильных дорог общего пользования - ГОСТ 33100-2014 [29].

Из зарубежного опыта проектирования дорожных одежд лесных дорог и дорог с низкой интенсивностью следует отметить Республику Беларусь, а именно – Технологический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.03-96-2008 (02250) «Автомобильные дороги низших категорий. Правила проектирования».

В США при расчете дорожных одежд рассматривают сезонные модули упругости грунта и модули упругости щебеночных слоев [104, 121, 123].

В директивных документах Германии расчет дорожных одежд сельскохозяйственных дорог не производится. В основу выбора принят подбор наиболее характерных конструкций для данной местности [118].

В Канаде и Финляндии дополнительно оцениваются морозозащитные свойства дорожных одежд [115, 116]

К лесотранспортной сети относятся не только магистральные дороги, но и ветки, усы и производственные проезды на лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятиях.

В «Методических рекомендациях по проектированию временных автомобильных дорог на строительных площадках», разработанных Проектно-исследовательским и научно-исследовательским институтом ЗАО «ПРОМТРАНСНИИ-ПРОЕКТ» и введенным в действие 2018-01-01, ссылаются на методы проектирования, изложенные в СП 37.13330.2012 и ОДН 218.046-01.

Таким образом, при проектировании и расчете дорожных одежд лесовозных дорог используется нормативно-техническая документация по автомобильным дорогам общего пользования [77].

В основу расчета дорожных одежд был положен принцип создания типовых конструкций по методике ВСН 46-83 [22]. Дальнейшее развитие этот метод получил в документе ОДН 218.046-01 [66].

Расчет нежесткой одежды требуется проводить по трем критериям: упругому прогибу, сопротивлению сдвигу в грунте и слабосвязанных слоях дорожной одежды, а также растяжению при изгибе монолитных слоев дорожных покрытий.

На рисунке 1.6 представлена расчетная схема многослойной дорожной одежды нежесткого типа.

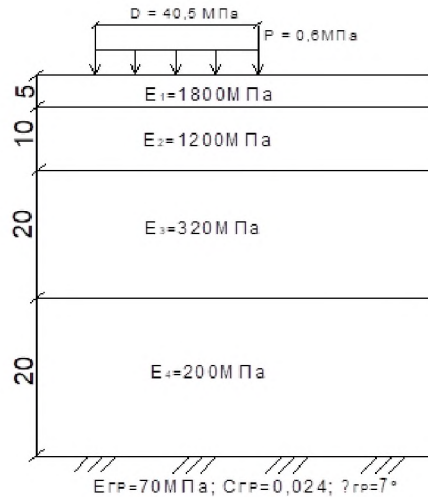
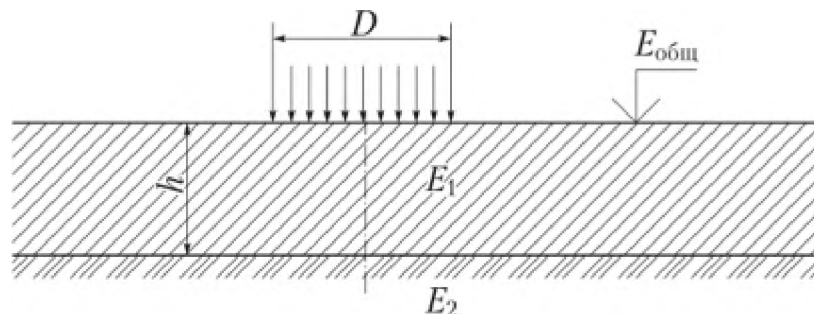


Рисунок 1.6 – Пример расчетной схемы многослойной дорожной одежды.

Все расчеты основаны на строгих решениях теории упругости. В качестве расчетной схемы принимается система из нескольких тонких упругих слоев. При этом дорожные слои находятся на упругом изотропном бесконечном полупространстве. При этом чаще всего эти конструкции приводят к двухслойной модели (рисунок 1.7).



Рисунке 1.7 – Расчетная схема двухслойной дорожной одежды

В настоящее время этот метод является наиболее распространенным. При этом следует назначать мероприятия по обеспечению равнопрочности конструкций дорожной одежды на проезжей части и на краевых полосах обочин. Дополнительно конструкции дорожной одежды нежесткого типов рассчитываются на морозоустойчивость и осушение.

Чаще всего территории трансграничных лесов располагаются во II и даже в I дорожно-климатических зонах. Как показано в разделе 1.2, именно эти сложные природно-климатические условия накладывают существенные ограничения на конструкции и технологии строительства дорожных одежд лесовозных дорог.

Опыт лесотранспортного развития территорий Российской Федерации со сложными природно-климатическими условиями показал, что основными критериями развития их транспортной доступности стали дорожные конструкции с повышенными теплоизолирующими свойствами.

Практически все исследователи в области строительства и эксплуатации лесовозных автомобильных дорог пришли к выводу, что обеспечить требуемые характеристики дорожных конструкций возможно только с использованием дорожных одежд с морозозащитными слоями [15, 18, 44, 59, 67, 69].

Однако, при расчете дорожных одежд морозоустойчивость конструкций рассматривается только в виде ограничений.

В Приложении Б, рисунок Б.1 представлен расчет дорожной одежды магистральной лесовозной дороги в программном комплексе РАДОН, ПЛАКСИС. Расчет выполнен для условий Уральского региона.

Существенное улучшение состояния лесотранспортной инфраструктуры предполагает совершенствование норм проектирования лесовозных дорог, а также использование современных теплоизолирующих материалов для устройства дополнительных морозозащитных слоев в основании дорожной одежды, которые позволили бы повысить транспортно-эксплуатационные показатели транспортной инфраструктуры лесосырьевых баз.

Современные подходы к проектированию морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог в условиях сезонного «промерзания – оттаивания» чаще

всего неспособны продемонстрировать эффективную борьбу с морозным пучением. Наиболее известным решением при строительстве лесовозных дорог служит устройство морозозащитных слоев из крупнозернистого грунтового материала [60, 49].

Ограниченность сырьевой базы качественных строительных дорожно-строительных материалов в большинстве лесосырьевых баз РФ предопределяет важность поиска альтернативных технических решений, позволяющих использовать местные материалы для устройства лесовозных дорог.

Широкое распространение для устройства морозозащитных слоев получили различные теплоизоляционные материалы, способные снизить глубину промерзания, тем самым минимизировать процессы морозного пучения [59, 69].

В основу расчетов положены теплотехнические свойства материалов, а именно теплопроводность. Под теплопроводностью следует понимать способность материала пропускать тепловой поток при условии разных температур поверхности. Степень теплопроводности материалов характеризует коэффициент, который равен количеству тепла, проходящего через стену из испытуемого материала толщиной 1 м площадью 1 м² за 1 ч, при разности температур противоположных поверхностей стены 1 К.

К основным дорожно-строительным материалам [68], используемым для устройства морозозащитных слоев лесовозных дорог, относятся: крупнозернистый песок, щебеночно-песчаная смесь, песчано-гравийная смесь, гравий, легкие бетоны, в которых содержатся пористые заполнители (керамзит, аглопорит, гранулы полистирола, измельченный пенопласт); металлургические шлаки; золошлаковые смеси; композиции из местных материалов или грунтов, легких заполнителей и вяжущих, приготовленных способом смешения как в установке, так и на полотне дороги; битумоминеральные смеси обычные или с легкими заполнителями, пенополистирольные плиты [44, 47].

Для лесовозных дорог наибольшее применение получили песок средний и крупный или щебеночно-песчаная смесь оптимального гранулометрического со-

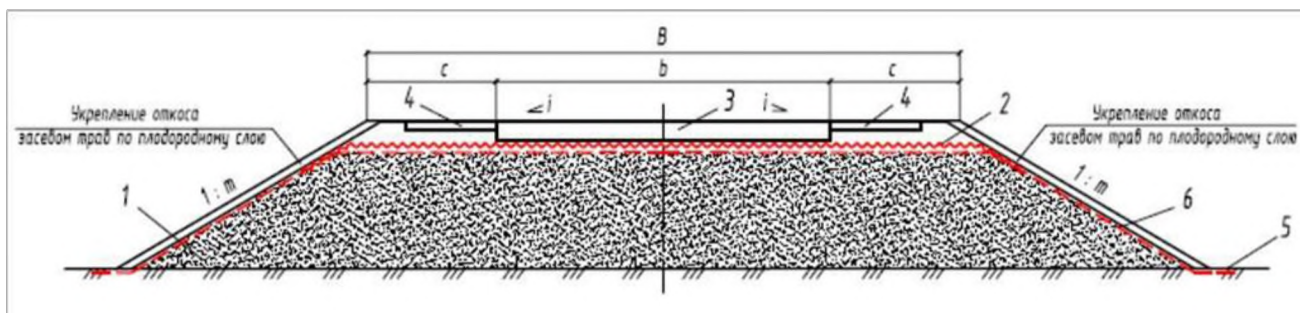
става в соответствии с требованиями ГОСТ 25607. Высокими теплоизоляционными характеристиками слой песка не обладает, и земляное полотно в зимний период года может промерзнуть на значительную глубину. В случае заиливания песка в процессе эксплуатации дорожная конструкция промерзает, и в ней возникают процессы морозного пучения не только ниже морозозащитного слоя, но и в самом слое. В процессе проектирования возникают неблагоприятные условия, при которых толщина морозозащитного слоя из песка может достигать значений более одного метра, что вызывает существенные технологические сложности при добыче и транспортировке этого материала [83]. При этом устройство морозозащитных слоев из этих материалов становится технологически и экономически нецелесообразными.

Согласно литературным источникам [44, 63] и результатам проведенных исследований, зольные отходы теплоэлектростанций могут быть успешно применены в конструкциях дорожных одежд лесовозных дорог как теплоизолирующий (морозозащитный) слой. Последнее целесообразно использовать в северных и континентальных регионах с вечномерзлыми и слабыми грунтами [87].

В зависимости от химического состава золы уноса могут быть кислыми и основными (кальциевыми), использование которых предпочтительнее, так как кальциевые золы обладают цементирующей способностью.

По физико-техническим и строительным свойствам золы уноса относятся к пылеватым пескам техногенного происхождения. На рисунке 1.8 представлена конструкция дорожной одежды с зольными отходами ТЭС.

В современном дорожном строительстве, основным типом теплоизоляционных материалов стали служить синтетические теплоизоляционные материалы – экструзионные пенополистирольные плиты, полистирол, пеноплекс и т.д. выпускаемые промышленностью РФ [59, 69, 74]. Особенности таких материалов заключаются в их большой стабильности и надежности, невосприимчивости к влаге и почвенным организмам, а также в биологической нейтральности, т. е. отсутствии угрозы для почвенных вод.



1 – зола-уноса ТЭС; 2 – полимерная георешетка; 3 – дорожная одежда;
4 – обочина; 5 – геотекстильный материал; 6 – укрепленная обочина.

Рисунок 1.8 – Конструкция лесовозной дороги с теплоизолирующим слоем из зол-уноса

Состоящие из блоков пенопласта основания позволяют выполнять равномерное распределение нагрузки от земляных сооружений. Их постоянное усилие сжатия позволяет выполнять равномерное распределение давления на слабых грунтах. Устройство теплоизолирующего слоя из пенопласта позволяет резко уменьшить толщину или полностью исключить морозозащитный слой, но является дорогим и отмечается сложность в технологии укладки (таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Характеристики пенополистирола

Характеристики	Значения
Плотность, кг/м ³	38,1 - 45,0
Прочность на сжатие при 10% линейной деформации, не менее, МПа	0,50
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	0,4-0,7
Модуль упругости, МПа	12
Водопоглощение за 24 часа, не более, % по объему	0,2
Водопоглощение за 30 суток, не более, % по объему	0,4
Категория стойкости к огню, группа	Г3
Коэффициент теплопроводности при (25±5)°С, не более. Вт/(м·°С)	0,030
Коэффициент паропроницаемости, Мг/(м.ч.Па)	0,015
Капиллярность	0
Температурный диапазон эксплуатации, °С	-120 ... +75

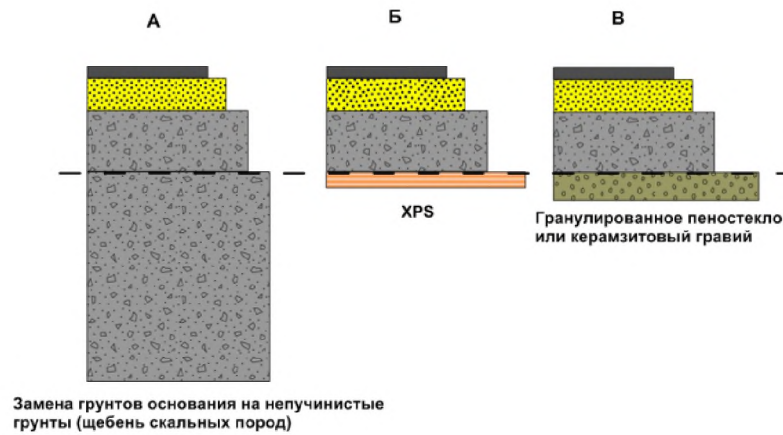
Применение перечисленных выше технологий подробно рассмотрено в работах следующих авторов: А. М. Бургонутдинова [15], В.В. Веселова [18], А.Я. Тулаева [99], М. Г. Салихова [78], и многих др., а также отражены в научных трудах зарубежных учёных: Michalowski R.L [112], Özgan, E. [114], Hyung-gu, J. [108], Thompson, M. P. [122] и др.

Скандинавский опыт строительства дорожных покрытий из гранулированное пеностекла насчитывает более 20 лет. Природные условия Норвегии отличаются наибольшей суровостью среди всех стран Европы: расчлененный горный рельеф, избыточное количество осадков и достаточно продолжительная зима с частыми заморозками. В условиях переувлажнения и продолжительных периодов с отрицательными температурами деформации дорожного полотна, обусловленные морозным пучением грунтов основания, являются одной из основных проблем, возникающих в процессе эксплуатации автомобильных дорог [119].

Для предотвращения деформаций морозного пучения в документации, регламентирующей строительство и эксплуатацию дорог в Норвегии (Norwegian pavement design manual), предусматривается устройство дополнительных морозозащитных слоев дорожной одежды, для чего могут использоваться различные материалы (рисунок 1.9): щебень скальных пород, песок, плиты из экструзионного пенополистирола (XPS), керамзитовый гравий (LWA) и т.д.

Толщина морозозащитного слоя для дорог Норвегии определяется на основании метеорологических условий для конкретного участка (глубина сезонного промерзания) и интенсивности трафика (AADT). В зависимости от интенсивности движения максимальная толщина дорожной конструкции с учетом морозозащитного слоя (дорожной одежды) не должна превышать 1,2-1,5-1,8 м соответственно (для высокой интенсивности движения – 2,4 м). Для дорог с низкой интенсивностью движения морозозащитный слой не предусмотрен.

Активизация экологической политики, принятие новых международных норм в области охраны окружающей среды и переработки отходов, соответствующие изменения общественного сознания стали одним из основных факторов использования различных отходов для нужд дорожного строительства.



А – непучинистый грунт основания (щебень скальных пород);

Б – морозозащитный слой из пенополистирольных плит;

В – морозозащитный слой из насыпного теплоизоляционного материала (керамзитовый гравий или гранулированное пеностекло).

Рисунок 1.9 – Варианты устройства дополнительного морозозащитного слоя дорожных одежд Норвегии с применением различных материалов

В этих условиях Норвежское управление дорогами общего пользования (NPR) инициировала специальную программу использования переработанных материалов в дорожном строительстве. Одним из таких материалов стало гранулированное пеностекло. Гранулированное пеностекло (рисунок 1.10) получают путем переработки промышленных и бытовых отходов стекла. Технологическая схема производства гранулированного пеностекла включает процесс получения тонкоизмельченного порошка из стекла, смешивание с активирующим веществом и получение пеностеклового материала в результате обжига.



Рисунок 1.10 – Гранулированное пеностекло

Специалисты других европейских стран тщательно исследуют норвежский опыт, и пропагандируют использование гранулированного пеностекла в дорожном строительстве своих стран. В таблице 1.6 приведены средние значения характеристик пеностекла, применяемого в дорожном строительстве европейских стран.

Таблица 1.6 – Характеристики пеностекла различных производителей, используемого в дорожном строительстве европейских стран

Показатель	Данные из различных источников [105, 107, 110, 111, 119, 126]
Фракционный состав материала	10-50 / 10-60 мм
Насыпная плотность (сухой)	180...230 кг/м ³
Насыпная плотность (после уплотнения) [111, 119, 126]	225...290 кг/м ³
Насыпная плотность (плотность материала в дорожной конструкции) [110, 111]	270...530 кг/м ³
Насыпная плотность (в периодически подтопяемой насыпи)	600 кг/м ³
Насыпная плотность в условиях постоянного подтопления	1000 кг/м ³
Угол сцепления	36...45°
Коэффициент уплотнения (сжимаемость)	1.15-1.25
Прочность при сжатии (10%) [105, 107, 111, 119, 126]	0.3-0.4 МПа
Прочность при сжатии (20%) [111, 115, 119]	0.77-0.92 МПа
Теплопроводность [104, 105, 107, 110]	0.11-0.15 Вт/м*К (0,1 – сухой, 0,15 – влажный, до 0,2 – мокрый)
Водопоглощение (4 недели) [105, 110, 119]	30...60 (%)
Водопоглощение (длительное, 1 год) [105, 110, 119]	40...116 (%)
pH [111]	10

Результаты современных отечественных и зарубежных исследований свидетельствуют о том, что эксплуатационные характеристики материала, как правило, заметно завышаются производителями [104].

Совершенно не учитывается сложность устройства морозозащитного слоя из этих материалов, возможность существенного снижения заявленных характеристик в процессе эксплуатации, применение альтернативных теплоизоляционных материалов, в частности, не оказывающими негативного воздействия на лесорастительные условия [64].

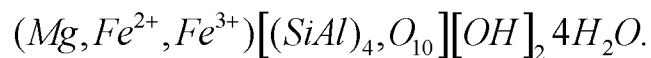
Именно поиск альтернативных дорожно-строительных материалов с теплоизолирующими свойствами, на наш взгляд, является более целесообразным для устройства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог.

Наиболее доступными природными материалами для строительства лесовозных дорог остаются только местные материалы. Однако не все местные материалы или отходы промышленности могут найти применение при строительстве конструктивных слоев дорожных одежд.

Анализ природных условий трансграничных лесов Евразии помог обозначить поиск природных теплоизолирующих материалов. Наиболее доступным видом этих материалов стал вермикулит [28].

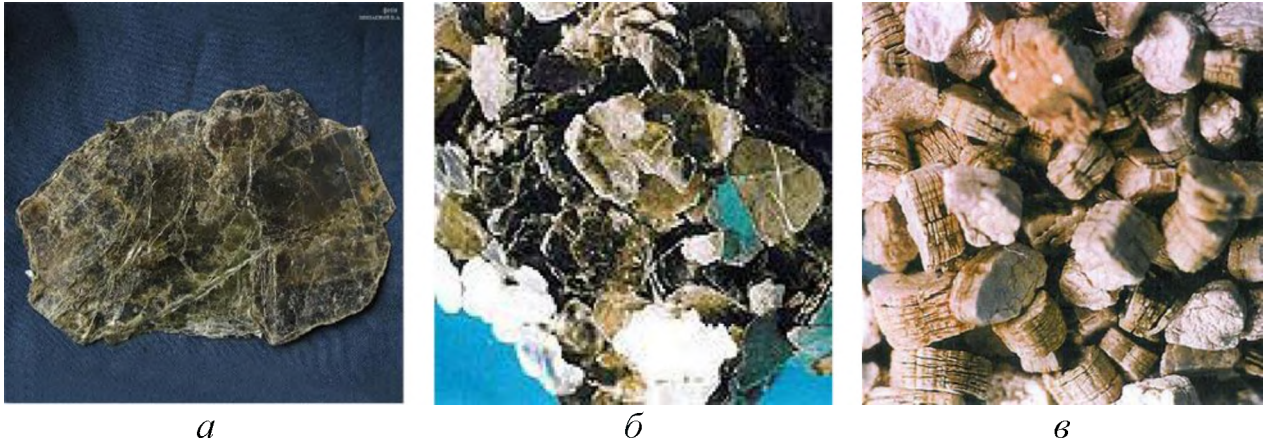
Вопросами производства и использования вермикулитовых материалов из горных пород и различных отходов промышленности занимались такие отечественные ученые, как: Р. Я. Ахтямов [8], Я.А. Ахтямов [11, 48], Б.В. Белоусов [4], К.Н. Геммерлинг [45], К.Н. Дубенецкий [11].

Вермикулит – природный минерал с уникальными физико-техническими свойствами. На территории Урала его добыча и переработка ведется предприятием «УралВермикулит» на базе Потанинского месторождения (Челябинская область). Вермикулит - природный минерал со слоистой структурой. Он входит в группу гидрослюд, продукт вторичного изменения слюды биотита, флогопита, образуется в результате их выветривания и гидролиза. Встречается в золотисто-желтых, бурых расцветках. Химическая формула вермикулита:



В технике находит применение термически обработанный, прокаленный при 1000-1300 °С, так называемый вспученный вермикулит [11].

На рисунке 1.11 представлено изображение: кристалла вермикулита (*a*), его слоистого строения (*б*) и вспученного вермикулитового песка (*в*).



a, б – природный; *в* – термообработанный.

Рисунок 1.11 – Вермикулит природный (*a, б*), термообработанный (*в*)

По своей структуре вспученный вермикулит (далее ВспВ) представляет собой анизотропный слоистый материал с заземленным в порах воздухом. Изучение ВспВ методами физико-химическими методами анализа (рентгено-, спектро- и термографическими) подтверждает, что частицы ВспВ состоят из тончайших пластин, разделенных прослойками воздуха. При термообработке до 1000 °С объем вермикулита увеличивается более, чем в 25 раз.

К техническим достоинствам ВспВ следует отнести инертность, низкую плотность (80–200 кг/м²), термостойкость, небольшую теплопроводность ($\lambda = 0,48 - 0,06 \text{ Вт/м} \times \text{°С}$), высокую степень звукопоглощения, низкую гигроскопичность, адсорбционную способность, биологическую стойкость. ВспВ – экологически чистый продукт, абсолютно безвредный для человека. Всё это предопределило применение ВспВ в промышленном и гражданском строительстве, а также промышленности огнеупорных и теплоизолирующих материалов, как функционального и экономичного заполнителя. Он обладает упругостью, которая выражается в частичном восстановлении высоты предварительно сжатой пробы после снятия нагрузки.

Общая деформация ВспВ при осевом сжатии за счет защемленного между пластинами воздуха складывается из упругой и остаточной. ВВ также характеризуется анизотропными физико-механическими свойствами: в направлении, перпендикулярном плоскости спайности, зерна вермикулита имеют меньшую прочность, чем в направлении, параллельном плоскости спайности.

Первая характеристика прочности обуславливает деформативные свойства, вторая – хрупкость вспученного вермикулита.

По гранулометрическому составу ВспВ делится на 3 фракции:

- крупную (5–10 мм);
- среднюю (0,6–5 мм);
- мелкую (менее 0,6 мм).

В зависимости от насыпной плотности ВспВ выпускается следующих марок (по ГОСТ 12865): 100; 150; 200. В дальнейшем в исследованиях использовали ВспВ марки 200.

Общая гипотеза, сформулированная в рамках настоящей работы, заключалась в предположении, что добавки вермикулита улучшит теплотехнические и структурно-механические свойства битумно-вермикулитовых композиций и теплоизолирующих слоев лесовозных дорог за счет более низкой теплопроводности. При этом должны улучшиться показатели трещиностойкости асфальтобетона при низких температурах с одновременным улучшением показателей теплостойкости морозозащитных слоев.

Анализ конструкций автомобильных дорог общего пользования показал, что щебеночные покрытия, так же, как и гравийные, устраивают на дорогах IV и V категорий при интенсивности движения не более 200 автомобилей в сутки.

Для устройства оснований и покрытий также используют и готовые щебеночно-гравийно-песчаные смеси с оптимальными зерновыми составами. Оптимальные смеси получают на камнедробильных заводах путем смешения разных фракций. Нормативные значения модуля упругости конструктивных слоев дорожных одежд приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Модуль упругости конструктивных слоев дорожных одежд лесовозных дорог (ГОСТ 25607-94)

Материал слоя	Нормативные значения модуля упругости, E , МПа
Щебеночные/гравийные смеси (С) для покрытий: – непрерывная гранулометрия (ГОСТ 25607)	
при максимальном размере зерен: С ₁ – 40 мм	300/280
С ₂ – 20 мм	290/265
Смеси для оснований	
– непрерывная гранулометрия:	280/240
С ₃ – 80 мм	
С ₄ – 80 мм	275/230
С ₅ – 40 мм	260/220
С ₆ – 20 мм	240/200
С ₇ – 20 мм	260/180
Шлаковая щебеночно-песчаная смесь из неактивных и слабоактивных шлаков (ГОСТ 3344)	
С ₁ – 70 мм	275
С ₂ – 70 мм	260
С ₄ – 40 мм	250
С ₆ – 20 мм	210

В работах по применению зол-уноса указывается, что их использование имеет ряд преимуществ перед традиционными конструктивными слоями [63]. Однако, достижение требуемых показателей возможно только при использовании правильно подобранного технологического режима.

Покрытия лесовозных автомобильных дорог вносят значительный вклад в общее термическое сопротивление дорожной одежды. Для магистральных лесных дорог наиболее распространенным типом покрытия служит асфальтобетон. Опыт развития лесных территорий со сложными природно-климатическими условиями показал, что основными критериями развития их транспортной доступности стали дорожные конструкции из стабилизированных или укрепленных грунтов и асфальтобетонов с повышенными теплоизолирующими свойствами. Практически все исследователи в области строительства и эксплуатации лесовозных автомобильных дорог пришли к выводу, что обеспечить требуемые

характеристики дорожных конструкций возможно только с использованием дорожных одежд с морозозащитными слоями и с покрытиями из асфальтобетонов [2, 5, 9].

Как было показано выше, расчет нежесткой дорожной одежды требуется проводить по трем критериям: упругому прогибу, сопротивлению сдвигу в грунте и слабосвязанных слоях дорожной одежды, а также растяжению при изгибе монолитных слоев дорожных покрытий. В этом случае основные физико-механические показатели асфальтобетонных покрытий задаются по табличным значениям (Таблицы П.3.1, П.3.2, П.3.3 ОДН 218.046-01) [67].

Теплофизические характеристики конструктивных слоев из различных дорожно-строительных материалов можно ориентировочно получить из Приложения 5 ОДН 218.046-01, а методы их измерения - из ОДМ 218.2.061-2015 [65].

Для морозозащитных слоев и асфальтобетонных покрытий наиболее важным свойством следует считать возможность сопротивляться деформациям и разрушениям в сложных природно-климатических условиях. Это свойство дорожных одежд зависит от структурной прочности минеральной части, от реологических характеристик вяжущих, их вязкости, упругости, пластичности, а так же общего термического сопротивления дорожной одежды [25, 75, 106, 113].

Анализ литературных источников показал, что использование покрытий из щебеночно-мастичных асфальтобетонов, по сравнению с асфальтобетонами по ГОСТ Р 58406.2, характеризуется наибольшей величиной внутреннего трения, исключением природных песков и наличием значительного содержания битума в своем составе [39, 46, 103, 105, 113]. Причем, для повышения их теплотехнических свойств, некоторые исследователи предлагают использовать более совершенные типы вяжущих, обладающих улучшенными свойствами, а также использовать добавки, изменяющих физико-механические свойства асфальтобетонов [27, 101].

Для лесовозных дорог, одним из решений по повышению морозозащитных свойств дорожных одежд, в пределах действующих нормативно-технических требований, является применение специальных добавок.

Известна асфальтобетонная смесь, включающая: минеральный порошок от 0 до 8 %, эбонитовую крошку от 2 до 96 %, битум от 4 до 8 %, заполнитель от 0 до 94 % [115].

Известна асфальтобетонная смесь на основе битума, каменных материалов, минерального порошка - сланцевой золы - и добавки смеси галитового шлама с отработанным никель-хромовым катализатором [73, 75].

Известен способ армирования асфальтобетона стальными фиброволокнами [107]. Этот способ характеризуется повышенной трещиностойкостью, однако прочность смеси ниже, по сравнению с неармированной.

Предложен способ армирования асфальтобетонов природными добавками [81], заключающийся во введении в её состав древесных волокон, получающихся из древесной крошки путем её сушки в восходящем потоке воздуха и последующей распушки в мельнице. Недостаток этого способа связан с пониженной стойкостью и возможностью разложения (гниения) древесных волокон, что приводит к ускорению старения, битума и асфальтобетона.

Анализ показал, что необходимо использовать компоненты, которые, с целью уменьшения стоимости их применения, позволяют существенно изменить теплотехнические свойства дорожных покрытий (таблица 1.8).

Таблица 1.8 – Теплотехнические свойства дорожных покрытий

Вид материала	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
Асфальтобетон горячий плотный	2400	1,40
Асфальтобетон горячий пористый	2300	1,25
Асфальтобетон горячий высокопористый	1200-1900	1,10-1,00

Проведенные исследования показали, что вспученный вермикулит оказывает не только положительное влияние на улучшение физико-

механических свойств битумов, но и существенно увеличивает значения сцепления к поверхности минеральных материалов, пенетрацию, растяжимость, и даже способствует понижению температуры хрупкости вяжущих [9, 10].

1.4 Обзор современных технологий строительства морозустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог

Сейчас, как и в предыдущие периоды, наибольшее распространение при создании транспортной инфраструктуры трансграничных лесов Евразии получили местные материалы. Чаще всего дорожные одежды лесовозных дорог строят из щебеночного или из местного материала. Также используют грунты, укрепленные или улучшенные различными скелетными добавками (щебнем, гравием, шлаком и другими местными материалами). В исследованиях С.В. Алексикова [3], В. И. Бархатова [13], Б. В. Белоусова [14], А. П. Васильева [17], И. М. Грушко [37], А. К. Славуцкого [83] рассмотрены основные методы эффективного использования в покрытиях и основаниях дорог, с невысокой интенсивностью движения местных материалов, шлаков и зол-уноса.

При строительстве дорожных покрытий следует соблюдать основные положения СП 34.13330.2012 [88] и СП 78.133330.2012 [89]. Конструирование и расчет морозоустойчивых дорожных одежд необходимо выполнять согласно ОДН 218.046-01 [66], а подбор материалов - по СТО НОСТРОЙ 2.25.29-2011 [91].

Щебень, гравий и грунтощебень является одним из основных материалов, применяющихся для строительства лесовозных автомобильных дорог. Этот каменный материал, с зернами крупностью свыше 5 мм, получается путем дробления осадочных горных пород, в том числе попутно добываемых, а также отходов предприятий по переработке полезных ископаемых и их смесей с местными грунтами. От их качественных показателей (прочности, морозостойкости, гранулометрического состава) в значительной мере зависят долговечность и транспортно-эксплуатационные свойства лесных дорог.

В сравнении с другими дорожно-строительными материалами эти материалы обладают следующими преимуществами:

- отсутствие потребности в смесительных установках;
- технологичность щебеночного и грунтощебеночного материала, в связи с возможным длительным хранением его в притрассовых штабелях или непосредственно на дороге;
- допустимость транспортировки и укладки в неблагоприятных погодных условиях, например в зимнее время и т. д.;
- после уплотнения допускается открытие по нему движения лесовозного подвижного состава или использования его как временного дорожного покрытия (стадийное строительство);
- удобства при выполнении строительных или ремонтных работ без перекрытия движения лесовозного подвижного состава;
- пространственная однородность слоя дорожной одежды.

При строительстве дорожных одежд важным параметром каменных материалов представляется его происхождение, генезис и состав примесей, который зависит от условий его производства и придает материалу особые свойства.

Качество строительства дорожных одежд лесовозных дорог можно улучшить, если использовать весь потенциал данного строительного материала. Каменные материалы могут использоваться в качестве заполнителя, как теплоизолирующий слой.

Технология создания прочных дорожных одежд и конструктивных слоев, методы контроля их качества и способы проведения работ должны соответствовать действующим нормативно-техническим документам.

Технология создания теплоизолирующих слоев дорожных основана на принципе последовательного уплотнения материала. Слабосвязные и дискретные материалы, за счет своей упругости, уплотняются значительно хуже, чем связные материалы. Из-за отсутствия в них структурных связей, деформации материала значительно выше, что влечет за собой увеличение энергозатрат при

уплотнении. Изучение физико-механических свойств грунтощебеночных материалов и их технологических особенностей является основным путем для возможных уменьшений затрат на строительство транспортной инфраструктуры.

Технологический процесс устройства слоев морозозащитных слоев из грунтощебеночных материалов включает:

- вывозку грунтощебеночного материала на подготовленное в соответствии с требованиями СП 78.133330.2012 земляное полотно или на нижележащий слой дорожной одежды [89];
- распределение грунтощебеночного материала по земляному полотну или по нижележащему слою;
- увлажнение грунтощебеночного материала до оптимальной влажности;
- профилирование и уплотнение слоя.

Грунтощебеночные материалы, доставленные на объект строительства, рекомендуется разгружать по оси дороги в валик, который далее разравнивают на всю ширину слоя автогрейдерами или бульдозерами. Продолжительность технологического разрыва во времени между вывозкой материала на дорогу ее распределением и уплотнением не регламентируется.

Увлажнение материала начинают в процессе его распределения (более 80%) и завершают в процессе уплотнения. Грунтощебеночный материал увлажняют универсальной машиной по поверхности из расчета от оптимальной влажности.

Планировку грунтощебеночного материала необходимо производить с помощью автогрейдера непосредственного после распределения и увлажнения материала, а затем немедленно следует приступать к уплотнению.

Уплотнение необходимо производить виброкатками массой не менее 10 т, ориентировочно за 10...14 проходов катка по одному следу. Количество проходов уточняют по результатам пробного уплотнения при начале производства работ. Согласно СП 78.13330.2012, уплотнение надлежит начинать от краев к середине с перекрытием следа предыдущего прохода катка не менее

чем на 0,30 м [89]. В случае необходимости, в процессе уплотнения автогрейдером исправляют профиль уплотняемого слоя до требуемых параметров.

Однако при проведении дорожностроительных работ не всегда учитываются его физико-механические и технологические свойства. Особенно это касается использования каменных материалов с различного рода примесями, шлаковыми или другими техногенными отходами.

Наличие различных примесей существенно изменяет не только структурные связи, но и сами технологии строительства.

В случае строительства морозозащитных слоев из местных грунтов, обогащенных каменными материалами, наиболее современными являются технологии с использованием специализированных грунтовых фрез или стабилизаторов.

В состав работ входят:

- планировка грунтового основания; подвозка и распределение материала по земляному полотну;
- увлажнение материала до оптимальной влажности; измельчение фрезерным барабаном грунтов со щебеночным материалом;
- подкатка разрыхленного и укрепленного грунтового материала;
- профилирование поверхности;
- окончательное уплотнение дорожного покрытия грунтового улучшенного.

Технологическая последовательность по устройству покрытий автомобильных дорог по технологии обогащения щебеночным материалом состоит в следующем:

- на первой захватке производится планировка основания автогрейдером для исправления профиля за один проход по одному следу. Грунтовая поверхность профилируется от оси дороги перекрывая каждый след на 0,15...0,2 м. Щебеночные материалы, доставленные на грунтовую поверхность,

рекомендуется разгружать по оси дороги в валик, который в последующем разравнивают на всю ширину слоя автогрейдерами;

– на второй захватке выполняется измельчение фрезерным барабаном грунтов со щебеночным материалом. Направление движения дорожного смесительного агрегата при первом проходе закрепляется колышками, ширина обработанной полосы 2400 мм. При проходе дорожного смесительного агрегата двух или более полос по ширине основания смежные полосы перекрываются от 0,1 до 0,3 м. Качественное перемешивание щебня с грунтами зависит от естественной влажности грунта. Подкатка разрыхленного укрепленного щебнем грунта между колесами дорожного смесительного агрегата производится гладковальцовым катком за 2 прохода по одному следу.

Планировка укрепленной грунтовой поверхности производится автогрейдером для формирования профиля за один проход по одному следу. Грунтовая поверхность профилируется от оси дороги, перекрывая каждый след от 0,15 до 0,2 м.

Уплотнение укрепленной щебнем грунтовой поверхности производится комбинированными самоходными катками массой 14 т с вибрацией за 10 проходов по одному следу. Согласно СП 78.133330.2012, перекрытие предыдущего следа производится на 1/3 ширины вальца катка.

Технологии устройства покрытий лесовозных дорог из асфальтобетонных смесей традиционная и ничем не отличается от строительства дорог общего пользования [21, 90, 96, 107].

При устройстве верхнего слоя асфальтобетонного покрытия работает комплексный поток, который состоит из двух специализированных потоков.

Работа первого специализированного потока организована на асфальтобетонном заводе, она состоит из приготовления асфальтобетонной смеси и транспортировки ее на дорогу.

Работа второго специализированного потока организована на строящемся участке лесовозной дороги и состоит из следующих операций: обеспыливание, подгрунтовка основания битумом; подвоз и распределение асфальтобетонной

смеси и уплотнение слоя катками. В Приложении Б, таблица Б.1. представлена технологическая схема по устройству верхнего слоя асфальтобетонного покрытия.

В процессе организации работ по устройству верхнего слоя покрытия необходимо определить скорость специализированных потоков, а также длину сменной захватки. Скорость потока за смену устанавливается для каждой технологической операции.

При разработке любых технологических решений строительства автомобильных дорог большое внимание уделяется контролю качества. Существует целая система строительного контроля, включающая входной контроль материалов, технологический контроль, контроль при сдаче дороги в эксплуатацию.

Использование местных грунтощебеночных материалов или отходов промышленности не позволяет применять обычные схемы входного контроля. Необходимы мероприятия для оценки степени пригодности или непригодности щебеночных материалов.

Основным методом устройства прочных дорожных покрытий при их строительстве является уплотнение. Уплотнение покрытий выполняется с помощью уплотняющей техники как статического, так и динамического действия. Как было изложено выше, основной особенностью щебеночно-гравийно-песчаных смесей является их дискретная структура. В настоящее время других методов оценки прочности не разработаны.

При уплотнении таких материалов следует обратить внимание также на возникновение остаточной и накапливаемой деформации, которая объясняется нарушением структуры отдельных агрегатов частиц при их сжатии.

Еще одним способом технологического контроля покрытия служит метод измерения такой физической характеристики, как динамический упругий прогиб. Этот способ получил название оценки прочности дорожной одежды по динамическому модулю упругости и приводится во всех нормативно-технических документах [35, 66, 72, 89, 91].

В основе оценки прочности конструктивных слоев дорожных одежд положен метод измерения физических характеристик слоев, таких как упругий прогиб [50, 76, 90]. Основные исследования по вопросу обеспечения работоспособности дорожных конструкций основаны на изучении математических моделей дискретной среды в виде линейно-упругой или упруго-пластичной среды.

С целью оценки прочности дорожных одежд проводятся измерения динамического модуля упругости. Это отражено в методике проектирования конструктивных слоев дорожных одежд [67]. При этом за основные нормативные показатели конструктивных слоев дорожных одежд принята возможность сопротивляться внешним нагрузкам.

Модуль упругости конструктивного слоя дорожной одежды можно оценить показателем остаточной пористости. Остаточную пористость конструктивного слоя предлагается измерять методом замещения.

Методика определения модуля упругости дорожной одежды изложена в ВСН 46-83 «Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа». Методика основана на проведении послойных испытаний статическими штампами.

Используя данные ОДН 218.046-01 (таблицы 1.5 и 1.7), можно заключить, что прочность конструктивных слоев из грунтовермикулитового материала должна составлять не менее 100 МПа.

Выводы по первой главе и постановка цели и задач исследования

В результате проведенной оценки состояния вопроса установлено, что на территории трансграничных лесов Евразии и прилегающих к ним территорий организация и функционирование транспортной инфраструктуры лесов нуждается в пересмотре.

Значительная часть лесных земель находится на территориях, грунтовые условия которых не обеспечены по условиям зимнего морозного пучения.

Эффективная эксплуатация подобных лесных территорий невозможна без строительства лесовозных автомобильных дорог с морозозащитными дорожными одеждами.

Существующие методы практического проектирования и расчета дорожных одежд лесовозных дорог основаны на теории упругости и рассматривают подбор конструктивных слоев только из известных дорожно-строительных материалов. В случае изменения условий эксплуатации или использования материалов с неизученными свойствами рациональный подбор дорожных конструкций становится неосуществимым.

Все рекомендации по выбору рациональных конструкций лесовозных дорог основаны только на расчете упругих прогибов дорожных конструкций при различных ограничениях. Учитываются ограничения по сдвигу между слоями, ограничения по морозозащитным свойствам дорожно-строительного материала. При этом подбор конструктивных параметров производится методом перебора конструкций из типовых альбомов с оценкой их технико-экономических показателей для выбранных природно-климатических условий.

Теплотехнические характеристики дорожно-строительных материалов для лесовозных дорог не удовлетворяют сложным природно-климатическим условиям их эксплуатации и нуждаются в уточнении. При этом применение местных материалов экономически не целесообразно, а использование синтетических материалов ограничено, в связи с существенным их воздействием на средообразующую функцию леса.

Необходим поиск природных материалов, способных повысить транспортно-эксплуатационные показатели лесовозных дорог при минимальном экологическом воздействии на лесные территории.

Проведенный литературный обзор показал, что по комплексу предъявляемых требований и с учетом территориального размещения трансграничных лесов Евразии, наиболее эффективным следует признать материалы из вермикулита.

Существующие в настоящее время технологии строительства дорожных одежд лесовозных дорог рассматривают процессы, при которых оценка изменения физико-механических свойств дорожно-строительных материалов не производится, а технологический контроль сводится лишь к констатации некоторых несущественных параметров. В случае строительства морозоустойчивых дорожных одежд технологические процессы нуждаются в пересмотре, а строительному контролю качества должно уделяться повышенное внимание.

Цель исследования. Совершенствование методов проектирования и строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог с добавками из вермикулита.

Задачи исследования:

1. Разработать методы оптимального проектирования морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита, обеспечивающие их работоспособность в сложных природно-климатических условиях.

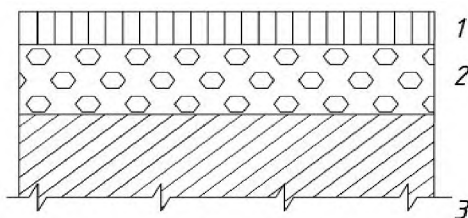
2. Провести комплекс экспериментальных исследований по оценке физико-механических и теплофизических характеристик морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита.

3. Разработать технологию строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита.

ГЛАВА 2. ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОРОЗОУСТОЙЧИВЫХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С ДОБАВКАМИ ИЗ ВЕРМИКУЛИТА

2.1 Обоснование принципиальной и расчетной схем конструкции дорожной одежды

Общие требования и конструктивные решения дорожной одежды различного типа и назначения дорог изложены в работах [12, 49, 67, 83, 97, 109]. Для лесовозных дорог варианты конструктивных решений приведены в работах [38, 43, 77, 86]. Наиболее распространены конструкции с верхним покрытием из щебеночных материалов. Однако имеется большое количество участков, мест примыканий с искусственными сооружениями, с дорогами общего пользования и др., в которых используется асфальтобетонное покрытие для верхнего слоя дорожной одежды. Но главной проблемой, как уже было указано, является создание конструкций, рассчитанных на жизненный цикл до 50 лет. Для климатических зон, в которых расположены трансграничные леса Евразии, наиболее эффективным решением будет использование конструкции с морозозащитными слоями. В нашем случае в предварительных исследованиях было обосновано использование термически обработанного вермикулита для формирования морозозащитного слоя. Схема предлагаемой морозоустойчивой конструкции дорожной одежды лесовозной дороги показана на рисунке 2.1.



1 – покрытие асфальтобетонное с добавками из вермикулита;
2 – грунтовермикулитовый морозозащитный слой; 3 – грунт земляного полотна.

Рисунок 2.1 – Схема многослойной морозоустойчивой конструкции
дорожной одежды лесовозной дороги

2.2 Постановка задачи оптимизации параметров конструкции морозоустойчивой дорожной одежды лесовозной дороги в общем виде

Предложенная конструкция дорожной одежды характеризуется рядом конструктивных параметров, которые могут быть различными в зависимости от физико-механических свойств и геометрических параметров слоев. Для формирования конструкций дорожных одежд лесовозных дорог с наилучшими значениями основных параметров нужно подобрать геометрические параметры слоев, т.е. выполнить ее оптимизацию. В теоретическом плане в этом случае необходимо выполнить постановку задачи оптимального проектирования дорожной одежды.

Постановка задачи оптимального проектирования параметров конструкции дорожной одежды включает следующие процедуры:

- постановку задачи в общем виде;
- формирование критерия оптимальности (целевой функции);
- задание ограничений;
- задание вектора управляемых параметров;
- задание конструктивных неуправляемых параметров;
- определение метода поиска оптимального решения;
- разработка алгоритма поиска оптимального решения;
- реализация алгоритма оптимизации в компьютерной программе.

В общем случае при оптимизации вновь создаваемых конструкций дорожных одежд для лесовозных дорог должны удовлетворяться экологические, экономические и технические требования. Это существенно усложняет задачу, и выработать единый критерий, который бы учитывал все показатели, не представляется возможным. Возможно решать ее поэтапно, по каждому критерию последовательно, что достаточно сложно и возможны накопления ошибок к завершающему этапу.

В нашем случае при проектировании конструкции дорожной одежды ле-

совозной дороги возникла задача технического требования – обеспечить наибольшее термическое сопротивление, что повысит ее морозозащищенность, тем самым исключить зимнее морозное пучение и обеспечить требуемые транспортно-эксплуатационные характеристики.

Как было показано в главе 1, наиболее предпочтительным способом повышения морозозащитных свойств дорожной одежды служит использование в асфальтобетонах добавки из вспученного вермикулита и дополнительного слоя из грунтовермикулитового материала.

В общем виде эту задачу можно представить следующим образом.

Конструктивная схема (рисунок 2.1) характеризуется определенными параметрами – $U_i = U_1, U_2, \dots, U_n$, от которых зависит величина суммарного термического сопротивления и суммарный модуль упругости дорожной конструкции.

При этом к параметрам конструкции предъявляются определенные требования – $C_j = C_1, C_2, \dots, C_m$.

Таким образом, в задаче оптимизации конструкции дорожной одежды следует учесть термическое сопротивление конструкции R_t , т.е. суммарное термическое сопротивление всех конструктивных слоев – подстилающего, теплоизоляционного и дорожного покрытия (рисунок 2.1).

Однако конструкция испытывает и ряд других воздействий, в первую очередь, механические подвижные нагрузки от лесовозного подвижного состава. Устойчивость от механических нагрузок в конструкции можно определить физическим параметром – модулем упругости $E_{общ}$. Оба параметра в данном случае рассчитываются как для многослойной конструкции с последовательным расположением конструктивных слоев. Как термическое сопротивление, так и модуль упругости будут зависеть от физико-механических параметров конструктивных слоев – это от коэффициентов теплопроводности λ_i конструктивных слоев дорожной одежды и модуля упругости E_i каждого i -го конструктивного слоя. На толщину конструктивных слоев накладываются нормативно-

технические требования, а термическое сопротивление и физико-механические параметры определены собственными техническими характеристиками по техническим условиям производителей.

Отсюда в общем виде задача оптимизации конструктивных параметров морозоустойчивой дорожной одежды будет заключаться в выборе таких параметров конструктивных слоев, при которых суммарные значения термического сопротивления R_t и модуля упругости $E_{общ}$ будут максимальными.

2.3 Формирование целевой функции

В нашем случае нормативные требования для лесовозных дорог с заданным типом дорожной одежды (СП 288.1325800.2016 «Дороги лесные. Правила проектирования и строительства (с Изменением N 1)») будут обеспечены при условии, что общий модуль упругости на покрытии дорожной одежды $E_{общ}$, состоящей из нескольких конструктивных слоев, рассчитывается по следующему выражению [12, 58, 86]:

$$E_{общ} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (2.1)$$

где E_i – модуль упругости конструктивного слоя, МПа;

h_i – толщина конструктивного слоя дорожной одежды, м.

Нормативные значения для морозозащитных слоев дорожной одежды: толщина конструктивного слоя дорожной одежды не менее 15 см.

Термическое сопротивление дорожной одежды для условий Свердловской области от 2,1 до 2,6 (при нормативном от 2,7 до 2,9) м² К/Вт, определяется по формуле:

$$R_t = \sum \frac{h_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha} \quad (2.2)$$

где λ_i – коэффициент теплопроводности конструктивного слоя дорожной одежды (для асфальтобетона от 0,981 до 1,623; для грунтовермикулита от 0,065 до 1,652; для грунтов от 1,6 до 1,8 (Вт/м²·К);

α – поправочный коэффициент местности, в нашем случае $1/\alpha = 0,04$ м²К/Вт.

В главе 1, на основании обзора дорожных конструкций лесовозных дорог для условий трансграничных лесов Евразии, наименьшее значение термического сопротивления дорожной одежды R_t , по условию обеспеченности от зимнего морозного пучения было определено и составило 2,12 Вт/м² К.

Следует отметить, что частные показатели – коэффициент теплопроводности конструктивного слоя λ_i и модуль упругости E_i являются взаимно противоречивыми, т.е. уменьшение теплопроводности может приводить к снижению модуля упругости. Поскольку в теплоизоляционных материалах чем более пористая или волокнистая структура, тем ниже теплопроводность материала, это одновременно приводит к снижению его прочностных показателей. Для учета этого фактора будут предусмотрены ограничения на физико-механические и конструктивные параметры слоев конструкции. Однако для решения задачи оптимизации этого недостаточно, поэтому воспользуемся методом формирования обобщенного показателя эффективности.

Обобщенный показатель эффективности представляет из себя сумму частных показателей [41]. Поскольку частные показатели имеют различную физическую природу и размерности, то они приводятся к безразмерному виду и нормируются, т.е. преобразуются до величины от 0 до 1. Для учета вклада каждого частного показателя для них используются весовые коэффициенты, которые также нормируются таким образом, чтобы сумма коэффициентов была равна 1. Нормирование частных показателей выполняется по формуле:

$$M = \frac{(P - P^{\min})}{(P^{\max} - P^{\min})}, \quad (2.3)$$

где M – частный показатель;

P – текущее значение частного показателя;

R^{min} – минимальное значение частного показателя;

R^{max} – максимальное значение частного показателя.

Минимальные и максимальные значения определяются на первом шаге оптимизации. Для этого можно прогнать расчеты целевой функции, например, методом покоординатного спуска, по всему диапазону и найти эти значения.

Для задания приоритета частным показателям используем весовые коэффициенты. Весовые коэффициенты в данном случае K_1 и K_2 , при каждом частном показателе определяются пользователем, например, методом экспертных оценок и таким образом задаются их приоритеты.

Указанным способом разработанный обобщенный показатель эффективности F , который в данном случае соответствует целевой функции, имеет вид:

$$F = K_1(R_t - R_t^{min}) / (R_t^{max} - R_t^{min}) + K_2(E_{общ} - E_{общ}^{min}) / (E_{общ}^{max} - E_{общ}^{min}), \quad (2.4)$$

где $R_t^{min}, E_{общ}^{min}$ и $R_t^{max}, E_{общ}^{max}$ – минимальные и максимальные значения частных показателей соответственно термического сопротивления и модуля упругости многослойной конструкции.

2.4 Определение вектора управляющих параметров

В многослойной конструкции дорожной одежды эксплуатационные выходные параметры зависят, в первую очередь, от толщины конструктивных слоев и их физико-механических характеристик. Поскольку основные марки, типы материалов в данном случае не варьируются, то изменяемыми переменными принимаются толщины слоев. Отсюда вектор управляющих параметров U будет иметь следующий вид:

$$U = [U_1, U_2, U_3], \quad (2.5)$$

где U_1, U_2, U_3 – толщина, соответственно, верхнего слоя покрытия, слоя грунто-вермикулитового материала, толщина рабочего слоя земляного полотна земляного полотна.

2.5 Задание ограничений управляющих параметров

Ограничения предусматриваются как на геометрические размеры, толщину, так и на термическое сопротивление каждого i -го конструктивного слоя.

При проектировании лесовозных автомобильных дорог основные показатели определяются согласно нормативно-техническим документам.

В настоящее время статус действующих имеют:

- СП 243.1326000.2015 «Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения» [85];
- СП 288.1325800.2016 «Дороги лесные. Правила проектирования и строительства (с Изменением N 1)» [86];
- СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги». Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* [88];
- СП 313.1325800.2017 «Дороги автомобильные в районах вечной мерзлоты. Правила проектирования и строительства» [89].

Из зарубежных представителей следует отметить «Технологический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.03-96-2008 (02250). «Автомобильные дороги низших категорий. Правила проектирования». Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь» [97].

Взяв за основной показатель $E_{\text{общ}}$ – нормативный модуль упругости для лесовозной дороги имеем, для дорожных одежд облегченного типа (с асфальтобетоном) – не менее 120 МПа, для дорожных одежд переходного типа – не менее 80 МПа, для лесохозяйственных автомобильных дорог – не менее 65 МПа.

Модуль упругости конструктивного слоя. Для асфальтобетона E_i – от 2000 до 2400 МПа, для грунтовермикулитового слоя от 150 до 300 МПа, для грунта земляного полотна не менее 45 МПа.

Таким образом, для частных показателей, входящих в целевую функцию будут следующие ограничения:

- $R_t^{\min} = 2,04 Bm / m^2 \cdot K$, $R_t^{\max} = 2,23 Bm / m^2 \cdot K$;
- $E_{\text{общ}}^{\min} = 80 \text{ МПа}$, $E_{\text{общ}}^{\max} = 120 \text{ МПа}$.

2.6 Формальная запись постановки задачи оптимизации конструкции морозоустойчивой дорожной одежды

С учетом выражений (2.1) – (2.3) формально задача оптимального проектирования конструкции дорожной одежды лесовозной дороги будет иметь вид:

$$F(U) \rightarrow \max, U \in L \quad (2.6)$$

где L – область допустимых значений управляющих параметров при ограничениях:

Модуль упругости дорожной одежды (общий модуль упругости дорожной многослойной конструкции):

$$\begin{aligned} U_0^{\min} &= 80 \text{ МПа} \\ U_0^{\max} &= 120 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Толщина верхнего слоя покрытия:

$$\begin{aligned} U_0^{\min} &= 0,3 \text{ м} \\ U_0^{\max} &= 0,6 \text{ м} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Толщина слоя грунтовермикулитового материала:

$$\begin{aligned} U_2^{\min} &= 0,15 \text{ м} \\ U_2^{\max} &= 0,50 \text{ м} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Толщина рабочего слоя земляного полотна земляного полотна:

$$\begin{aligned} U_3^{\min} &= 0,60 \text{ м} \\ U_3^{\max} &= 1,65 \text{ м} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Коэффициент теплопроводности верхнего слоя покрытия:

$$\begin{aligned} U_4^{\min} &= 0,981 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К} \\ U_4^{\max} &= 1,623 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Коэффициент теплопроводности слоя грунтовермикулитового материала:

$$\begin{aligned} U_5^{\min} &= 0,065 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К} \\ U_5^{\max} &= 1,652 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Коэффициент теплопроводности слоя грунта земляного полотна:

$$\begin{aligned} U_6^{\min} &= 1,612 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К} \\ U_6^{\max} &= 1,823 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Модуль упругости верхнего слоя покрытия:

$$\begin{aligned} U_7^{\min} &= 2000 \text{ МПа} \\ U_7^{\max} &= 2400 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Модуль упругости слоя грунтовермикулитового материала:

$$\begin{aligned} U_8^{\min} &= 100 \text{ МПа} \\ U_8^{\max} &= 200 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Модуль упругости грунта земляного полотна:

$$\begin{aligned} U_9^{\min} &= 35 \text{ МПа} \\ U_9^{\max} &= 45 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Термическое сопротивление дорожной одежды для условий Свердловской области:

$$\begin{aligned} U_{10}^{\min} &= 2,04 \text{ м}^2 \text{ К/Вт} \\ U_{10}^{\max} &= 2,23 \text{ м}^2 \text{ К/Вт} \end{aligned} \quad (2.17)$$

Ограничение по предельному напряжению сдвига в грунте τ_c :

$$\begin{aligned} U_{11}^{\min} &= 0,010 \text{ МПа} \\ U_{11}^{\max} &= 0,035 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (2.18)$$

Поправочный коэффициент условий эксплуатации лесовозных дорог:

$$\begin{aligned} U_{12}^{\min} &= 20 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К} \\ U_{12}^{\max} &= 34 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К} \end{aligned} \quad (2.19)$$

Тогда выражение 2.1 можно представить в виде:

$$U_0 = \frac{U_7 U_1 + U_8 U_2 + U_9 U_3}{U_1 + U_2 + U_3}, \quad (2.20)$$

Выражение 2.2 в виде:

$$U_{10} = \left\{ \frac{U_1}{U_4} + \frac{U_2}{U_5} + \frac{U_3}{U_6} \right\} + \frac{1}{U_{12}}. \quad (2.21)$$

В терминах нелинейного программирования задача звучит следующим образом: в области допустимых значений L следует найти вектор управляющих параметров U (2.5), удовлетворяющий ограничениям (2.6) – (2.19) и обеспечивающий максимум целевой функции F , полученной из (2.4):

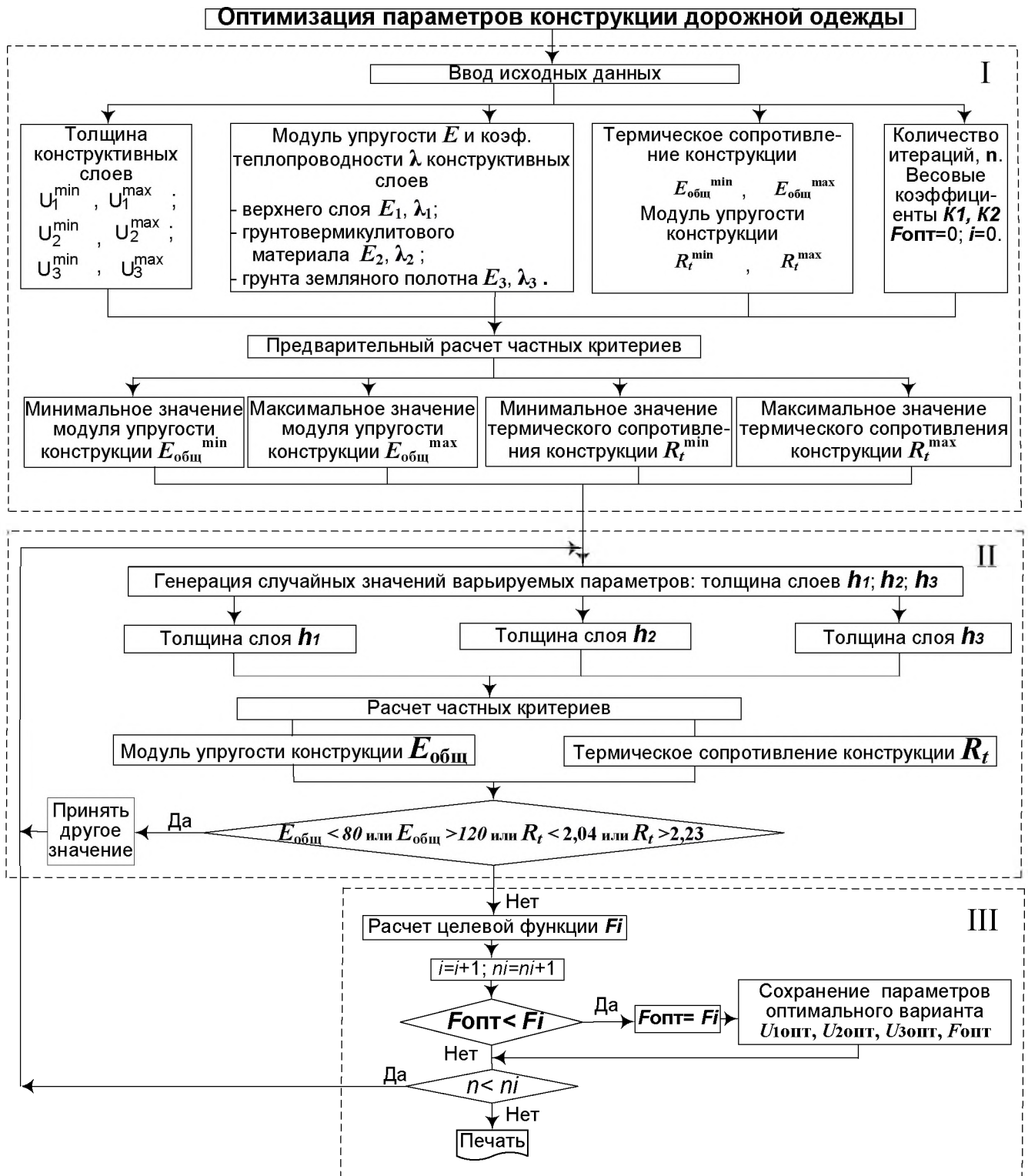
$$F = K_1(U_{10} - U_{10}^{\min}) / (U_{10}^{\max} - U_{10}^{\min}) + K_2(U_0 - U_0^{\min}) / (U_0^{\max} - U_0^{\min}) \quad (2.22)$$

2.7 Реализация алгоритма оптимизации параметров конструкции морозоустойчивой дорожной одежды

Разработке методов решения оптимизационных задач посвящено большое количество исследований. Для практического применения могут быть достаточно полезны обобщающие работы [1, 24, 26], в которых приведены основные теоретические подходы и различные апробированные алгоритмы решения. В результате в современных научных исследованиях и проектировании различных механизмов процедура оптимизации стала стандартной задачей. Несмотря на всестороннее исследование этой проблемы, наличие множества программных средств, часто для решения подобных задач пользователями разрабатываются собственные программные продукты и математическое обеспечение. При этом широко используется программная среда известных языков, и одной из самых распространенных является C# [111].

Выбор метода оптимизации в каждом конкретном случае определяет вид целевой функции и ограничений, количество параметров, требования к компьютерным ресурсам и другие факторы. Например, аналитический метод решения задачи оптимизации требует определения производных по всем переменным, что в данном случае не представляется возможным, поэтому задача решается численным методом, с разработкой собственного алгоритма и программного обеспечения стандартными средствами C#.

Для решения задачи оптимизации был разработан алгоритм с использованием метода случайного поиска. Схема алгоритма приведена на рисунке 2.2.



I – модуль формирования исходных данных;

II – модуль поиска оптимального решения;

III – формирование и вывод результатов;

Рисунок 2.2 – Схема алгоритма поиска оптимальных параметров конструкции морозоустойчивой дорожной одежды

Особенность предлагаемого алгоритма в том, что он разработан в общем виде для любого количества (в рассматриваемых задачах) варьируемых параметров и ограничений. Целевая функция, как и формулы для ограничений, прописываются для каждой конкретной задачи. Таким образом, предложенный алгоритм может использоваться для большинства задач при исследованиях и проектировании конструкций дорожной одежды.

2.8 Разработка программы поиска оптимального решения

Для реализации алгоритма поиска оптимального решения в программе использован язык программирования C#.

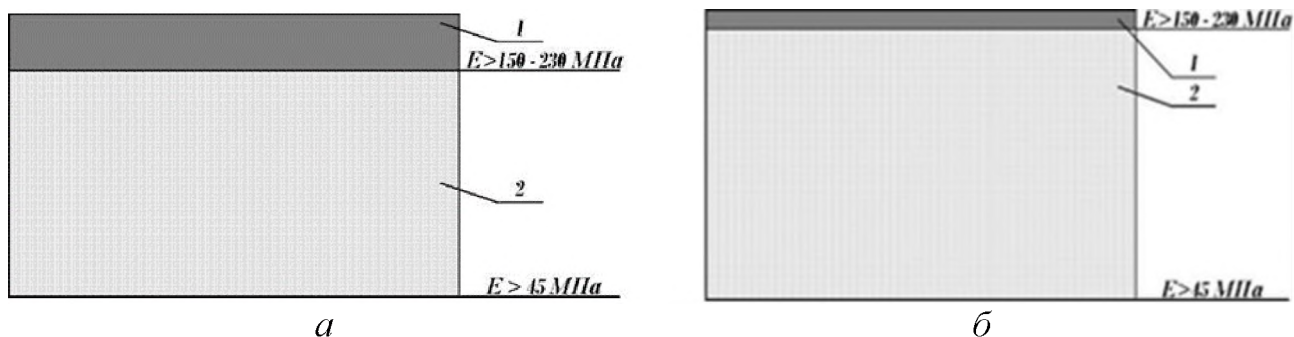
При работе с программой вводится количество варьируемых параметров, диапазоны их значений, прописываются аналитические выражения ограничений и целевой функции, задается шаг расчетов по координатам. Программа при выполнении расчетов собирает в рабочей области результаты, и выбирает по критерию оптимизации наилучший набор варьируемых значений. В приведенном виде программа универсальна и может использоваться в качестве процедуры для аналогичных задач.

Расчеты оптимальных параметров конструкции для различных вариантов приоритета частных критериев приведены в Приложении В и на рисунке 2.3. Наиболее приемлемым компромиссом будет задание равных весовых критериев 0,5, что минимизирует противоречие между критериями. При необходимости придать специфические свойства конструкции в процессе проектирования задаются соответствующие весовые коэффициенты. Доступ к программному обеспечению на официальном сайте УГЛТУ в системе Электронной Информационной Образовательной Среде ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу <http://is1.lms-usfeu.ru/index.php>.

Результаты теоретических исследований, расчетов по полученным уравнениям и оптимизации параметров сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчетов оптимальных параметров
морозоустойчивой дорожной одежды

Наименование параметра	Варианты				
	1	2	3	4	5
Расчетный модуль упругости дорожной одежды, E , МПа	92	113	91	102	115
Общее термическое сопротивление дорожной одежды, R_t , m^2K/Wm	2,05	2,19	2,14	2,12	2,04
Толщина дорожного покрытия, см	4	3	4	3	5
Толщина грунтовермикулитового слоя, см	18	44	21	35	41
Толщина рабочего слоя земляного полотна земляного полотна, м	1,59	1,62	1,30	1,55	0,76
Обобщенный показатель эффективности, F	0,506	0,409	0,728	0,659	0,532



а – с грунтовермикулитовым гравийным покрытием;

б – с асфальтобетонным покрытием.

Рисунок 2.3 – Конструкции морозозащитной дорожной одежды лесовозных дорог с добавками из вермикулита

Выводы по второй главе

1. Выполненная постановка задачи оптимального проектирования параметров дорожной одежды, предложенный алгоритм и компьютерная реализация алгоритма позволила получить оптимальные значения конструктивных слоев морозоустойчивых дорожных одежд.

2. Было выявлено, что использование рекомендованных в научно-технической документации методик по проектированию дорожных одежд приводит к неоптимальным конструкциям дорожных одежд. В частности, величина морозозащитного слоя часто неоправданно завышается. Анализ рассчитанных

дорожных конструкций показал, что при прочих равных условиях, их величины могут быть снижены на 12-17%, в зависимости от дорожно-климатических условий.

3. Исследования показали, что существенное влияние на морозоустойчивость дорожных одежд оказывает величина слоя теплоизолирующего материала.

4. Для обеспечения требуемой прочности морозоустойчивой дорожной одежды модуль упругости земляного полотна должен быть не менее 47 МПа.

5. По технико-экономическим показателям предпочтение следует отдавать конструкциям с асфальтобетонными дорожными покрытиями.

6. Использование грунтовермикулитового материала позволило существенно снизить толщину морозозащитных слоев.

7. При проектировании морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог рекомендуется выбирать толщину грунтовермикулитового слоя в пределах от 21 до 35 см.

8. Оптимальными параметрами морозоустойчивой дорожной одежды следует считать: толщина асфальтобетонного покрытия 4 см; толщина грунтовермикулитового слоя 21 см; рабочий слой земляного полотна не менее 1,30 м, при обобщенном показателе эффективности не менее 0,728.

9. Разработанные конструкции дорожных одежд лесовозных дорог отличаются оптимальными значениями толщины конструктивных слоев с добавками из вермикулита и позволяют обеспечить их морозоустойчивость в условиях природно-климатических условий трансграничных лесов Евразии.

ГЛАВА 3. ЛАБОРАТОРНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРОЗОЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ С ДОБАВКАМИ ВЕРМИКУЛИТА

3.1 Разработка методики проведения экспериментальных исследований по строительству морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками вермикулита

Лесовозные дороги, территориально расположенные в трансграничных лесах Евразии, имеют существенные ограничения как по эксплуатационным показателям и по конструктивному исполнению дорожных одежд, так и по технологиям их строительства.

Поэтому с целью обоснования конструктивных и технологических решений для строительства морозоустойчивых дорожных одежд необходимо провести комплекс исследований, как по оценке физико-механических показателей дорожно-строительных материалов с добавками из вермикулита, так и их технологических особенностей.

В качестве основания дорожной одежды лесной лесовозной дороги используется смесь местного грунта с добавкой из вспученного вермикулита или отходов производства (грунтовермикулитовый слой), который служит основанием многослойной дорожной одежды и является конструктивным слоем для морозозащитного слоя. Морозозащитный слой - это слой, устроенный в земляном полотне, служащий для уменьшения теплообмена между дорожной конструкцией (либо ее верхней или нижней частью) и окружающей средой.

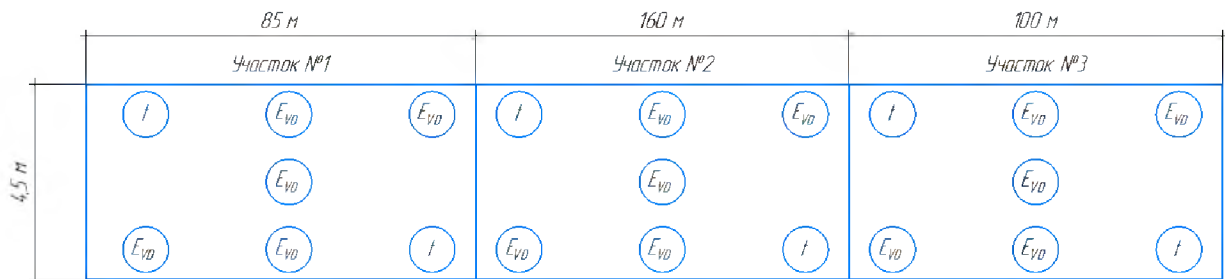
Опытно-экспериментальные исследования проводились при строительстве участка лесовозной дороги ПК10+00 – ПК13+45, промышленная зона, Кыштымский лесхоз, осенью 2021 г. на отрезке протяженностью 345 м. Для

испытаний было построено три опытных участка из различных дорожно-строительных материалов.

Измерения проводились согласно разработанной методике [1, 19].

На рисунке 3.1. представлены опытные участки и схемы расположения контрольных точек. Участков выбрано в количестве – 3 шт. Ширина основания земляного полотна 15 м, дорожной одежды лесовозной дороги 4,5 м. Общая длина экспериментального участка 345 м. Опытные участки имеют различные размеры. Длины участков не кратные, на каждом участке, слева и справа в полосе наката, в шахматном порядке расположены устройства для измерения температуры грунта (термопары ХК (L), сигналы от которых выведены на границу полосы отвода, термометр двухканальный Темп – 3.11, см. Приложение Г, рисунок Г.1).

На каждом участке расположены две термопары, слева и справа. Глубина заложения соответствует глубине основания земляного полотна. Термопары расположены несимметрично относительно друг друга.



t – место установки термопары;

E_{VD} – место измерения динамического модуля упругости.

Рисунок 3.1 – Опытные участки и схема расположения контрольных точек для измерений физико-механических показателей морозозащитных слоев дорожных одежд лесовозной дороги

№1 – участок из местного грунта, крупнообломочный дресвяной, содержание частиц размером более 2 мм в количестве более 50 %, толщина рабочего слоя 40 см;

№2 – участок из грунтовермикулитового материала, с содержанием вермикулита от 10 до 12 % (классифицируется как песок гравелистый, с содержанием частиц размером более 2 мм в количестве более 25 %), толщина слоя 35 см;

№3 – участок из грунтовермикулитового материала, с содержанием вермикулита от 15 до 20 % (классифицируется как как песок крупный по содержанию частиц размером более 0,50 мм в количестве более 50 %), толщина слоя 35 см.

Одновременно с испытанием конструктивных слоев были отобраны пробы материала и определена толщина конструктивных слоев, и было зафиксировано состояние основания.

Как показано в работах [32, 59, 100], проблема измерения теплоизоляционных свойств дорожных конструкций в настоящее время не имеет достаточного обоснования. При этом, производители, которые не имеют возможности контролировать теплофизические характеристики материалов в процессе строительства, оценивают их с помощью косвенных признаков [69, 125].

3.2 Лабораторные исследования грунтовермикулитового материала

Испытания по изменению физико-механических и теплофизических свойств грунтовермикулитового материала и асфальтобетонных смесей для дорожного покрытия лесовозных дорог были проведены в лабораторных условиях на базе ИЦ ООО «УралНИИСтром», ООО НИИ «ЛАДОР» и лаборатории кафедры транспорта и дорожного строительства ФГБОУ ВО УГЛТУ.

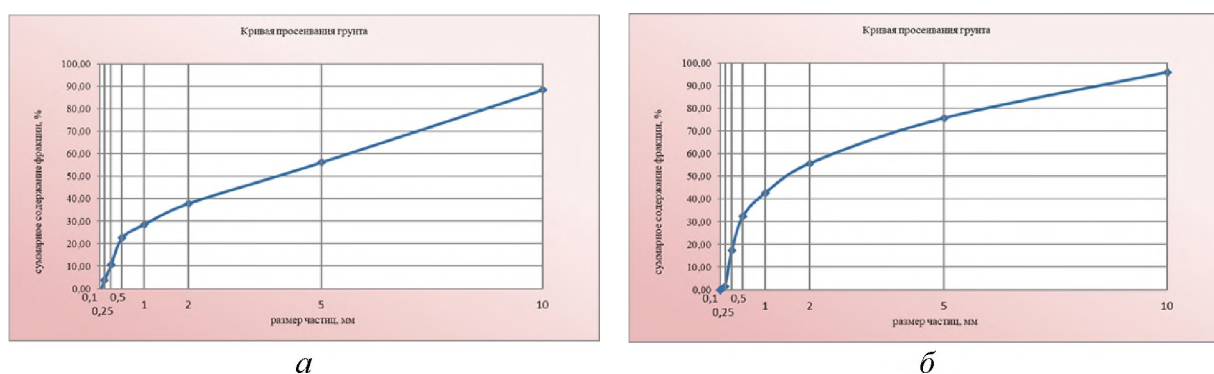
Согласно разработанной методике испытаний, были проведены исследования по оценке физико-механических показателей местных грунтов и грунтовермикулитового материала.

Были определены следующие показатели:

1. Гранулометрический (зерновой) состав местного грунта по массовому содержанию в нем частиц различной крупности;
2. Насыпная плотность грунтовермикулитового материала;
3. Истинная плотность, пустотность грунтовермикулитового материала;
4. Средняя плотность грунтовермикулитового материала с использованием весов для гидростатического взвешивания;
5. Максимальная плотность, оптимальная влажность;
6. Коэффициент пористости, пористость, коэффициент фильтрации;
7. Коэффициент теплопроводности.

При лабораторных испытаниях и в опытах с образцами материала использовался стандартный набор оборудования дорожно-строительной лаборатории. Рабочие моменты испытаний представлены в Приложении Г, рисунок Г.2.

Зерновые составы местного грунта и грунтовермикулитового материала приведены на рисунке 3.2.



а – местного грунта; *б* – грунтовермикулитового материала

Рисунок 3.2 – Зерновые составы

Коэффициент фильтрации. При оценке коэффициента фильтрации грунтовермикулитовых материалов использовалась методика по ГОСТ 5180-2015 [31]. При этом коэффициент фильтрации грунтов, используемых в до-

рожном строительстве для устройства дренажных и морозозащитных слоев дорожной одежды, определяют на образцах грунта нарушенного сложения при максимальной плотности и оптимальной влажности, значения которых предварительно устанавливают по действующей нормативно-технической документации [31].

Результаты определения коэффициента фильтрации при максимальной плотности и оптимальной влажности приведены в Приложении Г, таблица Г.3

Определение теплопроводности проводили по ГОСТ 7076-99 «Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме». Сущность метода заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым (наибольшим) граням образца, измерении плотности этого теплового потока, температуры противоположных лицевых граней и толщины образца.

Результаты определения коэффициента теплопроводности приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Коэффициент теплопроводности

№ п/п	Шифр проб в системе U-LAB	Коэффициент теплопроводность, Вт/м·К
1	1005.1/21 Местный грунт	1,653
2	1005.2/21 Грунтовермикулитовый материал	1,084
3	1005.3/21 Вермикулит	0,583

Протокол испытаний материалов приведен в Приложении Г, таблица Г.4.

Результаты теплотехнических испытаний представлены в таблице 3.2 и на рисунке 3.3. Испытания проводились по истечению 1 и 3-х часов стабилизации во влажной среде, что соответствует реальному процессу строительства морозозащитных слоев.

На рисунке 3.3 и в таблице 3.2 показаны изменения теплопроводности и параметры уравнений регрессии в зависимости от количества вермикулита

для грунтовермикулитовых материалов отобранных проб №1005.1/21, 1005.2/21, 1005.3/21.

Таблица 3.2 – Физико-механические характеристики грунтовермикулитового материала

№ п/п	Вид добавки в грунт	Количество добавки, %	Коэффициент уплотнения	Коэффициент пористости, ед.	Теплопроводность, Вт/м·К
Без уплотнения					
1	Отходы производства при получении вспученного вермикулита	5%	0,77	0,52	1,370
2		10%	0,77	0,58	0,875
3		15 %	0,77	0,63	0,681
4		20%	0,77	0,72	0,506
После уплотнения нагрузкой 600 кПа					
5	Отходы производства при получении вспученного вермикулита	5%	0,99	0,32	1,567
6		10%	0,99	0,38	1,115
7		15 %	0,99	0,45	0,751
8		20%	0,98	0,50	0,587

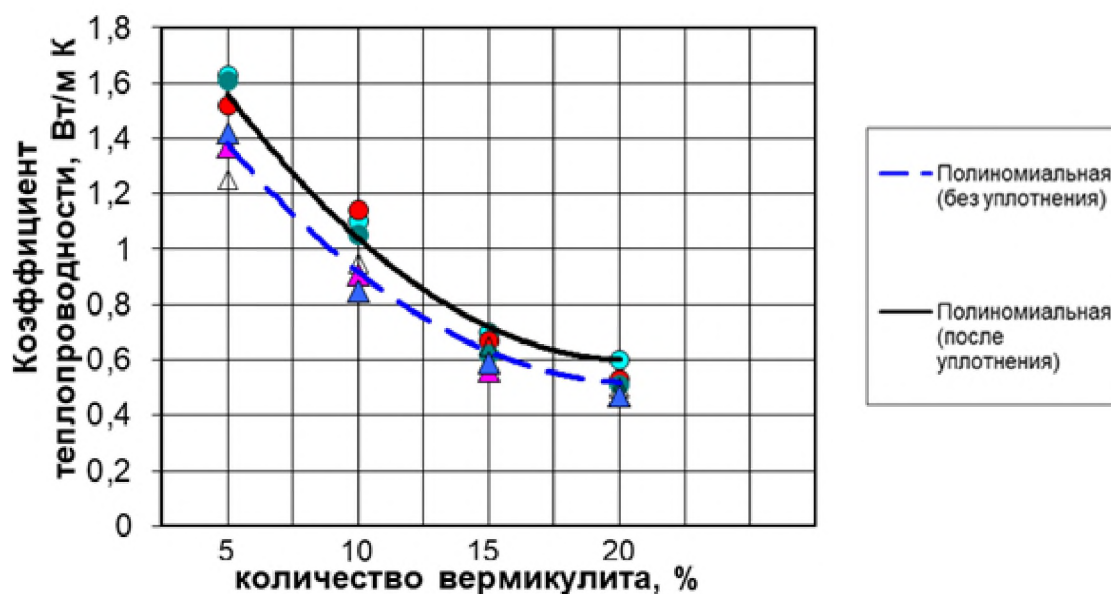


Рисунок 3.3 – Изменение коэффициента теплопроводности грунтовермикулитового материала в зависимости от количества добавки из вермикулита

Уравнение регрессии изменения теплопроводности в зависимости от количества вермикулита после уплотнения слоя имеет вид:

$$\lambda_{ГВМ} = 0,1003x^2 - 0,8213x + 2,2818 \quad (3.1)$$

при $R^2 = 0,9936$

где x – количество вермикулита в смеси, %.

Уравнение регрессии изменения теплопроводности в зависимости от количества вермикулита до уплотнения слоя имеет вид:

$$\lambda_{ГВМ} = 0,0875x^2 - 0,7245x + 2,0175, \quad (3.2)$$

при $R^2 = 0,9831$

где x – количество вермикулита в смеси, %.

В качестве ограничения было принято начало уменьшения коэффициента уплотнения из-за увеличения пористости грунтовермикулитовых материалов. [102].

Из анализа теплотехнических показателей грунтовермикулитовых материалов следует, что добавка вермикулита существенно повышает термическое сопротивление дорожной одежды. Однако уменьшение теплопроводности ведет к существенному изменению пористости и как следствие к изменению прочностных показателей.

Полученный материал позволил получить зависимости изменения теплофизических показателей слоев дорожных одежд и оценить прочностные показатели этих конструктивных слоев.

Полученные опытно-экспериментальные зависимости были использованы для настройки математической модели оптимизации конструкции дорожных одежд лесовозных дорог.

3.3 Планирование эксперимента по подбору теплофизических свойств дорожных покрытий лесовозных дорог

Особенности, связанные с разработкой новых технологий для строительства лесовозных дорог, расположенных в особо сложных природно-

климатических условиях, привели к тому, что для оценивания физико-механических свойств дорожно-строительного материала нужно иметь набор опытно-экспериментальных показателей.

При выполнении опытно-экспериментальных работ по выявлению влияния добавок из термобработанного вспученного вермикулита (ВспВ) на основные физико-механические и теплофизические свойства асфальтобетонных дорожных покрытий целесообразно воспользоваться классическим униформ-ротатабельным планом 2-го порядка. При планировании эксперимента по униформ-ротатабельному плану Бокса – Хантера для трех независимых переменных определялись [1, 5].

1. Средние значения по строчкам управляемых параметров:

$$\bar{y} = \frac{1}{\gamma} y_{ul}, \quad (3.3)$$

где γ – число повторений опыта.

2. Значения дисперсий по строчкам:

$$S_u^2 = \frac{1}{\gamma - 1} \sum_{l=1}^{\gamma} (y_{ul} - \bar{y}_u)^2, \quad (3.4)$$

3. Однородность дисперсии опытов проверялась с использованием критерия Кохрена:

$$G_{расч.} = \frac{S_{max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}, \quad (3.5)$$

где S_{max}^2 – максимальная дисперсия в опытах,

S_i^2 – дисперсия i -го опыта,

N – число опытов в плане ($N=14$).

При условии, что $G_{расч.} \leq G_{табл.}$ гипотеза об однородности дисперсии опытов принимается:

$$S^2 \{y\} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N}, \quad (3.6)$$

При планировании экспериментов по трехфакторному плану Бокса-Хантера определялись:

а) коэффициенты регрессионной модели:

$$b_0 = 0,16634 \sum_{u=1}^{20} y_u - 0,05679 \sum_{i=1}^3 \sum_{u=1}^{14} x_{iu}^2 y_u, \quad (3.7)$$

$$b_i = 0,07322 \sum_{u=1}^{14} x_i y_u, \quad (3.8)$$

$$b_{ii} = 0,625 \sum_{u=1}^{14} x_{iu}^2 y_u + \sum_{i=1}^3 \sum_{u=1}^{14} x_{iu}^2 y_u - 0,05679 \sum_{u=1}^{20} y_u, \quad (3.9)$$

$$b_{ij} = 0,125 \sum_{u=1}^8 x_{iu} x_{ju} y_u. \quad (3.10)$$

б) функция отклика (регрессионная модель) имеет вид:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_3^2 + \dots \\ \dots + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3. \quad (3.11)$$

в) оценка дисперсии коэффициентов регрессионной модели:

$$S^2 \{b_0\} = 0,16635 \cdot S^2 \{y\}, \quad (3.12)$$

$$S^2 \{b_i\} = 0,0733 \cdot S^2 \{y\}, \quad (3.13)$$

$$S^2 \{b_{ii}\} = 0,0597 \cdot S^2 \{y\}, \quad (3.14)$$

$$S^2 \{b_{ij}\} = 0,125 \cdot S^2 \{y\}, \quad (3.15)$$

г) статистическая значимость коэффициентов регрессионной модели:

$$|b_i| \geq t_{табл.} \cdot S^2 \{b_i\}, \quad (3.16)$$

где $S^2 \{b_i\}$ – дисперсия i -го коэффициента регрессионной модели;

$t_{табл.}$ – табличное значение t – критерия Стьюдента при уровне значимости $q = 0,05$ и числе степеней свободы $f_1 = N(n-1)$;

n – количество повторений опыта.

Коэффициенты, удовлетворяющие условию (3.16), считаются равными нулю, т.е. отбрасываются из уравнения регрессии.

д) проверка адекватности регрессионной модели:

$$S_{ад.}^2 = \frac{S_{ад.}}{f_{ад.}} = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)}{(N - k)}, \quad (3.17)$$

где \bar{y}_i – значение управляемой величины в i -ом опыте;

\hat{y}_i – среднее значение управляемой величины в i -ом опыте рассчитанное по регрессионной модели;

k – число коэффициентов в регрессионной модели.

$$F_{расч.} = \frac{S_{ад.}^2}{S^2\{y\}}, \quad (3.18)$$

Рассчитанное значение $F_{расч.}$ сравнивается с табличным значениям критерия Фишера $F_{табл.}$ для $f_1 = N - k$ и $f_2 = N \cdot (n - 1)$ и уровня значимости $q = 0,05$. Гипотеза об адекватности регрессионной модели принимается если $F_{расч.} \leq F_{табл.}$.

е) оценка эффективности регрессионной модели:

$$\bar{\bar{y}} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \bar{y}_u, \quad (3.19)$$

критерий эффективности регрессионной модели:

$$F_{эф} = \frac{\sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \bar{\bar{y}})^2}{(N - 1) \cdot S_{ад.}^2}, \quad (3.20)$$

Регрессионная модель статистически эффективна, если $F_{эф} \geq F_{\alpha}(f_3; f_2)$, при $f_3 = N - 1$, $f_2 = N - k$ и $q = 0,05$.

Для перехода от натуральных обозначений управляющих факторов к нормализованным использовалось соотношение [61]:

$$x_i = \frac{X_i - X_i^{(0)}}{\Delta_i}, \quad (3.21)$$

где x_i – нормализованное обозначение i -го управляющего фактора;

X_i – натуральное обозначение i -го управляющего фактора;

$X_i^{(0)}$ – натуральное обозначение i -го управляющего фактора на основном уровне;

Δ_i – шаг варьирования i -го управляющего фактора.

Анализ адекватности разработанных математических моделей показал, что полученное математическое описание объекта, в виде уравнения регрессии второго порядка с достаточной точностью описывают объект в центре плана опыта и с незначительной погрешностью на крайних границах факторов.

Учитывая сложность и неопределенность в условиях эксплуатации лесовозных дорог было принято решение о выборе диапазона поисковых исследований.

Как показано в главе 1.4 в качестве основного показателя, оценивающего физико-механические свойства асфальтобетонных покрытий лесовозных дорог целесообразно принять коэффициент теплопроводности конструктивного слоя $\lambda_{абс}$, Вт/м*К (см. приложение Г, рисунок Г.3).

При изучении асфальтобетонных смесей было выявлено, что на физико-механические показатели лесовозных дорог наибольшее влияние будет оказывать содержание минерального порошка, асфальтовяжущего и добавки вермикулита.

Для оценки влияния содержания ВспВ в минеральной части смеси необходимо выбрать диапазон его изменения. За нижнюю границу диапазона варьирования принимаем минимально возможное содержание ВспВ, рассмотренное в главе 1.4, а за верхнюю - максимальное определяющееся минеральным составом смеси. Для удобства проведения эксперимента диапазон варьирования можно выразить в процентах от содержания по массе.

Схема проведения эксперимента представлена на рисунке 3.4. Для его проведения выбран трехфакторный план Бокса-Хантера, включающий в себя двадцать опытов. Данный план обладает приемлемыми статистическими показателями при небольшом числе опытов и простоте его реализации [1]. Значения постоянных, а также наименование управляемых и диапазоны варьи-

рования управляющих факторов представлены в таблицах 3.3–3.7. Диапазоны изменения управляющих факторов выбраны с учетом пробных экспериментов.

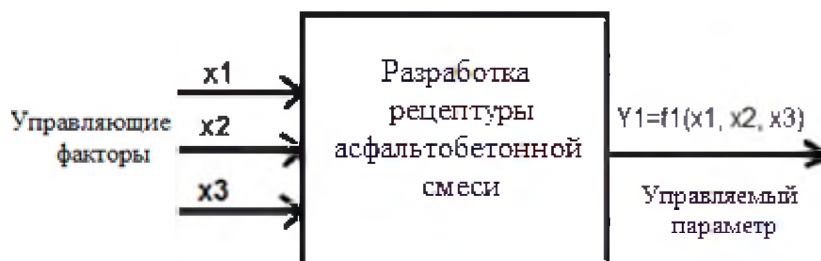


Рисунок 3.4 – Схема проведения эксперимента по разработке рецептуры асфальтобетонной смеси для дорожных морозоустойчивых покрытий

Таблица 3.3 – Значения постоянных факторов в эксперименте

№п/п	Наименование фактора	Значение по требованиям ГОСТ Р 58406.1
1	Объемная плотность, г/см ³	не нормируется
2	Максимальная плотность, г/см ³	не нормируется
3	Содержание воздушных пустот, %	От 2,0 до 4,0
4	Устойчивость смеси к расслаиванию по показателю стекания вяжущего, %	От 0,07 до 1,15
5	Разрушающая нагрузка по Маршаллу, Н	Не менее 6200
6	Деформация по Маршаллу, мм	От 2,0 до 4,0
7	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа, не менее	7,5

Примем следующие содержания минерального порошка типа МП 2. Содержание 0 % соответствует наименьшему значению минерального порошка, а содержание 100 % соответствует наибольшему значению. В таблице 3.3 приведен диапазон варьирования содержания МП и их нормализованные значения.

Обоснованию влияние содержания, вяжущего на физико-механические свойства асфальтобетонных смесей посвящено большое количество работ [27, 34, 46, 75, 117].

В соответствии с полученными результатами, нами было принято за нижнюю границу диапазона изменения минимально возможное содержание вяжущего (битум нефтяной дорожный вязкий марки БНД 100/130 по ГОСТ 33133 + адгезионной добавкой «Амдор-10» 0,5 %) в количестве 6,0 %, а за верхнюю максимально допустимое – 8,0 %. В таблице 3.4 приведены эти диапазоны.

Таблица 3.4 – Фактор X_1 . Диапазон варьирования содержания минерального порошка МП 2 в асфальтобетонной смеси

Диапазон изменения фактора, %	0	20,27	50	79,73	100
Содержание минерального порошка в асфальтобетонной смеси, %	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0
Нормализованное значение фактора (нормированное значение)	-1,682	-1	0	+1	+1,682

Влияние теплоизоляционных добавки на рассмотрено в главе 1.4 и их влияние на физико-механические свойства асфальтобетонов не однозначно.

Композиционный битумный материал на основе вспученного вермикулита обладает улучшенными характеристиками как по теплостойкости, так и по морозостойкости. В наших исследованиях было зафиксировано увеличение температуры размягчения композиции от 18 до 26 % и снижение температуры хрупкости от 33 до 38 %.

Таблица 3.5 – Фактор X_2 . Диапазон варьирования содержание вяжущего (битум нефтяной дорожный вязкий марки БНД 100/130 по ГОСТ 33133 + адгезионной добавкой «Амдор-10» 0,5 %)

Диапазон изменения фактора, %	0	20,27	50	79,73	100
Содержание вяжущего (битум нефтяной дорожный вязкий марки БНД 100/130 по ГОСТ 33133 + «Амдор» - 0,5 %), %	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
Нормализованное значение фактора (нормированное значение)	-1,682	-1	0	+1	+1,682

Полученные показатели позволяют сделать предположение, что технологические возможности битумной композиции могут быть существенно расширены [10]. Известно, что с уменьшением глубины проникновения иглы в битум при пенетрации уменьшается и температура, при которой в асфальтобетонной смеси начинается структурное формирование бетона [27, 45].

На рисунке 3.5 приведены опытные данные изменения физико-механических показателей композиционного битумного материала.

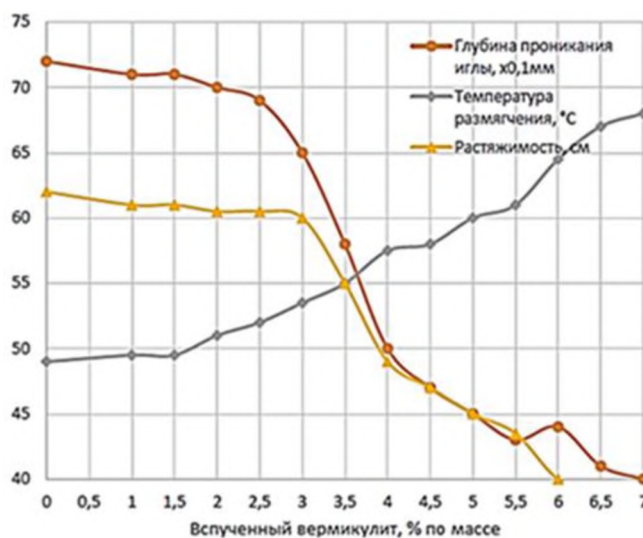


Рисунок 3.5 – Изменения физико-механических показателей композиционного битумного материала в зависимости от содержания вспученного вермикулита по массе от вяжущего

Как видно, для разных типов асфальтовяжущих, содержание добавки вспученного вермикулита может изменяться от 0,25 % до 8 %. В результате пробных исследований было установлено, что для асфальтобетонных смесей целесообразно принять диапазон изменения содержания ВспВ от 0,1 до 0,7 % (сверх 100% минеральной части). В таблице 3.5 приведен диапазон варьирования содержания ВспВ в асфальтобетонной смеси.

Таблица 3.6 – Фактор X_3 . Диапазон варьирования содержания вспученного вермикулита в смеси

Диапазон изменения фактора, %	0	20,27	50	79,73	100
Содержание вспученного вермикулита, % (сверх 100% минеральной части)	0,100	0,175	0,350	0,525	0,700
Нормализованное значение фактора (нормированное значение)	-1,682	-1	0	+1	+1,682

Таблица 3.7– Диапазоны варьирования управляющих факторов в эксперименте

Наименование фактора	Нормализованное обозначение	Значения на уровнях варьирования				
		звездная точка	нижний	основной	верхний	звездная точка
		-1,682	-1	0	+1	+1,682
Содержание минерального порошка в асфальтобетонной смеси, $C_{МП}$, %	x_1	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0
Содержание вяжущего в асфальтобетонной смеси, $C_{вяж.}$, %	x_2	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
Содержание вспученного вермикулита в асфальтобетонной смеси, $C_{ВспВ}$, %	x_3	0,100	0,175	0,350	0,525	0,700

Таблица 3.8 – Наименование управляемого параметра в эксперименте

Наименование параметра	Обозначение	Нормализованное обозначение
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	$\lambda_{абс.}$	y

3.4 Результаты лабораторных исследований теплофизических свойств дорожных покрытий с добавками из вермикулита

Результаты проведения экспериментальных исследований и их статистическая обработка согласно [111] осуществлялись средствами *Microsoft Excel 2010*.

В результате были получены зависимости управляемого параметра от управляющих факторов в виде полиномов (уравнений регрессии) второго порядка. Полученное уравнение представляет собой регрессионную модель отражающую связь зависимости коэффициента теплопроводности, (Вт/м*К) асфальтобетона от содержания вспученного вермикулита при фиксированном содержании минерального порошка и асфальтовязущего. Полученная модель использовались для оптимизации процесса оптимизации рецептуры асфальтобетонной смеси.

В таблице 3.9 приведены средние значения результатов реализации эксперимента по плану Бокса – Хантера для трех независимых переменных для параметров для управляемого параметра y .

Таблица 3.9 – Результаты реализации экспериментов по определению коэффициента теплопроводности по трехфакторному плану Бокса – Хантера

№ п/п	Нормализованные обозначения управляющих факторов			Среднее значение выходного параметра
	x_1	x_2	x_3	y
1	-1	-1	1	1,363
2	1	-1	1	1,386
3	-1	1	1	1,342
4	1	1	1	1,359
5	-1	-1	-1	1,150
6	1	-1	-1	1,162
7	-1	1	-1	1,024
8	1	1	-1	1,102
9	-1,682	0	0	1,140
10	1,682	0	0	1,082
11	0	-1,682	0	1,014
12	0	1,682	0	1,002
13	0	0	-1,682	1,856
14	0	0	1,682	1,154
15	0	0	0	1,034
16	0	0	0	1,035
17	0	0	0	1,035
18	0	0	0	1,034
19	0	0	0	1,034
20	0	0	0	1,033

3.5 Построение регрессионной модели

Построение регрессионной моделей в виде функций отклика для выходного параметра y проводилось по методике, описанной в методической главе.

Статистический анализ полученных результатов (приведен в приложении Г, таблица Г.5) подтвердил однородность дисперсии и значимость коэффициентов уравнений регрессии, которые имеют следующий вид:

– в нормализованных обозначениях факторов:

$$\hat{y} = 1,034 + 0,002x_1 - 0,002x_2 - 0,161x_3 + 0,031x_1^2 + \dots \\ \dots + 0,005x_2^2 + 0,171x_3^2 + 0,008x_1x_2 + 0,006x_1x_3 - 0,017x_2x_3, \quad (3.22)$$

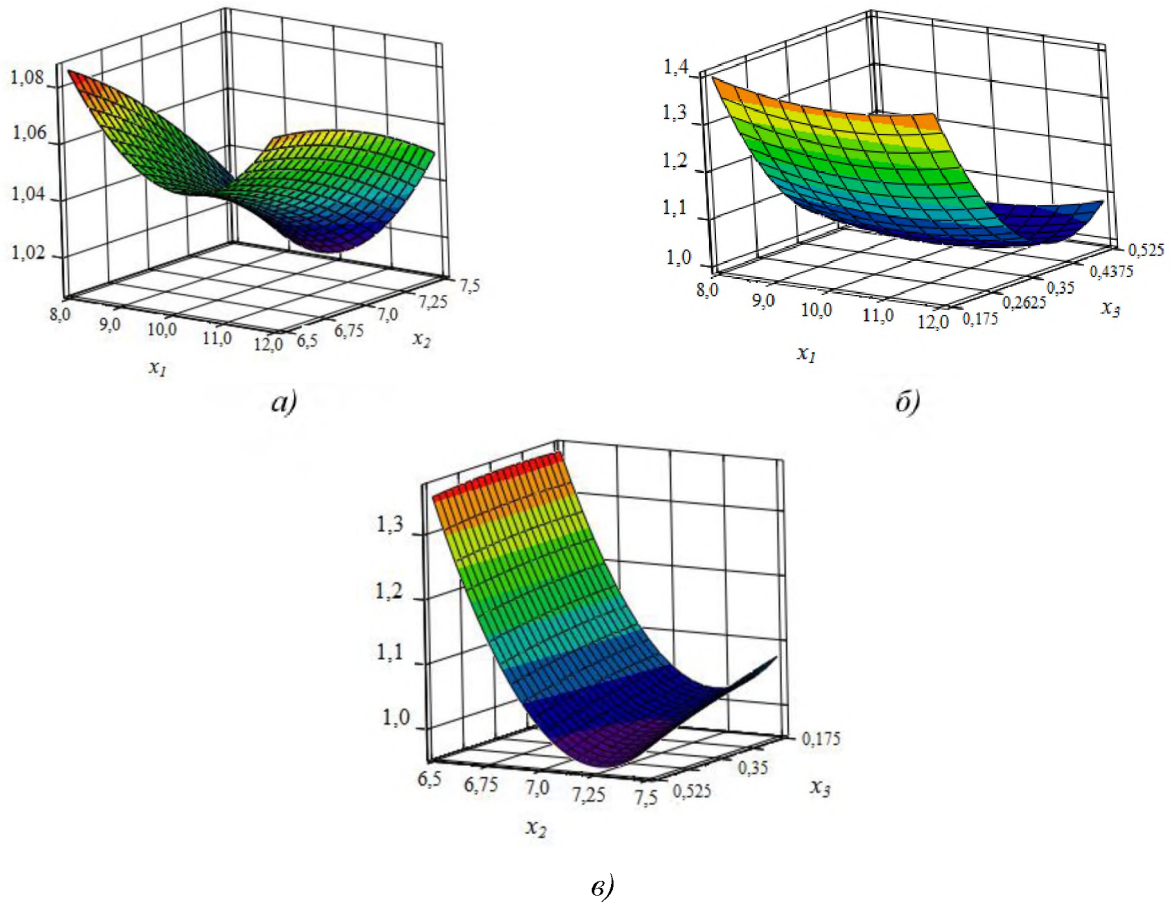
– в натуральных обозначениях факторов:

$$\lambda_{\text{абс.}} = 6,231 - 0,916C_{\text{МП}} - 0,471C_{\text{ВЯЖ.}} - 5,691C_{\text{ВСПВ}} + 0,0077C_{\text{МП}}^2 - \dots \\ \dots 0,02C_{\text{ВЯЖ.}}^2 + 5,587C_{\text{ВСПВ}}^2 + 0,008C_{\text{СП}}C_{\text{ВЯЖ.}} + 0,002C_{\text{МП}}C_{\text{ВСПВ}} + \\ + 0,093C_{\text{ВЯЖ.}}C_{\text{ВСПВ.}} \quad (3.23)$$

По результатам полученных экспериментальных данных были построены графические интерпретации зависимостей изменения управляемого параметра от управляющих факторов, представлены на рисунке 3.6.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

Подбор составов асфальтобетонных смесей в лабораторных условиях для создания морозоустойчивых дорожных покрытий лесовозных дорог показал, что оптимальные теплотехнические показатели асфальтобетонов достигаются при добавке вспученного вермикулита в диапазоне от 0,15 до 0,35 % по массе.



x_1 – содержание минерального порошка, %; x_2 – содержание вяжущего, %;
 x_3 – содержание вспученного вермикулита, % (сверх 100% мин. части)

Рисунок 3.6 – Графическая интерпретация изменения теплопроводности асфальтобетонного покрытия в зависимости от величины вспученного вермикулита, минерального порошка и вяжущего (выходной параметр – коэффициент теплопроводности асфальтобетонного дорожного покрытия, Вт/м·К)

Для оценки влияния вспученного вермикулита на физико-механические показатели асфальтобетонов примем требования по ГОСТ Р 58406.1-2020, на примере состава щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей типа ЦМА-16. В качестве ограничения примем значение коэффициента теплоустойчивости R20/R50 асфальтобетона, как показателя их предела прочности при минус 20° С, т.е. предела сжатия до разрушения образца при температуре минус 20° и плюс 50° С. Коэффициент теплоустойчивости представлен в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Коэффициент теплоустойчивости R_{20}/R_{50}

№ опыта	ВспВ, 100% с.м.ч	Содержание вяжущего, %	Коэффициент теплоустойчивости R_{20}/R_{50}
1	0	5,9	1,52
2	0	6,1	1,45
3	0,10	6,0	1,61
4	0,10	6,0	1,67
5	0,75	6,5	2,01
6	0,75	6,5	2,12
7	0,35	7,0	2,02
8	0,35	7,0	2,23
9	0,525	7,5	1,94
10	0,525	7,5	1,97
11	0,75	8,0	1,80
12	0,75	8,0	1,76

Результаты оптимизации составов с условием ограничения по ГОСТ Р 58406.1-2020:

Содержание вспученного вермикулита, % (сверх 100% минеральной части) – от 0,15 до 0,52 %.

Содержание минерального порошка МП 2 – от 9,0 до 12,0 %

Содержание битумного вяжущего марки БНД 100/130 – от 6,0 до 8,0 %.

Коэффициент теплопроводности, $\lambda_{абс}$ – от 0,800 до 1,100 (Вт/м*К).

3.6 Обоснование оптимальной величины содержания вспученного вермикулита в асфальтобетонном покрытии

Оптимизационную модель сформируем в следующем виде:

а) целевая функция:

$$W = 1,034 + 0,002x_1 - 0,002x_2 - 0,161x_3 + 0,031x_1^2 + \dots \\ \dots + 0,005x_2^2 + 0,171x_3^2 + 0,008x_1x_2 + 0,006x_1x_3 - 0,017x_2x_3 \rightarrow \min. \quad (3.24)$$

б) система ограничений:

$$-1,682 \leq x_1 \leq 1,682, \quad (3.25)$$

$$-1,682 \leq x_2 \leq 1,682, \quad (3.26)$$

$$-1,682 \leq x_3 \leq 1,682, \quad (3.27)$$

Для решения вышеприведенной оптимизационной модели использовалась технология оптимизации *Microsoft Excel 2010* встроенной надстройки «Поиск решения» [111]. Оптимизация осуществлялась с применением метода обобщенного приведенного градиента (ОПГ) [41].

Результаты решения задачи оптимизации приведены на рисунках 3.7 и 3.8 и в Приложении Г, таблица Г.5.

Коэффициенты уравнения регрессии										Коэффициент теплопроводности, Вт/м*К
b0	b1	b2	b3	b11	b22	b33	b12	b13	b23	
1,034	0,002	-0,02	-0,161	0,031	-0,005	0,171	0,008	0,006	-0,017	1,001
Переменные										
x1	x2	x3								
0	1,682	0,525								
Система ограничений										
1	0	0	0	1,682						
1	0	0	0	-1,682						
0	1	0	1,682	1,682						
0	1	0	1,682	-1,682						
0	0	1	0,525	1,682						
0	0	1	0,525	-1,682						

Рисунок 3.7 – Решение задачи оптимизации определения минимального значения коэффициента теплопроводности асфальтобетонной смеси

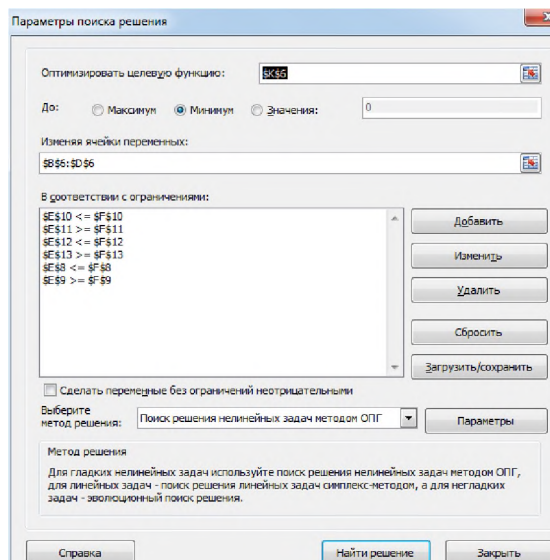


Рисунок 3.8 – Параметры поиска решения задачи оптимизации по нахождению оптимального значения коэффициента теплопроводности асфальтобетона

Оптимальные значения управляющих факторов составляют:

$$x = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,459 \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} 10\% \\ 7\% \\ 0,27\% \end{vmatrix}. \quad (3.28)$$

Ожидаемое значение коэффициента теплопроводности асфальтобетона составило $\lambda_{абс} = 1,001$ Вт/м·К, при содержании минерального порошка в асфальтобетонной смеси 10,0 %, битумного вяжущего 7,0%.

3.7 Опытное-экспериментальное строительство морозоустойчивых дорожных одежд

Согласно плану опытно-производственного строительства, было заложено три опытных участка из различных морозоустойчивых материалов, представленных на рисунке 3.1.

В процессе строительства контролировался динамический модуль упругости каждого слоя. Натурные испытания по оценке технологических возможностей материала и прочностных показателей конструктивных слоев проводились в период 30 сентября по 8 октября 2021 г.

В Приложении Г, рисунок Г.4 представлены рабочие моменты технологического контроля процесса строительства. Коэффициент уплотнения слоя определялся методом режущего кольца (Приложение Г, рисунок Г.4, а), динамическим прогибомером ZFG (Приложение Г, рисунок Г.4, в), модуль упругости штамповыми испытаниями (Приложение Г, рисунок Г.4, б).

Примеры ведомостей по оценке прочности морозозащитной дорожной одежды приведены в Приложении Г, таблицы Г.6, Г.7, Г.8 и Г.9.

Одновременно с испытанием на прочность слоев отбирались пробы грунтовермикулитового материала, измерялась толщина конструктивных слоев и фиксировалось состояние основания.

Для оценки теплотехнических свойств морозозащитных слоев были проведены измерения температур в различных конструктивных слоях (Приложение Г, рисунок Г.1). Результаты теплотехнических измерений и ведомости испытаний термического сопротивления конструктивных слоев представлены в Приложении Г, таблицы Г.10, Г.11 и Г.12.

Анализ технологического контроля строительства грунтовермикулитового слоя показывает, что модуль упругости слоя варьируются в довольно широком интервале. На него оказывает существенное влияние как объем используемого материала, так и технология их строительства.

В таблице 3.11 и в Приложении Г, таблицы Г.6, Г.7, и Г.8 представлены значения фактических и расчетных значений динамического модуля упругости, приведенные к расчетному периода года для грунтовермикулитовых оснований лесовозных дорог.

Таблица 3.11 – Значения прочностных показателей морозозащитных слоев

Номер участка	Фактический расчетный динамический модуль упругости $E_{vd,p}$, МПа	Среднеквадратичное отклонение, σ , МПа	Коэффициент вариации, K_v , %	Граница доверительного интервала, $\pm\mu_{ct}$
1. Местный грунт	28,3	0,5	5,3	0,0007
2. Участок из грунтовермикулитового материала, с содержанием вермикули-та от 10 до 12 %	42,1	0,4	5,1	0,0011
3. Участок из грунтовермикулитового материала, с содержанием вермикули-та от 15 до 20 %	40,2	0,6	5,1	0,0012

Результаты зависимостей динамического модуля упругости, статического модуля упругости и коэффициента уплотнения приведены в Приложении Г, таблица Г.9.

Выводы по третьей главе

1. В результате лабораторных исследований было выяснено, что добавка вермикулита в местные грунты существенно увеличивает термическое сопротивление дорожных одежд.
2. Установлено, что местные грунтовые материалы с добавками из вермикулита позволяют значительно уменьшить толщину морозозащитного слоя, а следовательно требуемые объемы дорожно-строительных материалов.
3. Установлено, что для достижения требуемого значения динамического модуля упругости не менее, чем 47 МПа морозозащитный слой должен иметь добавку вермикулита от 12 до 15% и иметь гранулометрический состав следующего диапазона: фракция 20 мм и более – 0 %; фракция 10 мм – от 4,0 до 11,6 %; фракция 5 мм от 24,3 до 43,8 %; фракция 2 мм – от 44,2 до 62,1 %; фракция 1 мм – от 57,3 до 71,4 %; фракция 0,5 мм – от 67,6 до 77,4 менее 0,5 мм – 100% (полные остатки на ситах).
4. Было выяснено, что прочностные показатели грунтовермикулитового слоя зависят от технологии уплотнения.
5. Анализ исходного состава грунтовермикулитовых смесей показал, что существенные изменения прочностных показателей морозозащитного слоя (коэффициент уплотнения) начинаются после превышения содержания в нем вермикулита более 18 %. Как показали исследования, значительное количество защемленного воздуха в добавке из вермикулита начинает сказываться на основных физико-механических характеристиках материала.
6. Апробирована методика подборов составов асфальтобетонных смесей в лабораторных условиях для создания морозоустойчивых дорожных покрытий лесовозных дорог. Получено уравнение регрессии влияния добавок минерального порошка, битума и вспученного вермикулита на теплофизические свойства асфальтобетонного покрытия.

7. Анализ составов дорожных покрытий показал, что оптимальные теплофизические показатели асфальтобетонных покрытий достигаются при содержании минерального порошка в асфальтобетонной смеси 10,0 %, битумного вяжущего 7,0%, вспученного вермикулита 0,27 %. Ожидаемое значение коэффициента теплопроводности асфальтобетона составило $\lambda_{абс} = 1,001 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

8. Установлено, что при строительстве морозоустойчивых дорожных одежд необходимо проведение специальных мероприятий по обеспечению технологического контроля строительства.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА МОРОЗОУСТОЙЧИВЫХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

4.1 Совершенствование технологии строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог

Современные технологии строительства дорожных одежд лесовозных дорог с усовершенствованным типом покрытий основаны на создании прочных и высокопрочных конструктивных слоев. В основу этих технологических решений положен анализ основных физико-механических свойств дорожно-строительных материалов и процессов изменения их характеристик в процессе строительства.

В состав современной технологии дорожного строительства, помимо добычи, подготовки, складирования, переработки материалов включается еще и технологический контроль производства.

Помимо учета физико-механических свойств применяемых материалов и их технологических особенностей, необходима оценка технологических возможностей дорожно-строительных машин. Существующие технологии строительства дорожных одежд в основном ориентированы на применение различных типов дорожно-строительных машин.

Наибольшее распространение при строительстве лесовозных дорог получили землеройно-транспортные машины, экскаваторы одноковшовые, машины для уплотнения дорожно-строительных материалов, машины для строительства асфальтобетонных покрытий, автосамосвалы.

В общем виде технологию строительства дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог можно разделить на следующие технологические процессы: первоначальная подготовка исходного материала (местного грунта, каменного материала), разработка землеройными машинами, дробление, измельчение, перемешивание материала (грунтов с добавками,

асфальтобетонных смесей), изготовление асфальтобетонов, распределение материалов в слое, уплотнение, уход.

В общем виде организационно-технологические решения при строительстве дорожных одежд лесовозных дорог представлены на рисунке 4.1



Рисунок 4.1 – Организационно-технологические решения при строительстве морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог

Процесс строительства дорожных одежд лесовозных дорог состоит в последовательном выполнении ряда технологических операций. Каждая операция требует полного завершения предыдущей перед началом последующей операции. Примером такой технологической последовательности может служить технология устройства дорожного покрытия, приведенная в Приложении Б, Таблице Б.1 – Технологическая схема по устройству верхнего слоя асфальтобетонного покрытия. При анализе организационно-технологических решений строительства дорожных одежд лесовозных дорог и методов оценки их технологий, был сделан вывод, что в пределах действующих нормативно-технических документов [86, 89], необходимо внесения изменений в известные технологические процессы.

Одним из элементов повышения качества строительства лесовозных дорог служит система строительного контроля. Строительный контроль обеспечивает проведение достижение ввода в эксплуатацию элементов лесовозных дорог с требуемым качеством и в установленные нормативные сроки [89]. С целью снижения затрат на строительство в диссертации были разработаны организационные мероприятия по внедрению системы технологического контроля качества лесовозных дорог и используемых дорожно-строительных материалов.

В общем виде, совершенствование технологии строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог состоит в обосновании конструктивных решений дорожных одежд, подготовке и сооружения рабочего слоя земляного полотна, устройстве морозозащитных слоев, строительстве дорожного покрытия с теплостабилизирующими добавками и применении информационных систем контроля качества строительства.

4.2 Разработка рекомендаций на выполнение работ по устройству морозозащитных слоев лесовозных дорог

Разработанные рекомендации распространяются на выполнение работ, направленных на строительство морозозащитных слоев дорожных одежд лесовозных дорог постоянного действия I ЛВ, II ЛВ, III ЛВ, I ЛХ, II ЛХ категорий с добавками из вермикулита, грунтовермикулитовых материалов и отходов горно-перерабатывающих и горнодобывающих предприятий, разрабатывающих карьеры вермикулита.

Под морозозащитным слоем лесовозных лесных дорог понимается дополнительный слой основания под дорожной одеждой капитального или переходного типа, состоящий из одного или нескольких слоев и обеспечивающий требуемое термическое сопротивление дорожной одежды, а также перераспределение и снижение напряжений на расположенные ниже дополнительные слои или грунт земляного полотна.

Под грунтовермикулитовым материалом (ГВМ) понимается рационально спроектированная смесь, состоящая из местного грунта и отходов производства вспученного вермикулита.

Для устройства морозозащитных слоев предусматривается использование местных строительных материалов Уральского региона: вермикулит с Потанинского вермикулитового карьера, отходы производства вспученного вермикулита ООО «УРАЛВЕРМИКУЛИТ».

При проектировании, строительстве и реконструкции морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог следует соблюдать основные положения:

– ОДН 218.046-01 «Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд»; СП 34.13330.2021 «Автомобильные дороги». Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85;

– СП 288.1325800.2016 «Дороги лесные. Правила проектирования и строительства»; СП 37.13330.2012 «Промышленный транспорт». Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91»;

– СП 243.1326000.2015 «Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения»;

– СП 78.13330.2012 «Автомобильные дороги». Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85».

Требования к исходным материалам.

Для устройства морозозащитных слоев лесовозных дорог с добавками вермикулита применяют местные грунты и отходы производства вспученного вермикулита. В случае несоответствия материалов требованиям смеси готовятся на дробильно-сортировочных установках или путем смешения на дороге или в грунтосмесительных установках.

Физико-механические свойства и зерновой состав смесей должен соответствовать требованиям, представленным в таблицах 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1 – Физико-механические свойства грунтовермикулитовых смесей

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	ГОСТ на методы испытаний	Требования Технологического регламента на строительство морозозащитных слоев
1	Насыпная плотность	кг/м ³	8269.0-97	Не нормируется
2	Истинная плотность	г/см ³	8269.0-97	Не нормируется
3	Пустотность	% по массе	8269.0-97	От 50 до 60 включ.
4	Пористость	%	ГОСТ 25100-2020 п. Б.1.3, табл. Б.3	Более 30
5	Максимальная плотность	кг/м ³	8269.0-97	Не нормируется
6	Оптимальная влажность	% по массе	ГОСТ 22733-2016	Не нормируется
7	Коэффициент фильтрации,	м/сут	ГОСТ 25584-2016	Не менее 0,2)
8	Теплопроводность	Вт/м·К	ГОСТ 7076-99	От 0,065 до 0,155 включ.

Таблица 4.2 – Требования к зерновому составу грунтовермикулитовых смесей

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	Требования Технологического регламента на строительство лесных дорог
40	0,0
20	0,0
10	4,0 - 11,6
5	24,3 – 43,8
2	44,2 – 62,1
1	57,3 – 71,4
0,5	67,6 – 77,4
менее 0,5	100,00

Физико-механические свойства грунтовермикулитового материала должен соответствовать требованиям, представленным в Приложении Д (Технологический регламент на выполнение работ по устройству морозозащитных слоев лесовозных дорог с добавками из вермикулита) таблицы 4.1. и 4.2. Требования по форме зерен, по прочности, истираемости не предъявляются.

Потребность в машинах и оборудовании.

Механизация строительных и специальных работ по строительству дорожных одежд должна быть комплексной и осуществляться комплектами строительных машин, оборудования, средств малой механизации, необходимой монтажной оснастки, инвентаря и приспособлений.

При выборе машин и установок необходимо предусматривать варианты их замены в случае необходимости. Если предусматривается применение новых строительных машин, установок и приспособлений, необходимо указывать наименование и адрес организации или предприятия-изготовителя.

Примерный перечень основного необходимого оборудования, машин, механизмов, технологической оснастки, инструмента и приспособлений приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Краткая характеристика основного технологического оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Основные паспортные характеристики
1	Экскаватор	Емкость ковша 1,5 м ³
2	Автосамосвал	Объемом кузова 8.5 м ³ , грузоподъемность 15 т, мощностью двигателя 176 кВт
3	Автогрейдер	Мощность двигателя 99 кВт
4	Каток гладковальцовый	Рабочая массой Q = 9,8 т, частота вибрации 40/55 Гц
5	Поливомоечная машина	Емкость 6000 л, ширина захвата при мойке до 8 м, расход воды при мойке до 1,1 л/м

4.3 Технология устройства морозозащитных слоев лесовозных дорог с добавками из вермикулита

Технология устройства морозозащитных слоев лесовозных дорог с добавками из вермикулита включает в себя следующие элементы:

- Подготовка и транспортировка грунтовермикулитового материала на подготовленное земляное полотно;

- Выгрузка и распределение материала по всей ширине рабочего слоя земляного полотна;
- Контроль и увлажнение материала до оптимальной влажности;
- Разравнивание материала, профилирование и придание поперечного профиля морозозащитному слою;
- Обжатие грунтовермикулитового морозозащитного слоя виброкатками;
- Окончательное уплотнение и контроль степени уплотнения морозозащитного слоя;
- Уход за морозозащитным слоем дорожной одежды.

Последовательность выполнения работ приведена на рисунке 4.2.

Пример технологической последовательности строительства морозозащитного слоя приведен в Приложении Д, Таблица 7.1 – Технологическая последовательность на устройство грунтовермикулитового морозозащитного слоя лесовозных дорог.



Рисунок 4.2 – Последовательность работ при строительстве конструктивного морозозащитного слоя с добавками из вермикулита

Организация и технология производства работ.

Грунтовермикулитовые материалы, доставленные на объект строительства, рекомендуется разгружать на рабочий слой земляного полотна, который в последующем разравнивают на всю ширину слоя автогрейдерами, погрузчиками, бульдозерами.

Объем материала на каждую длину сменной выработки определяют по выражению:

$$V = L \cdot B \cdot h \cdot k_{\text{зап}}, \quad (4.1)$$

где L – длина сменной выработки, м;

B – ширина слоя в м;

h – толщина слоя в уплотненном состоянии, в м;

$k_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса на уплотнение.

Коэффициент запаса для грунтовермикулитовых материалов принимают от 1,15 до 1,25 и уточняют по результатам пробного уплотнения.

При распределении грунтовермикулитовых материалов по ширине слоя следует учитывать запас на усадку при его уплотнении:

– так, для смесей с содержанием вермикулита от 10 до 15 % величина превышения составляет от 20 до 30%;

– для смесей с содержанием вермикулита от 15 до 20 % величина превышения находится от 30 до 40%.

Наименьшая толщина распределяемого слоя должна быть в 1,5 раза больше размер наиболее крупных частиц и должна составлять не менее 15 см.

Максимальная толщина слоя не должна превышать уплотняющей возможности виброкатков.

Продолжительность технологического разрыва во времени между вывозкой грунтовермикулитового материала на дорогу и его распределением, с последующим уплотнением не регламентируется.

При этом контролируется влажность материала. Допускается отклонение влажности не более 1% в меньшую сторону и 2 % в большую сторону от оптимальной.

Планировку материала следует производить с помощью автогрейдера или бульдозера. Уплотнение производится после распределения и увлажнения грунтовермикулитового материала.

В процессе уплотнения необходимо соблюдать следующие правила:

1. Уплотнение следует производить в строгом соответствии с технологическим регламентом (Приложение Д).

2. Виброкаток перемещается параллельно оси строящейся дороги со скоростью от 2 до 7 км/ч. Меньшая скорость соответствует статическому режиму, наибольшая динамическому режиму.

3. На основаниях, имеющие продольный уклон более 30 % выбраковок перемещается по направлению снизу-вверх.

4. Начальные проходы виброкатков осуществляются ведущими вальцами вперед.

5. Процесс уплотнения виброкатками должны быть в непрерывным и равномерным.

6. Запрещается останавливать виброкаток на неуплотненном грунтовермикулитовым слое.

7. С целью исключения образования деформаций слоя каждый последующий проход виброкатка должен быть смещен на величину, равную диаметру вибровальца.

Грунтовермикулитовый слой следует уплотнять за несколько этапов:

1. Первый этап уплотнения – обжимка.

Производится прикатка слоя и его предварительное уплотнение. Происходит обжимка грунтовермикулитового материала и выравнивание поверхности слоя виброкатком. Основная задача на этапе обжимки состоит в подравнении рыхлого слоя грунтовермикулитового материала и в предварительном его обжатии. Необходимо начальные два прохода по одному следу проводить без вибрации, а следующие два прохода по одному следу с наименьшей вибрацией, со скоростью не более 2 км/час (рисунок 4.3).

2. Второй этап уплотнения – стабилизация.

По мере формирования морозозащитного слоя и формирования морозозащитной структуры, за счет включения максимального режима вибрационного воздействия происходит взаимное перемещение частиц вермикулита и грунтового материала.

Уплотнение производится до устойчивого положения отдельных частиц в грунтовермикулитовом слое. Признаками стабилизации служит отсутствие деформации верхнего морозозащитного слоя лесовозной дороги.

3. Третий этап уплотнения - доуплотнение.

Окончательное доуплотнение и формирование равнопрочного морозозащитного слоя за счет создания контактов между частицами вермикулита и грунта. Уплотнение производится от краев к середине основания.

Признаки окончания доуплотнения:

- отсутствие деформации на слое перед вальцом виброкатка;
- отсутствие следа на морозозащитном слое от прохода виброкатка.

В случае если после уплотнения не достигнута требуемая плотность и прочность морозозащитного слоя, с появлением большого количества деформаций, производится досыпка и укрепление грунтовермикулитового слоя.

По сформированному морозозащитному слою, разрешается открывать движение лесовозных автомобилей при условии ограничения скорости до 10 км/час, с регулированием движения по всей ширине слоя.

В случае нарушения ровности морозозащитного слоя, перед устройством покрытия дорожной одежды производится исправление неровностей, заполнение впадин на поверхности новой смесью и их уплотнение.

Работы по строительству морозозащитных слоев выполняются по разработанной технологической последовательности поточным методом на трех участках работ.

На первом участке работ – 200 м - выполняются следующие технологические операции:

Погрузка и транспортировка грунтовермикулитового материала (ГВМ).

Работает (на месте складирования ГВМ) экскаватор EU- 424 (емкость ковша 1,5 м³,) автомобили самосвалы КамАЗ 65115 с объемом кузова 8.5 м³, грузоподъемностью 15 т, вывозят ГВМ и разгружают ее по оси дороги.

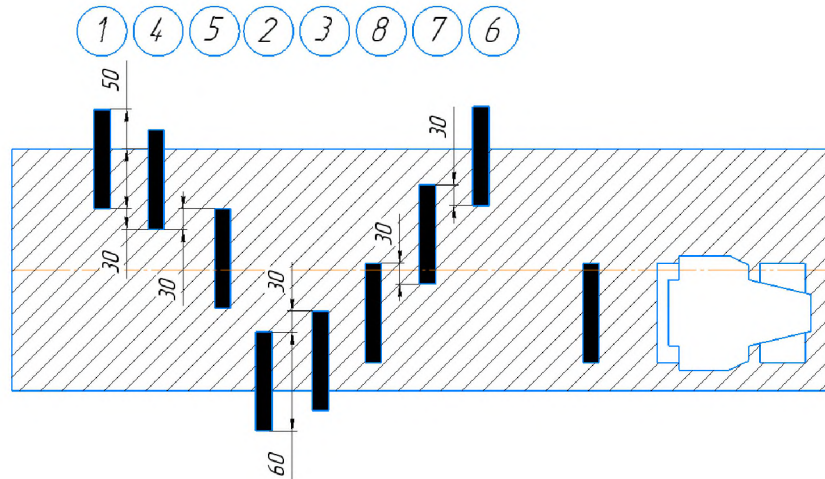


Рисунок 4.3 – Последовательность уплотнения морозозащитного слоя из грунтовермикулитового материала

На втором участке работ – 200 м - выполняются следующие технологические операции:

- Разравнивание материала по рабочему слою земляного полотна автогрейдером ДЗ-180 (мощность двигателя 99 кВт);
- Увлажнение слоя поливочной машиной КО 806-06 с розливом до достижения оптимальной влажности из расчета 5% воды от массы смеси.

На третьем участке работ – 200 м - выполняются следующие технологические операции:

- Обжимка слоя катком гладковальцовым Bomag, BW 154 AD-4, с рабочей массой $Q = 9,8$ т;
- Уплотнение и формирование теплоизолирующего слоя катком гладковальцовым Bomag, BW 154 AD-4, с рабочей массой $Q = 9,8$ т;
- Планировка слоя автогрейдером ДЗ-180 (мощность двигателя 99 кВт).

Перед началом работ по уплотнению необходимо провести пробное уплотнение.

4.4 Система технологического контроля качества строительства лесовозных дорог с использованием информационных технологий

Входной контроль качества поступающих грунтовермикулитовых материалов должна проводить лаборатория организации, осуществляющей строительство дорожной одежды.

Операционный контроль качества строительства морозозащитного слоя дорожной одежды должна осуществлять лаборатория строительной организации и мастер (прораб), осуществляющий строительство (Приложение Д, таблица 8.1).

Приемочный контроль качества морозозащитного слоя осуществляет мастер или прораб с участием представителей Заказчика.

Грунтовермикулитовые материалы, поступающие на объект строительства дороги, следует проверять внешним осмотром и отбором проб с последующим испытанием их в дорожной лаборатории на соответствие требованиям Технологического регламента (приложение Д, таблицы 4.1, 4.2).

Результаты приемочного контроля поступающих грунтовермикулитовых материалов необходимо фиксировать в журналах входного контроля.

Во время операционного контроля следует оценивать качество распределения ГВМ, влажность уложенного слоя, зерновой состав слоя, качество уплотнения слоя.

В процессе разравнивания ГВМ необходимо оценивать ширину и толщину морозозащитного слоя, качество поверхности, уклоны в поперечной плоскости, с интервалом не менее 100 м.

Ширина морозозащитного слоя измеряется мерной лентой, а толщина слоя по оси. Оценка ровности производится дорожной рейкой типа КОНДОР (по количеству просветов) на расстоянии от 0,5 до 1,5 м от кромки слоя в пяти контрольных точках, расположенных на расстоянии не менее чем 0,5 м от концов рейки и друг от друга. Поперечные уклоны измеряют дорожной рейкой по уровню.

Необходимо, чтобы основной грунтовермикулитовый слой был увлажненным.

Зерновые составы ГВМ проверяются по мере поступления и на каждую партию материала.

Уплотнение ГВМ контролируют визуально и с помощью экспресс методов.

Качество уплотнения оценивается коэффициентом уплотнения или измерением динамического модуля упругости. Измерение динамического модуля упругости слоя из ГВМ осуществляется в точках, представленных на технологических картах.

В Приложении Д, таблица 8.1 представлена разработанная система технологического контроля качества работ на устройство морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита.

Динамический модуль упругости морозозащитного слоя, должен соответствовать нормативным значениям и быть не менее расчетных значений. В случае неудовлетворительного качества проведения работ, принятые значения пересматриваются.

Устройство дорожного покрытия на слое с необеспеченного динамического модуля упругости возможно только при условии доведения его значения до требуемого значения.

Как было показано выше, технологии устройства дорожных покрытий лесовозных дорог из асфальтобетонных смесей ничем не отличается от технологий строительства автомобильных дорог общего пользования и в диссертационном исследовании не рассматриваются.

Одним из элементов строительства лесотранспортных сетей служит система строительного контроля. Для осуществления контроля качества строительства лесовозных автомобильных дорог необходим целый комплекс организационных, технологических и экологических мероприятий. Как было показано в главе 1, для решения вопросов обеспечения качества строительства необходимо

наличие дорожно-строительных лабораторий, а также системы менеджмента качества предприятия.

Особые условия при строительстве и эксплуатации лесотранспортной инфраструктуры вызывают серьезные затруднения при проведении технологического контроля. Значительная удаленность строящихся участков лесовозных дорог от производственных баз, складов дорожно-строительных материалов, трудности в оперативном управлении строительными процессами, отсутствие централизованного управления подрядными организациями обуславливают необходимость создания новой системы технологического контроля качества, построенной на основе информационных технологий.

Принципиальные положения, на которых базируется система следующие:

1. Контроль должен быть достоверным, полным и эффективным на всех стадиях дорожного строительства. Полным контроль может быть при условии выполнения всех испытаний, предусмотренных нормативными документами, регламентирующими определенный вид работ.

2. При отсутствии лабораторной службы предприятие обязано иметь собственную систему контроля качества, частью которой должна быть соответствующая компетентная служба сторонней организации.

Полным контроль может быть только при условии выполнения всех испытаний, предусмотренных нормативными документами, регламентирующими определенный вид работ, что влечет за собой значительное увеличение объема информации.

Для уменьшения затрат на строительный контроль были разработаны мероприятия по развитию системы контроля качества лесовозных дорог и дорожно-строительных материалов. В результате исследований были сформулированы требования к информационной системе технологического контроля строительства лесовозных дорог, представленные в таблице 4.4.

При разработке информационной системы технологического контроля были использованы основные положения ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» и

установлены требования на отбор проб, их упаковку, транспортировку, приемку (в том числе, регистрация) в лаборатории, хранение, подготовку проб к испытаниям (в соответствующих случаях – изготовлению образцов), проведение испытаний (по стандартным методам), расчеты результатов испытаний, анализ результатов испытаний, оформление результатов испытаний.

Таблица 4.4 – Показатели информационной системы технологического контроля строительства лесовозных дорог

Наименование основных подсистем	Функциональное назначение подсистем
1. Управление отношениями с лесозаготовительными предприятиями	Прием и обработка заявок, обратная связь
2. Управление нормативно-технической документацией	Актуализация нормативных документов, верификация
3. Учет оборудования	Контроль плановых проверок и ремонта, метрологическое обеспечение
4. Управление оборудованием	Контроль работы оборудования
5. Сбор информации с оборудования	Формирования банка данных по испытаниям
6. Банк данных дорожно-строительных материалов	Формирования банка данных по испытаниям дорожно-строительных материалов
7. Формирование документации	Создание протоколов, актов, отчетных материалов
8. Контроль испытаний	Контроль условий и правильности методик испытаний
9. Управление персоналом	Мониторинг компетентности персонала
10. Личный кабинет Заказчика	Просмотр и отслеживание результатов, статуса заказа, создание технического задания

На начальном этапе система контроля качества строительства дорог была интегрирована в цифровую лабораторно-информационную систему U-LAB. Система U-LAB была внедрена в информационном центре ИЦ «УралНИИСтром» и показала заметное повышение эффективности, точности, своевременности и результативности независимого лабораторного контроля дорожных работ и дорожно-строительных материалов [9].

Среди основных преимуществ цифровой лаборатории U-LAB: прогрессивный интерфейс заказчика «личный кабинет»; интеграция с соответствующими геоинформационными системами; сквозной контроль движения пробы; интел-

лектуальное распределение задач персоналу лаборатории; составление производственных планов; исключение человеческого фактора; криптографическая защита результатов испытаний.

С целью обеспечения технологического контроля качества в систему U-LAB был внедрен блок «Подсистема технологического контроля строительства лесовозной дороги (цифровой двойник)», что позволило перейти от традиционной лаборатории к системе технологического контроля качества строительства лесовозных дорог с использованием информационных систем, структурная схема которой изображена на рисунке 4.4.

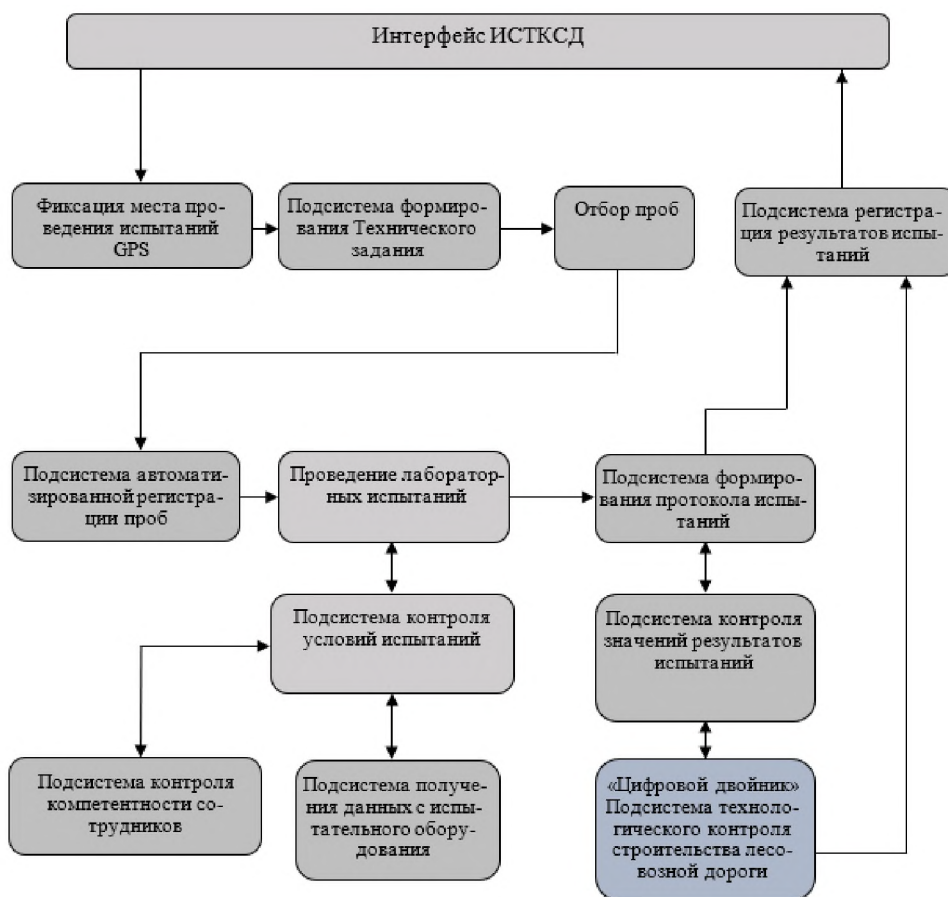


Рисунок 4.4 – Структурная схема технологического контроля качества строительства лесовозных дорог с использованием информационных систем

На рисунках 4.5-4.7 показан интерфейс информационной системы технологического контроля, внедренных в цифровую лабораторно-информационную систему U-LAB: формирование заявки на проведение технологического контроля качества строительства лесовозных дорог; карточка заявки на проведение технологического контроля качества строительства лесовозных дорог; перечень используемого оборудования; текущее окно объекта технологического контроля качества; карта объектов строительства лесовозных дорог на территории трансграничных лесов Евразии.

Пример протокола испытаний асфальтобетонной смеси и грунтовермикулитового материала, полученный с использованием информационной системы представлен в Приложении Д, таблица Д.3.

Система имеет синхронизацию с комплексом 1С-Бухгалтерия.

Рисунок 4.5 – Формирование заявки на проведение технологического контроля качества строительства лесовозных дорог (интерфейс информационной системы контроля качества строительства)

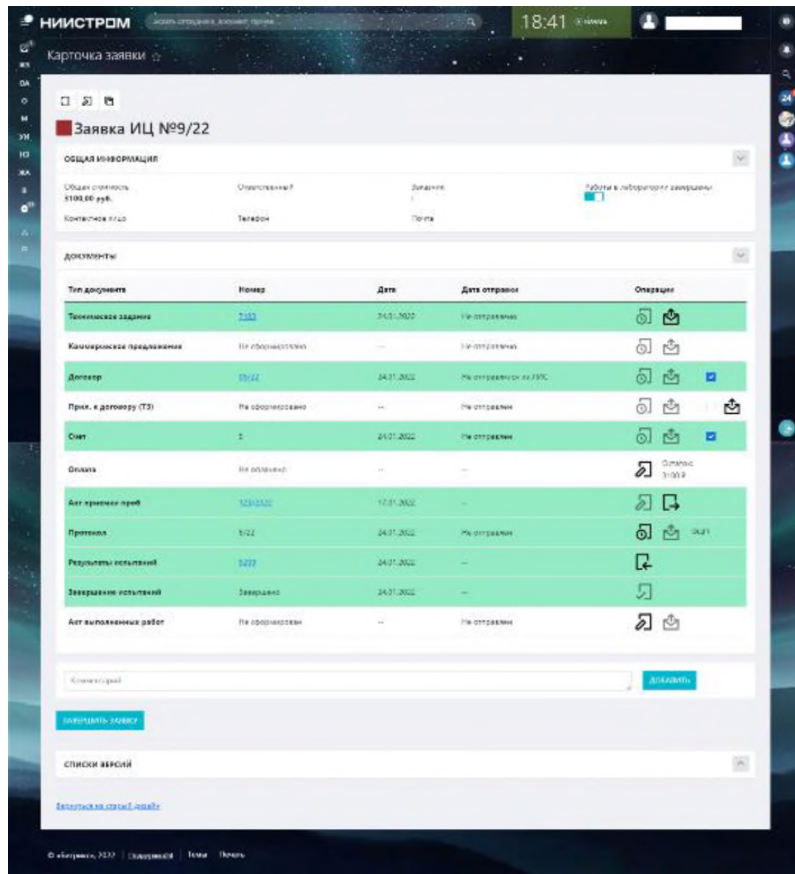


Рисунок 4.6 – Карточка заявки на проведение технологического контроля качества строительства лесовозных дорог (интерфейс информационной системы контроля качества строительства)

The screenshot shows the 'Оборудование' (Equipment) interface. At the top, it displays the title 'Оборудование' and a search bar. Below the title, there is a table with columns: 'ИДЕНТИФИКАЦИОННАЯ КАРТА', 'НАИМЕНОВАНИЕ', 'КОЛ-ВО', 'ИДЕНТ.', 'ЗАВЕРШЕННЫЙ НОМЕР', and 'ДАТА ВОЗВРАТА'. The table contains several rows of equipment items, including 'Зерновой состав', 'Влажность, водопоглощение, плотность, набухание', 'Гидростатическая прочность бетона', 'Аппарат для измерения влажности и влажности в', 'Аппарат для измерения влажности в', 'Аппарат для измерения влажности в', and 'Аппарат для измерения влажности в'.

ИДЕНТИФИКАЦИОННАЯ КАРТА	НАИМЕНОВАНИЕ	КОЛ-ВО	ИДЕНТ.	ЗАВЕРШЕННЫЙ НОМЕР	ДАТА ВОЗВРАТА
	Зерновой состав	Сигналит сит (2,0 / 0,3)	СИ	№ 0-1	№ 18.2-4
	Влажность, водопоглощение, плотность, набухание	Электронная сорговаляшка	ИО	№ 13897	№ 17.2-18
	Гидростатическая прочность бетона	Автоматический упрессовщик	ИО	№ В038-01-Н.АН.0003	№ 18.2-10
	Аппарат для измерения влажности и влажности в	Аппарат механический	КО	№ 3030	№ 21.4-24
	Аппарат для измерения влажности в	Аппарат для измерения влажности в	ИО	№ 1310	№ 20.3-20
	Аппарат для измерения влажности в	Аппарат для измерения влажности в	КО	№ 2243	№ 21.5-20
	Аппарат для измерения влажности в	Аппарат автоматический для	ИО	№ 57	№ 17.2-18

Рисунок 4.7 – Фрагмент перечня оборудования для проведения технологического контроля (интерфейс информационной системы контроля качества строительства)

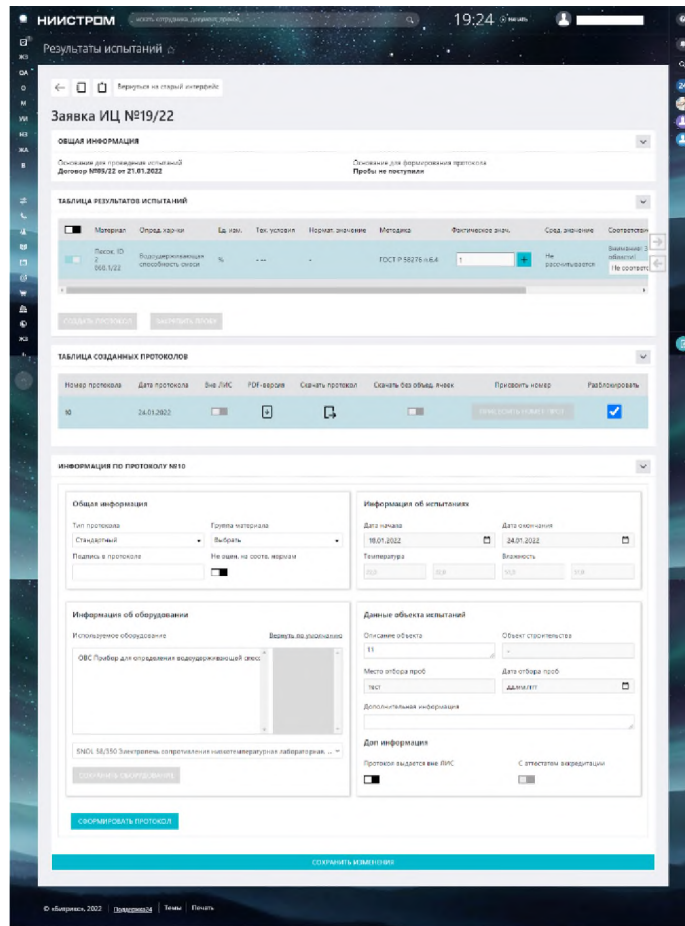


Рисунок 4.8 – Текущее окно объекта технологического контроля качества (интерфейс информационной системы контроля качества строительства)

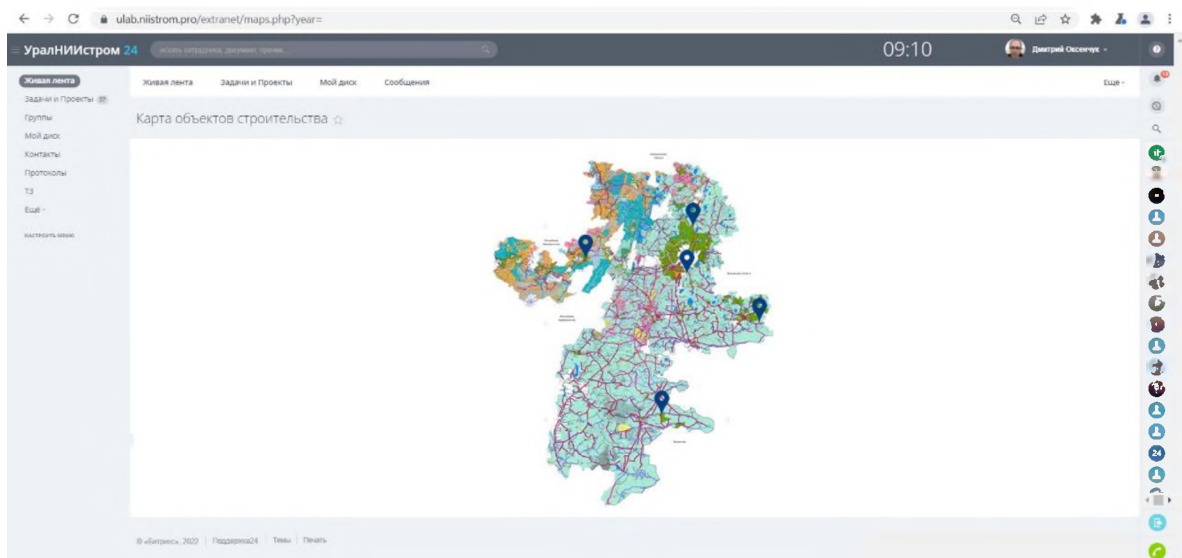


Рисунок 4.9 – Карта объектов строительства лесовозных дорог на территории трансграничных лесов Евразии (интерфейс информационной системы контроля качества строительства)

4.5 Экономическая эффективность строительства морозозащитных дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита

Для определения экономической эффективности капитальных вложений используем метод определения прямых затрат [19]:

$$\mathcal{E} = \{(z^* + 3c_1) \cdot Y + \mathcal{E}_s - (z^{**} + 3c_2)\} \cdot A, \quad (4.2)$$

где \mathcal{E} – годовой экономический эффект, руб;

$3c_1$ – приведенные затраты по устройству конструкции дорожной одежды базового варианта (с применением пенополистирола), руб;

$3c_2$ – приведенные затраты по устройству конструкции дорожной одежды с применением грунтовермикулитового материала, руб;

z^* – приведённые затраты на содержание;

z^{**} – приведенные затраты на изготовление с учетом стоимости транспортирования до строительной площадки;

Y – коэффициент изменения срока службы дорожной конструкции с грунтовермикулитом по сравнению с базовым вариантом, $Y = 5$;

\mathcal{E}_s – экономия в сфере эксплуатации конструкции за гарантийный срок ее службы;

A – объем внедрения.

Приведенные затраты определяются по следующим формулам:

$$3c_1 = (C_1 + E_n \cdot K_1); \quad (4.3)$$

$$3c_2 = (C_2 + E_n \cdot K_2), \quad (4.4)$$

где C_1 и C_2 – себестоимость работ по сравниваемым вариантам (см. прил. Д), руб;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, $E_n = 0,15$; K_1 и K_2 – капитальные вложения в основные производственные фонды по сравниваемым вариантам.

Сметная документация по объекту составлена на основании методики, утвержденной Приказом Минстроя от 04.08.2021.

Нормы накладных расходов приняты в соответствии с Методическими указаниями по определению величины накладных расходов в строительстве (МДС 81-33.2004, МДС 81-34.2004).

Нормы сметной прибыли принимаются в соответствии с Методическими указаниями по определению величины сметной прибыли в строительстве (МДС 81-25.2001).

Расчет локальных смет выполнен на основании действующих норм и цен 2001 года (на 01.01.2000) с использованием федеральной сметно-нормативной базы ФЕР-2001 в редакции 2017 г.

Перевод из базисных в текущие цены по состоянию на IV квартал 2021 года выполнен по итогу сводного сметного расчета с использованием индекса 8,6 (автомобильные дороги) при переводе по приложению к письму Минстроя России от 01.11.2021 № 47672-ИФ/09. На основе вариантов конструктивного исполнения морозоустойчивых дорожных одежд, представленных в приложении Д. Таблица Д.3 составим локальные сметы по конструкциям: Тип 1 и Тип 4.

Для сравнительной оценки в данной работе рассмотрены варианты строительства лесовозной автомобильной дороги на территории трансграничных лесов в Челябинской обл. (II дорожно-климатическая зона) протяженностью 1 км.

Планово-расчетная цена стоимости строительства автомобильной дороги с дорожной конструкцией Тип 4 с применением пенополистирола протяженностью дороги 1 км – составляет (в ценах на 4-й квартал 2021 г., с учётом НДС) 7176,95 тыс. руб.

Планово-расчетная цена стоимости строительства автомобильной дороги с дорожной конструкции Тип 1 с морозозащитным слоем из грунтовермикулитовых материалов (с НДС) составляет (в ценах на 4-й квартал 2021 г.) 16114,28 тыс. руб.

Расчеты планово-расчетных цен приведены в приложении Д. Таблица Д.4, Д.5.

Экономическая эффективность дорожных конструкций с теплоизолирующим слоем из грунтовермикулитовых материалов на лесовозной автомобильной дороге протяженностью 12 км составила 20563,2 тыс. руб.

Акт внедрения методов проектирования и строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита представлен в приложении Ж.

Сравнение по суммарным приведённым затратам.

На основании выполненных расчетов составим сводную таблицу технико-экономических показателей вариантов морозоустойчивых дорожных одежд, представленную в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Технико-экономические показатели разработанных вариантов морозоустойчивых дорожных одежд

Показатели	Единица измерения	Значение показателей	
		Морозоустойчивая дорожная одежда с пенополистиролом Тип 4	Морозоустойчивая дорожная одежда с добавками из вермикулита Тип 1
1. Тип покрытия	–		
2. Протяженность	км	12	12
3. Стоимость строительства всего участка дороги в текущих ценах IV квартал 2021 г.	тыс. руб.	193371,3426	86123,37108
в том числе:			
3.1 Дорожная одежда	тыс. руб.	12280,80	5469,60
3.2 Временные здания и сооружения - 4,1%	тыс. руб.	503,51	224,25
3.3 Зимнее удорожание дороги 1,98%	тыс. руб.	253,13	112,74
3.4 Непредвиденные затраты 3%	тыс. руб.	391,12	174,20
3.5 НДС 20%	тыс. руб.	2685,71	1196,16
4. Сметная стоимость на 1 км в текущих ценах IV квартала 2021 г. с НДС20%	тыс. руб.	16114,28	7176,95

Выводы по четвертой главе

1. Проведенный комплекс исследований позволил разработать технологию строительства морозозащитных слоев из грунтовермикулитовых материалов. Преимущества дорожно-строительных материалов с добавками из вермикулита: возможность использования местных грунтов, высокие теплофизические свойства, устойчивость к нагрузкам при эксплуатации лесовозных дорог, невысокая стоимость, экологичность материала.

2. Проведено обоснование технологических решений по уплотнению грунтовермикулитовых материалов. Расчетами установлено, что при строительстве морозозащитных слоев окончательное доуплотнение и формирование прочного морозозащитного слоя должно быть выполнено с технологическим перерывом от 1 до 1,5 часов, при коэффициенте увлажнения от 0,95 до 1,15.

3. В процессе строительства необходимо контролировать пустотность грунтовермикулитового материала в диапазоне от 20 до 30 % включительно по массе.

4. При строительстве морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог из материалов с добавками вермикулита динамический модуль упругости рабочего слоя земляного полотна следует принимать равным 26 МПа и выше, морозозащитного слоя 37 МПа и выше, покрытия не менее 45 МПа.

5. Технологический контроль является неотъемлемой частью технологического процесса. Разработанная система технологического контроля качества строительства лесовозных дорог с использованием информационных систем, за счет внедрения подсистемы «Подсистема технологического контроля строительства лесовозной дороги (цифровой двойник)», позволила усовершенствовать технологию строительства морозоустойчивых дорожных одежд с заданными свойствами и сократить время на технологический контроль лесовозных дорог, расположенных в сложных природно-климатических условиях.

6. Разработаны организационно-технологические решения строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог, закрепленные в технологическом регламенте на устройство морозозащитных слоев лесовозных дорог с добавками из вермикулита.

7. Устройство теплоизоляционного слоя в дорожной конструкции из грунтовермикулита позволяют снизить транспортные расходы, себестоимость строительства и ремонта, уменьшить стоимость строительства морозозащитного слоя, повысить эффективность строительства в 2,24 раза, сэкономить на приобретении дорожно-строительных материалов, сохранить ровность покрытия и увеличить срок службы лесовозной дороги до капитального ремонта в 1,4 раза.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Разработанные методики проектирования морозоустойчивых дорожных одежд с учетом обобщенного показателя физико-механических и теплофизических свойств конструктивных слоев лесовозных дорог с добавками из вермикулита позволяют использовать местные грунты и экологически неопасные природные добавки, повысить теплоизоляционные свойства конструктивных слоев, обеспечить устойчивость к нагрузкам при эксплуатации лесовозных дорог в сложных природно-климатических условиях.

2. Впервые получены значения оптимальных параметров морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с использованием добавок из вермикулита. Анализ показал, что оптимальными параметрами следует считать: толщина асфальтобетонного покрытия 4 см; толщина грунтовермикулитового слоя 21 см; толщина рабочего слоя земляного полотна 1,30 м, при обобщенном показателе эффективности 0,728.

3. Получены рациональные составы грунтовермикулитового материала: добавка вермикулита от 12 до 18%; гранулометрический состав: фракция 40 мм – 0 %; фракция 20 мм – 0 %; фракция 10 мм – от 4,0 до 11,6 %; фракция 5 мм от 24,3 до 43,8 %; фракция 2 мм – от 44,2 до 62,1 %; фракция 1 мм – от 57,3 до 71,4 %; фракция 0,5 мм – от 67,6 до 77,4%; фракция менее 0,5 мм – 100% (полные остатки). Ожидаемое значение коэффициента теплопроводности грунтовермикулитового слоя составило $\lambda_{звс} = 1,106 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, статического модуля упругости – 47 МПа.

4. Установлено, что асфальтобетонная смесь морозоустойчивого дорожного покрытия должна содержать: минерального порошка - 10,0 %; битумного вяжущего - 7,0 %; вспученного вермикулита 0,27 %. Ожидаемое

значение коэффициента теплопроводности асфальтобетона составило $\lambda_{abc} = 1,001 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

5. Разработаны новые технологии строительства морозоустойчивых дорожных одежд с добавками из вермикулита. Рациональные технологические режимы строительства: коэффициент уплотнения не менее 0,99; коэффициент увлажнения от 0,95 до 1,15; продолжительность технологического перерыва от 1 до 1,5 часов. При этом ожидаемые значения физико-механических характеристик конструктивных слоев: динамический модуль упругости рабочего слоя земляного полотна - 26 МПа и выше, грунтовермикулитового слоя - 37 МПа и выше, асфальтобетонного дорожного покрытия - 45 МПа и выше.

6. Разработан и внедрен технологический регламент, закрепляющий организационные и технико-технологические решения строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита.

7. Показано, что технологический контроль является неотъемлемой частью технологического процесса строительства лесовозных дорог и может быть эффективно реализован с использованием современных информационных систем. Разработана «Подсистема технологического контроля строительства лесовозной дороги» в системе в цифровой лабораторно-информационной системы U-LAB, позволяющая повысить качество строительства лесовозных дорог, территориально расположенных в сложных природно-климатических условиях.

8. Ожидаемый экономический эффект от использования добавок из вермикулита при строительстве морозоустойчивых дорожных одежд позволяет в 2,24 раза снизить затраты на приобретение дорожно-строительных материалов, увеличить межремонтные сроки эксплуатации, а также

обеспечить снижение экологической нагрузки на лесную среду за счет отказа от использования синтетических теплоизолирующих материалов.

9. Результаты исследований и практические рекомендации внедрены в ООО «Уралвермикулит», АО «ГК «Северавтодор», что подтверждается соответствующими актами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. - М.: Наука, 1976. – 146 с.
2. Азаренок В. А Инновационный путь развития лесного комплекса Свердловской области / В. А. Азаренок, А. В. Мехренцев, Г. М. Гиреев // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса в рамках концепции 2020. Материалы VII международной научно-технической конференции. – Урал. Гос. лесотехн. Ун-т.-Екатеринбург, 2009. – С. 3–9.
3. Алексиков С. В. Проектирование оптимальных дорожных одежд из местных материалов в условиях юга РФ [Электронный ресурс]: учебное пособие / С. В. Алексиков, И. С. Алексиков, Д. Н. Симончук; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2015.
4. Алябьев, В. И. Сухопутный транспорт леса: учебник для вузов / В.И. Алябьев [и др.]. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 416 с.
5. Андреева Е.А. Вариационное исчисление и методы оптимизации. / Е.А. Андреева. - М.: Высшая школа, 2006. - 584 с.
6. Архипова Н. П. Общая характеристика природы Урала и Свердловской области. Природа Свердловской области / Н. П. Архипова. – Свердловск, 1958. – 59 с.
7. Афоничев Д. Н. Совершенствование транспортного освоения лесосырьевых баз / Д. Н. Афоничев, В. А. Морковин, П. С. Рыбников // Вестн. МГУЛ. Лесной вестник – 2012. – № 4. – С. 79–88.
8. Ахтямов Р.Я. Вермикулит - сырье для производства огнеупорных теплоизоляционных материалов // Огнеупоры и техническая керамика. - 2009. - № 1-2. - С. 58-64.
9. Ахтямов Э. Р. Повышение эксплуатационных характеристик покрытий лесных лесовозных дорог за счет добавки из вспученного вермикули-

та [Текст] / Ахтямов Э. Р., Кручинин И. Н., Побединский В. В., Кручинина Е.И. // Деревообрабатывающая промышленность. – 2021. - №2. – С. 3-10.

10. Ахтямов Э. Р. Применение вермикулита в битумных композициях и мастиках для дорожного строительства / Э.Р. Ахтямов, Е.В. Кошкаров, А.Ю. Дедюхин и др. // Вестник Южно-Уральского гос. университета. Серия «Строительство и архитектура». Вып. 1. – 2021. – С. 21-26.

11. Ахтямов Я.А. Обжиг вермикулита / Я.А. Ахтямов, В.С. Бобров, Г.В. Геммерлинг. М.: Стройиздат, 1972. – 128 с.

12. Бабков В.Ф. Проектирование автомобильных дорог / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев // Учебник для вузов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. – Ч.1. – 368 с.

13. Бархатов В. И. Отходы производств и потребления – резерв строительных материалов: монография / В. И. Бархатов, И. П. Добровольский, Ю. Ш. Капкаев. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2017. – 477 с.

14. Белоусов Б. В. Материалы для долговечных и экономичных оснований дорожных одежд. / Б. В. Белоусов: Монография, – Омск: Издательство СибАДИ, 2000. – 126 с.

15. Бургонутдинов А.М. Разработка способов строительства и ремонта лесовозных дорог, препятствующих образованию морозобойных трещин / А.М. Бургонутдинов, Б.С. Юшков // Сб. научных трудов/ Научно-технический журнал «Естественные и технические науки» № 6. – М.: Изд-во «Спутник +», 2011. – С. 25-35.

16. Бурмистрова О.Н. Нормирование основных транспортно-эксплуатационных качеств зимних лесовозных автомобильных дорог [Текст] / И.Н. Кручинин, О.Н. Бурмистрова // Лесотехнический журнал. - 2017- № 4 (28). - С. 134-140.

17. Васильев А. П. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). / М.: Инфрмавтодор, 2005. – 236 с.

18. Веселов В.В. Методика расчёта теплоизолированных фундаментов на сезонно промерзающих грунтах: дис. канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2003. – 148 с.
19. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. - М.: Наука, 1981. – 263 с.
20. ВСН 01-82 Инструкция по проектированию лесозаготовительных предприятий / Введ. 1982-11-21. – М.: ГП Информавтодор, 1983. – 184 с.
21. ВСН 24-88 Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог / Введ. – 1989.01.01 – М.: Транспорт, 1989. – 198 с.
22. ВСН 46-83 Инструкция по проектированию дорожных одежд нежёсткого типа / Минтрансстрой. – М.: Транспорт, 1985.
23. Вырко Н. П. Сухопутный транспорт леса: учебник для студентов вузов / Н. П. Вырко. – Минск: Высш. шк., 1987. – 437 с.
24. Гармаш А.Н. Математические методы в управлении / А.Н. Гармаш, И.В. Орлова. М.: ИНФРА-М, 2013. – 272 с.
25. Глушко И. М. Дорожно-строительные материалы: учебник для студентов вузов / И. М. Глушко, И. В. Королев [и др.] – М.: Транспорт, 1991. – 178 с.
26. Горелик В.А. Исследование операций и методы оптимизации: Учебник / В.А. Горелик. - М.: Academia, 2018. - 384 с.
27. Горельшев, Н. В. Асфальтобетон и другие битумноминеральные материалы: Учебное пособие. М.: Можайск – Терра, 1995, 176 с.
28. ГОСТ 12865-67 Вермикулит вспученный.
29. ГОСТ 33100-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог. Дата введения - 2016-02-01.
30. ГОСТ 33100-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог.

31. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Введ. 2016-04-01. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200141112>
32. ГОСТ 7076-99 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005006>
33. ГОСТ Р 52398-2005 Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования. Введ. 2006-01-01. – М.: Стандартинформ, 2006. – 12 с.
34. ГОСТ Р 58401.10-2019 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Методы определения объемной плотности. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200165764>
35. ГОСТ Р 58818-2020 Дороги автомобильные с низкой интенсивностью движения. Проектирование, конструирование и расчет.
36. Государственный доклад об повышении эффективности лесного комплекса в Российской Федерации в 2013 году. // Режим доступа: URL: [https://www.novreg.ru/vlast/governor/docs/Doklad_o_povyshenii_jeffektivnosti_le snogo_kompleksa.pdf](https://www.novreg.ru/vlast/governor/docs/Doklad_o_povyshenii_jeffektivnosti_le_snogo_kompleksa.pdf)
37. Грушко И. М. Дорожно-строительные материалы / И. М. Грушко, И. В. Королёв, И. М. Борщ, Г. М. Мищенко – М: Транспорт, 1991 – 357 с.
38. Дороги и транспорт лесной промышленности: справ. пособие. / И. И. Леонович [и др.] – Минск: Высш. шк., 1979. – 416 с.
39. Дорожный асфальтобетон /Н.В. Горельшев, А.М. Богуславский, И.В., Л.Б. Гезенцвей, И.В. Королев. – 2-е изд., перераб и доп. - М.: Транспорт, 1985.- 350 с.
40. Земельный кодекс РФ / текст с изм. и доп. на 10 мая 2011 г. М.: ЭКСМО, 2011. – 160 с.

41. Измаилов, А.Ф. Численные методы оптимизации / А.Ф. Измаилов, М.В. Солодов. - М.: Физматлит, 2008. - 320 с.
42. Ильин Б.А. Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог / Б.А. Ильин, Б.И. Кувалдин. – М.: Лесн.пром-сть, 1982. – 384 с.
43. Ильин Б. А. Основы размещения лесовозных дорог в сырьевых базах лесозаготовительных предприятий: лекции для студентов специальности 0901 / Б. А. Ильин. – Л.: ЛТА, 1987. – 64 с.
44. Исследование зол уноса Рефтинской ГРЭС с целью применения в дорожном строительстве / Кошкаров Е.В., Черняк Р.Д., Шаламова Е.Н. и др. // Материалы XXV Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». 07-10 апреля 2020 г. – Екатеринбург: УГ-ГУ, Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2020. – С. 259-266.
45. Исследование и разработка новой технологии производства вспученного вермикулита. Ахтямов Я.А.: дисс. канд. техн. наук: 05.00.00. - Челябинск, 1970. - 221 с.
46. Кирюхин Г.Н. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона / Г.Н. Кирюхин, Е.А. Смирнов // М.: ООО Издательство «Элит». -2009. 176 с.
47. Киселёв М.Ф. Борьба с пучинами на автомобильных дорогах / М.Ф.Киселёв. - М.: Стройиздат, 2001.-200 с.
48. К вопросу промышленной классификации вермикулитовых руд / Р.Я. Ахтямов // Огнеупоры и техническая керамика. - 2012. - № 1-2. - С. 73-77.
49. Корочкин А.В. Проектирование нежестких дорожных одежд, Учебное пособие. М.: МАДИ, 2005. – 130 с.
50. Костельков М. П., Пахаренко Д. В. Опыт фирмы «ВАД» по устройству плотных, прочных и жестких щебеночных дорожных оснований. //Дорожная техника. – 2006. – №1. – С. 12-23.
51. Кручинин И. Н. Повышение эксплуатационного состояния лесовозных автомобильных дорог // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2012. №3.

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-ekspluatatsionnogo-sostoyaniya-lesovoznyh-avtomobilnyh-dorog>

52. Кручинин И. Н. Повышение транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог при освоении лесосырьевых баз многолесных регионов: дис.. д-р. техн. наук: 05.21.01 / И. Н. Кручинин. – Воронеж, 2017. – 350 с.

53. Кручинин И. Н. Транспортно-производственная система лесного комплекса / И. Н. Кручинин / Монография / Урал. гос. Лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2010 – 155 с.

54. Курьянов В.К. Повышение транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог лесопромышленного комплекса / В. К. Курьянов, О. Н. Бурмистрова, Д. Н. Афоничев. – Воронеж: изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. – 176 с.

55. Леонович И. И. Применение реологических моделей к расчету дорожных одежд / И.И. Леонович [и др.]. – М.: Наука и техника, 1971. – 203 с.

56. Лесной кодекс Российской Федерации» от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 02.07.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2021) [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/

57. Лесной план Свердловской области на 2019–2028 годы. Утвержден Указом Губернатора Свердловской области от 18 сентября 2019 г. N 450-УГ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://www.pravo.gov66.ru/media/pravo/450-%D0%A3%D0%93_HVdmR5Z.pdf

58. Методические рекомендации по проектированию временных автомобильных дорог на строительных площадках. ЗАО «ПРОМТРАНСНИИ-ПРОЕКТ». – Утвержден Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – М. – 109 с.

59. Методические рекомендации по проектированию и устройству теплоизоляционных слоев дорожной одежды из пенополистирольных плит «Пеноплэкс»/ РОСАВТОДОР.- М.- 2001.- 26 с

60. Методические указания по проектированию морозозащитных и дренирующих слоев в основании проезжей части автомобильных дорог. – М.: Минтрансстрой, 1965. – 52 с.],

61. Моделирование в электроэнергетике. Метод приведенного градиента дата обращения. Режим доступа <http://simenergy.ru> (дата обращения 19.07.2021).].

62. Морозов С. И. Зимние дороги в лесной промышленности / С. И. Морозов, Ф. А. Павлов, Л. Н. Плакса, Э. Н. Савельев. – М.: Лесная промышленность, 1969. – 168 с.

63. Неволин Д. Г. Инновационные технологии проектирования и строительства автомобильных дорог: монография / Д. Г. Неволин, В. Н. Дмитриев, Е. В. Кошкарлов [и др.]; под ред. Д. Г. Невוליной, В. Н. Дмитриевой; Авторский коллектив: Д. Г. Неволин, В. Н. Дмитриев, Е. В. Кошкарлов, С. А. Чудинов, Н. А. Гриневич, И. Н. Кручинин, С. Г. Кривошеев, А. С. Скрипкин, В. Е. Кошкарлов, Е. Н. Шаламова, В. Л. Бутенко. – Екатеринбург: УрГУПС, 2015. – 291с.

64. Немчинов М. В. Охрана окружающей природной среды при проектировании и строительстве автомобильных дорог: учеб. пособие / М. В. Немчинов, В. Г. Систер, В. В. Силкин; – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 240 с.

65. ОДМ 218.2.061-2015 Рекомендации по определению теплофизических свойств дорожностроительных материалов и грунтов. – Введ. 2016-01-18. – М.: Стандартинформ, 2018. – 78 с.

66. ОДН 218.046-01 Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд. Введ. 2001-01-01. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200141112>

67. ОДН 218.1.052-02 Проектирование нежестких дорожных одежд / Союздорнии. – Введ. с 2002-01-01. – М.: Информавтодор. 2002.
68. Павлов Ф.А. Покрытие лесных дорог / Ф.А. Павлов. - М.: Лесная промышленность, 1980. – 176 с.
69. Пособие по проектированию и устройству теплоизолирующих слоев из пенополистирольных экструзионных плит «Технониколь XPS» в дорожных конструкциях. М.-2018.- 44с
70. Постановление Правительства Свердловской области от 14.06.2011 N 737-ПП (ред. от 12.04.2016) «Об утверждении Перечня автомобильных дорог общего пользования регионального значения Свердловской области» [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL:http://https://wiki.openstreetmap.org/w/images/0/0c/65._%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D1%8C_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B3.pdf
71. Починков С. В. Концепции сырьевого обеспечения развития российского ЛПК на период 2008–2020 гг. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://www.wood.ru/ru/loa688.html>
72. Прокопьев А. П. Методы управления технологическими процессами строительства асфальтобетонных покрытий: монография / А. П. Прокопьев, Р. Т. Емельянов, В. И. Иванчура. — 2-е изд. — Красноярск : СФУ, 2012. — 256 с.
73. Радовский Б. С. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей /Б. С. Радовский, А. С. Супрун, И. И. Козаков. Издательство «Будівельник». Киев. 1989, – 186 с.
74. Рувинский В.И. Эффективность применения пенопласта STYROFOAM в дорожном строительстве России / В.И. Рувинский. – М.: Транспорт, 1996 – 72 с.
75. Руденский А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия / А.В. Руденский. – М.: Транспорт, 1992. – 213 с.

76. Руководство по эксплуатации электронного динамического плот-номера грунта с легким падающим грузом ZORN ZFG 3.0 / Научно-производственное предприятие «АНАЛИТПРОМПРИБОР», 2011. – 29 с.

77. Савельев, В. В. Обоснование типа и конструкций одежд лесовоз-ных автомобильных дорог: Дис... докт. техн. наук. / МарГТУ, науч. консуль-тант Ю. А. Ширнин. – Йошкар-Ола, 2006. – 516 с.: ил.

78. Салихов М.Г. О нетрадиционных технологиях производства и укладки дорожно-строительных материалов в лесной зоне / М.Г. Салихов, С.Я. Алибеков, В.П. Сапцин, Е.В. Вайнштейн, Ю.Е. Щербаков // Лес. Эколо-гия. Природопользование: Вестник МарГТУ. – Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ 2007. - № 1. – С. 76-81.

79. Салминен Э. О. Транспорт леса: В 2 т. Т. 1 Сухопутный транс-порт: учебник / Под ред. Салминена Э. О. (1-е изд.). – М.: Академия, 2009. – 368 с.

80. Салминен, Э.О. О расчете нежестких дорожных одежд с учетом упругих и пластических деформаций [Текст] / Э. О. Салминен // Лесной жур-нал. вып.1. – Архангельск, 1977 – С. 154-157.

81. Свинтицких Л.Е. Влияние дисперсности вспученного вермикулита на свойства битумного вяжущего и асфальтобетона [Текст] / Л.Е. Свинтиц-ких, Т.Н. Шабанова, А.А. Клюсов, В.Н. Агейкин // Строительные материалы. 2004. № 9. С. 32–33.

82. Скрыпников А. В. Повышение надёжности технического состоя-ния парка подвижного состава, специализирующегося на перевозке лесных грузов: монография /А. В. Скрыпников, Е. В. Кондрашова, К. А. Яковлев. – М.: ФЛИНТА, 2013. –152 с.

83. Славуцкий А. К. Дорожные одежды из местных материалов / Под ред. А. К. Славуцкого. Изд. 2-ое перераб. и доп / А. К. Славуцкий, В. Г. Вол-ков, Б. И. Кувалдин, В. А. Ногай, Г. А. Ромаданов, О .И. Славуцкий// М. «Транспорт», 1977, -264с

84. Смирнов М. Ю. Повышение эффективности вывозки лесоматериалов автопоездами: научное издание / М. Ю. Смирнов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 280 с.

85. СП 243.1326000.2015 Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения М.: ФАУ «РОСДОРНИИ». – 2015. – 116 с.

86. СП 288.1325800.2016 Дороги лесные. Правила проектирования и строительства (с Изменением N 1) Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2017. – 114 с.

87. СП 313.1325800.2017 Дороги автомобильные в районах вечной мерзлоты. Правила проектирования и строительства. [Электронный ресурс]. Режим доступа:

URL: <https://docs.cntd.ru/document/556794133?marker=7D20K3>

88. СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги». Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* М.: ФАУ «ФЦС». – 2013. – 107 с.

89. СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85. * М.: ФАУ «ФЦС». – 2013. – 67 с.

90. Справочная энциклопедия дорожника. Т. III : Дорожно-строительные материалы / под ред. Быстрова Н.В. – М.: «Информавтодор», 2005. – 465 с.

91. СТО НОСТРОЙ 2.25.29-2011. Устройство оснований дорожных одежд. Часть 1. Строительство дополнительных слоев оснований дорожных одежд.- СРО НП «МОД «СОЮЗДОРСТРОЙ».- М.-2012.- 16 с

92. Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 сентября 2018 г. № 1989-р. [Электронный ресурс]. Режим доступа:

URL:

<http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdlxID77KCTL.pdf>

93. Стратегия природопользования и экологической безопасности Свердловской области на период до 2035 года. Утверждена постановлением Правительства Свердловской области от 28.05.2020 № 353-ПП «Об утверждении Стратегии природопользования и экологической безопасности Свердловской области на период до 2035 года. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/570798035>

94. Стратегия развития лесного фонда Свердловской области на период до 2035 года. Утверждена постановлением Правительства Свердловской области от 02.04.2020 № 205-ПП «Об утверждении Стратегии развития лесного фонда Свердловской области на период до 2035 года». [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/570723208>

95. Сухопутный транспорт леса / В.И. Алябьев, Б.А. Ильин, Б.И. Кувалдин, Г.Ф. Грехов. - М.: Лесн.пром-сть, 1990. – 416 с.

96. Технологические правила и карты строительства лесовозных автомобильных дорог: В 2 т. Т. 2 Технологические карты. – Л.: ГИПРОЛЕСТРАНС, 1975. – 206 с.

97. Технологический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.03-96-2008 (02250). Автомобильные дороги низших категорий. Правила проектирования. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь.-Минск, 2008.-17 с.

98. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года №1734-р [Электронный ресурс] // Режим доступа: URL: http://strategy2030.midural.ru/sites/default/files/files/transportnaya_strategiya_rossiyskoj_federacii_na_period_do_2030_goda_0.pdf

99. Тулаев А. Я. Конструкция и расчет дренажных устройств: учебник / А. Я. Тулаев – М.: Транспорт, 1980. – 191 с.

100. Цитович Н. Я. Механика грунтов / Н. Я. Цитович. – М.: Высшая школа, 1973. – 272 с.

101. Bindu C. S. et al. Waste plastic as a stabilizing additive in Asphalt Stone Mastic/ International Journal of Engineering and Technology Vol.2 (6), 2010, 379-387.

102. Breysse, D. A new approach for investigating the permanent deformation behavior of unbound granular material using the repeated load triaxial apparatus / D. Breysse, A. Denis // Bulletin Des Laboratoires Des Ponts et Chaussées. – 233 – July-August. – 2001. – RÉF. – 4359. – P. 5–21.

103. Brown, E.R., Haddock, John E., Mallick, Rajib B. and Lynn, T.A.(1997a), Development of a Mixture Design Procedure for Stone Matrix Asphalt (SMA), Asphalt Paving Technology 1997 - Journal of the Asphalt Paving Technologists, Volume 66, pp 1- 25.

104. Environmentally Sensitive Maintenance Practices for Dirt and Gravel Roads/ United States Department of Agriculture. Forest Service. National Technology & Development Program.7700 -Transportation Management 1177 1802—SDTDC April 2012.-283 p

105. Guide, A. To the Structural Design of Bituminous-Surfaced Roads in Tropical and Subtropical Countries. Road Note 31, London, HMSO, 1977.

106. Hossain, Zahid. Evaluation of Rheological Properties of Asphalt Binders for Pavement Design Applications, : CEES Ph.D. Dissertation Defense / Hossain Zahid. – Wednesday, April 20, 2011

107. Huerne, H. L. Compaction of asphalt road pavements: Ph.D. dissertation, University of Twente, Enschede / Huerne H. L. – The Netherlands, 2004.

108. Hyung-gyu, J. et al. Dynamic load and inflation pressure effects on contact pressures of a forestry forwarder tire / J.Hyung-gyu, R. Thomas, W.B. Löfgren, M. Landström, C. A. Bailey, E. C. Burt, T. P. McDonald // Journal of Terramechanics, October. –2004. – Volume 41. – Issue 4. – P. 209–222.

109. Joao, S. et al. A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework By / S. Joao, F. Adelino, F. Gerardo // International Journal of Pavement Engineering, March. – 2015. – Volume 16. Issue 3. –P. 268–286.

110. Labelle, R. Soil Compaction Caused by Cut-to-Length Forest Operations and Possible Short-Term Natural Rehabilitation of Soil Density / E. R. Labelle, D. Jaeger // Soil Science Society of America Journal. – 2011. – Vol.75. – No.6. – P. 2314–2329.
111. MATLAB® & Simulink® Release Notes for R2008a.-URL: <http://www.mathworks.com>.
112. Michalowski R.L. Frost heave modeling using porosity rate function / R.L. Michalowski, Z. Ming // International journal for numerical and analytical methods in geomechanics. – 2006. – p. 703-722.
113. NAPA (1998), Designing and Constructing SMA Mixtures – State-of-the- Practice, National Asphalt Pavement Association, Quality Improvement Series 122, USA.
114. Özgan, E. et al. Multi-faceted investigation and modeling of compaction parameters for road construction / E. Özgan, S. Serin, İ. Vural // Journal of Terramechanics, August. –2015. – Volume 41. – Issue 4. / Electronic recourse / – mode access: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2015.02.005>.
115. Paje, S.E.; Vázquez, V.F.; Terán, F.; Viñuela, U.; Hidalgo, M.E.; Costa, A.; Loma, J.; Cervantes, R.; Lanchas, S.; Hergueta, J.A.; et al. Field performance evaluation of stone mastic asphalt with crumb rubber. In Proceedings of the 42nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2013, INTER-NOISE 2013: Noise Control for Quality of Life, Innsbruck, Austria, 15–18 September 2013; Austrian Noise Abatement Association: Innsbruck, 2013; p. 536.
116. Pavement structure design guidelines. Technical Circular T-01/15 / British Columbia. Ministry of Transportation and Infrastructure/ Final Update: Jan. 26, 2015
117. Redelius, P. G. (2006). The structure of asphaltenes in bitumen. Road Materials and Pavement Design, 7 (sup1), pp 143-162.
118. RLW - 99 Richtlinien für den ländlichen Wegebau.- VSVI Seminar, 2010.- Linstow.-25 s.

119. Siripun, K. et.al. 2011 Mechanical Behavior of Unbound Granular Road Base Materials under Repeated Cyclic Loads / K. Siripun, H. Nikraz, P. Jitsangiam //International Journal of Pavement Research and Technology, Jan. – 2011. – Vol.4. – No.1. – P. 56–66.

120. Tan, J. Planning a forest road network by spatial data handling-network routing system / Ph.D. dissertation, Helsinki. – 1992. – 226 p.

121. TFH61-07-C-0032. (2011) Accelerated Implementation of Intelligent Compaction Technology for Embankment Subgrade Soils, Aggregate Base, and Asphalt Pavement Materials: Final Report. Federal Highway Administration. Report No. FHWA-IF-12-002. – Washington, D.C., July 2011. – 263 p. Wearing Course Material, Transport Research Laboratory Project Report 65.

122. Thompson, M. P. Contemporary Forest Road management with economic and environmental objectives / M.P. Thompson // PhD Dissertation, Oregon State University, Pro Quest Dissertations Publishing. – 2009. – 284 p.

123. TRC-0302. AASHTO 2002. Pavement design guide design input evaluation study/ Kevin D. Hall, Steven Beam, and Meng Lee/ University of Arkansas Fayetteville, Arkansas 72701, June 2006.

124. Wasterlund, I. Extent and causes of site damage due to forestry traffic / I. Wasterlund // Scandinavian Journal of Forest Research. – 1992. – V. 7. – № 1. – P. 135–142.

125. Wolff, H. and Visser, A.T. 1994 Incorporating elasto-plasticity in granular layer pavement design / H. Wolff, A.T. Visser // Transportation Engineering. – 1994. –Vol. 105. – P. 259–272.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Транспортная инфраструктура трансграничных лесов Евразии
(на примере Свердловской области)

Таблица А.1 – Структура лесовозных дорог Свердловской области.

Наименование лесничества	Виды дорог	Протяженность, км					
		Итого	В том числе				
			Типы лесохозяйственных дорог			Лесовозные	Общего Поль- зования
			1	2	3		
1	2	3	4	5	6	7	8
Алапаевское	Дороги, в с е г о	2880	122	969	1268	99	422
	в том числе:	83	50	0	0	26	7
	а) железные						
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	1928	58	511	889	61	409
	из них	55	2	1	1	2	49
	с твердым покрытием						
	грунтовые	1873	56	510	888	59	360
	в т.ч. круглогодого действия	621	10	326	232	6	47
	в) зимники	869	14	458	379	12	6
Байкаловское	Дороги, в с е г о	661	22	80	513	37	9
	в том числе:	0	0	0	0	0	0
	а) железные						
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	658	22	80	513	34	9
	из них	11	0	0	0	2	9
	с твердым покрытием						
	грунтовые	647	22	80	513	32	0
	в т.ч. круглогодого действия	184	6	19	159	0	0
в) зимники	3	0	0	0	3	0	

1	2	3	4	5	6	7	8
Березовское	Дороги, в с е г о	1352	71	229	729	45	278
	в том числе:	0	0	0	0	0	0
	а) железные						
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	1296	71	226	726	11	265
	из них	104	4	8	3	0	89
	с твердым покрытием						
	грунтовые	1192	67	218	720	11	176
	в т.ч. круглогодочного действия	633	56	197	509	4	103
в) зимники	56	0	3	6	34	13	
Билимбаевское	Дороги, в с е г о	1777	56	176	1018	140	387
	в том числе:	0	0	0	0	0	0
	а) железные						
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	1728	52	173	1001	140	362
	из них	209	21	0	6	16	166
	с твердым покрытием						
	грунтовые	1519	31	173	995	124	196
	в т.ч. круглогодочного действия	144	5	15	93	10	21
в) зимники	49	4	3	17	0	25	
Верх-Исетское	Дороги, в с е г о	367	8	136	77	10	136
	в том числе:	46	0	0	0	0	46
	а) железные						
	из них широкой колеи	46	0	0	0	0	46
	б) автомобильные	311	8	136	77	0	90
	из них	98	8	0	0	0	90
	с твердым покрытием						
	грунтовые	213	0	136	77	0	0
	в т.ч. круглогодочного действия	213	0	136	77	0	0
в) зимники	10	0	0	0	10	0	
Верхотурское	Дороги, в с е г о	2667	99	275	1572	98	625
	в том числе:	13	0	0	0	0	13
	а) железные						
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	2620	85	261	1568	94	612
	из них	173	17	0	20	16	120
	с твердым покрытием						
	грунтовые	2447	68	261	1548	78	492
	в т.ч. круглогодочного действия	339	9	1	72	0	257
в) зимники	34	14	14	4	2	0	

1	2	3	4	5	6	7	8
Гаринское	Дороги, в с е г о	895	130	0	0	530	235
	в том числе:	0	0	0	0	0	0
	а) железные						
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	365	130	0	0	0	235
	из них	130	130	0	0	0	0
	с твердым покрытием						
	грунтовые	235	0	0	0	0	235
	в т.ч. круглогодочного действия	0	0	0	0	0	0
в) зимники	530	0	0	0	530	0	
Егоршинское	Дороги, в с е г о	1245	41	191	724	59	230
	в том числе:	105	0	0	0	0	105
	а) железные						
	из них широкой колеи	105	0	0	0	0	105
	б) автомобильные	1087	41	191	724	6	125
	из них	125	0	0	0	0	125
	с твердым покрытием						
	грунтовые	962	41	191	724	6	0
в т.ч. круглогодочного действия	39	7	0	32	0	0	
в) зимники	53	0	0	0	53	0	
Ивдельское	Дороги, в с е г о	8390	1044	1186	3429	2136	595
	в том числе:	308	0	0	0	303	5
	а) железные						
	из них широкой колеи	5	0	0	0	0	5
	б) автомобильные	5415	710	751	2633	863	458
	из них	296	81	54	4	49	108
	с твердым покрытием						
	грунтовые	5119	629	697	2629	814	350
в т.ч. круглогодочного действия	1413	165	225	786	79	158	
в) зимники	2667	334	435	796	970	132	
Камышловское	Дороги, в с е г о	1590	41	361	410	15	763
	в том числе:	42	0	0	0	0	42
	а) железные						
	из них широкой колеи	42	0	0	0	0	42
	б) автомобильные	1527	41	341	410	14	721
	из них	230	0	0	0	8	222
	с твердым покрытием						
	грунтовые	1297	41	341	380	6	499
	в т.ч. круглогодочного действия	92	6	0	75	0	11
в) зимники	21	0	20	0	1	0	

1	2	3	4	5	6	7	8
Карпинское	Дороги, в с е г о	27117	867	5092	10735	2028	8395
	в том числе:	360	0	0	0	0	360
	а) железные						
	из них широкой колеи	360	0	0	0	0	360
	б) автомобильные	26341	728	4997	10635	1997	7984
	из них	1949	12	12	3	270	1349
	с твердым покрытием						
	грунтовые	24392	713	4985	10632	1427	6635
	в т.ч. круглогодого действия	8124	128	319	1103	314	6260
в) зимники	416	139	95	100	31	51	
Красноуфимс кое	Дороги, в с е г о	2753	295	462	1575	230	191
	в том числе:	50	0	0	0	0	50
	а) железные						
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	2658	295	459	11572	191	141
	из них	137	32	1	5	9	90
	с твердым покрытием						
	грунтовые	2521	263	458	1567	182	51
в т.ч. круглогодого действия	404	79	146	78	61	40	
в) зимники	45	0	3	3	39	0	
Кушвинское	Дороги, в с е г о	16894	362	1320	3827	1442	9943
	в том числе:	254	0	0	0	236	18
	а) железные						
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	16195	317	1290	3794	1180	9614
	из них	975	4	3	1	2	965
	с твердым покрытием						
	грунтовые	15220	313	1287	1356	21	6272
в т.ч. круглогодого действия	6779	104	250	108	21	6198	
в) зимники	445	45	30	33	26	311	
Невьянское	Дороги, в с е г о	1938	68	249	1287	35	299
	в том числе:	54	0	0	0	0	54
	а) железные						
	из них широкой колеи	25	0	0	0	0	25
	б) автомобильные	1866	68	249	1287	17	245
	из них	213	0	0	0	0	213
	с твердым покрытием						
грунтовые	1653	68	249	1287	17	32	

1	2	3	4	5	6	7	8
	в т.ч. круглогодичного действия	330	17	50	246	17	0
	в) зимники	18	0	0	0	18	0
	Дороги, в с е г о	2964	163	422	1535	320	524
	в том числе:	104	0	0	0	0	104
	а) железные						
	из них широкой колеи	104	0	0	0	0	104
	б) автомобильные	2860	163	422	1535	320	420
	из них	485	18	0	0	220	247
	с твердым покрытием						
	грунтовые	2375	145	422	1535	100	173
	в т.ч. круглогодичного действия	347	44	35	102	37	129
	в) зимники	0	0	0	0	0	0
	Дороги, в с е г о	3707	173	1145	1462	289	638
	в том числе:	0	0	0	0	0	0
	а) железные						
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	3491	171	1094	1375	253	598
	из них	324	24	0	4	103	193
	с твердым покрытием						
	грунтовые	3167	147	1094	1371	150	405
	в т.ч. круглогодичного действия	1452	37	706	402	21	286
	в) зимники	216	2	51	87	36	40
	Дороги, в с е г о	3913	354	1141	1562	491	365
	в том числе:	0	0	0	0	0	0
	а) железные						
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	3595	291	1012	1470	459	363
	из них	173	61	11	7	5	89
	с твердым покрытием						
	грунтовые	3422	230	1001	1463	454	274
	в т.ч. круглогодичного действия	1568	54	615	594	93	212
	в) зимники	318	63	129	92	32	2
	Дороги, в с е г о	787	8	55	499	27	198
	в том числе:	0	0	0	0	0	0
	а) железные						
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	787	8	55	499	27	198
	из них	198	0	0	0	0	198
	с твердым покрытием						
	грунтовые	589	8	55	499	27	0
	в т.ч. круглогодичного действия	27	0	0	0	27	0

1	2	3	4	5	6	7	8
	в) зимники	0	0	0	0	0	0
Свердловское	Дороги, в с е г о	923	49	47	813	0	14
	в том числе:	0	0	0	0	0	0
	а) железные						
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	923	49	47	813	0	14
	из них	39	26	2	2	0	9
	с твердым покрытием						
	грунтовые	884	23	45	811	0	5
	в т.ч. круглогодочного действия	671	8	23	637	0	3
	в) зимники	0	0	0	0	0	0
Серовское	Дороги, в с е г о	2422	0	0	0	2099	323
	в том числе:	307	0	0	0	179	128
	а) железные						
	из них широкой колеи	128	0	0	0	0	128
	б) автомобильные	1644	0	0	0	1449	195
	из них	114	0	0	0	0	114
	с твердым покрытием						
	грунтовые	1530	0	0	0	1449	81
	в т.ч. круглогодочного действия	44	0	0	0	2	42
	в) зимники	471	0	0	0	471	0
Синячихинское	Дороги, в с е г о	30823	773	3388	13783	3564	9315
	в том числе:	1833	85	0	0	332	1416
	а) железные						
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	23390	486	3053	12250	2283	5318
	из них	120	0	0	0	0	120
	с твердым покрытием						
	грунтовые	23270	486	3053	12250	2283	5198
	в т.ч. круглогодочного действия	4613	0	27	1226	77	3283
	в) зимники	5600	202	335	1533	949	2581
Сотринское	Дороги, в с е г о	3947	77	490	2301	831	248
	в том числе:	315	0	0	0	205	110
	а) железные						
	из них широкой колеи	110	0	0	0	0	110
	б) автомобильные	1331	28	149	870	146	138
	из них	90	0	0	0	0	90
	с твердым покрытием						
	грунтовые	1241	28	149	870	146	48
	в т.ч. круглогодочного действия	178	3	3	123	1	48
	в) зимники	2301	49	341	1431	480	0

1	2	3	4	5	6	7	8
Сухоложское	Дороги, в с е г о	1309	58	119	777	68	287
	в том числе:	16	0	0	0	0	16
	а) железные						
	из них широкой колеи	16	0	0	0	0	16
	б) автомобильные	1266	57	100	771	68	270
	из них	66	0	55	0	0	11
	с твердым покрытием						
	грунтовые	1200	57	45	771	68	259
	в т.ч. круглогодического действия	527	33	37	180	68	209
в) зимники	27	1	19	6	0	1	
Сысертское	Дороги, в с е г о	2276	155	208	1645	33	235
	в том числе:	50	0	0	0	0	50
	а) железные						
	из них широкой колеи	50	0	0	0	0	50
	б) автомобильные	2199	153	205	1639	17	185
	из них	191	22	15	69	0	85
	с твердым покрытием						
	грунтовые	2008	131	190	1570	17	100
	в т.ч. круглогодического действия	621	83	74	439	9	16
в) зимники	27	2	3	6	16	0	
Таборинское	Дороги, в с е г о	908	0	45	0	414	449
	в том числе:	0	0	0	0	0	0
	а) железные						
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	443	0	45	0	69	329
	из них	75	0	0	0	0	75
	с твердым покрытием						
	грунтовые	368	0	45	0	69	254
в т.ч. круглогодического действия	246	0	0	0	0	246	
в) зимники	465	0	0	0	345	120	
Тавдинское	Дороги, в с е г о	2204	91	234	942	541	396
	в том числе:	1	0	0	0	0	1
	а) железные						
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	1638	60	181	760	250	387
	из них	114	3	1	0	76	34
	с твердым покрытием						
	грунтовые	1524	57	180	760	174	353
в т.ч. круглогодического действия	702	25	84	279	67	247	

1	2	3	4	5	6	7	8
	в) зимники	565	31	53	182	291	8
	Дороги, в с е г о	1330	37	97	1060	41	95
	в том числе:						
	а) железные	0	0	0	0	0	0
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	1330	37	97	1060	41	95
	из них	13	0	0	0	0	13
	с твердым покрытием						
	грунтовые	1317	37	97	1060	41	82
	в т.ч. круглогодического действия	644	21	58	551	5	9
	в) зимники	0	0	0	0	0	0
	Дороги, в с е г о	1378	70	247	716	3	342
	в том числе:						
	а) железные	34	0	0	0	2	32
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	1338	70	245	714	1	308
	из них	0	0	0	0	0	0
	с твердым покрытием						
	грунтовые	1338	70	245	714	1	308
	в т.ч. круглогодического действия	737	63	140	322	0	212
	в) зимники	6	0	2	2	0	2
	Дороги, в с е г о	1064	0	0	610	323	131
	в том числе:						
	а) железные	206	0	0	0	165	41
	из них широкой колеи	41	0	0	0	0	41
	б) автомобильные	700	0	0	610	0	90
	из них	54	0	0	0	0	54
	с твердым покрытием						
	грунтовые	646	0	0	610	0	36
	в т.ч. круглогодического действия	133	0	0	129	0	4
	в) зимники	158	0	0	0	158	0
	Дороги, в с е г о	3786	212	843	1774	88	869
	в том числе:						
	а) железные	42	0	0	0	0	42
	из них широкой колеи	42	0	0	0	0	42
	б) автомобильные	3734	209	838	1772	88	827
	из них	329	77	6	8	16	222
	с твердым покрытием						
	грунтовые	3405	132	832	1764	72	605
	в т.ч. круглогодического действия	653	7	14	77	23	532

Таблица А.2 – Характеристика лесных земель лесного фонда на территории Свердловского лесничества

Наименование категории земель	Площадь, га	Процент
1. Общая площадь земель лесного фонда	138138	100
2. Лесные земли - всего	129932	94,1
2.1. Покрытые лесной растительностью земли - всего	125318	90,8
2.1.1. В том числе лесные культуры	13780	10
2.2. Не покрытые лесной растительностью земли - всего	4614	3,3
в том числе:		
несомкнувшиеся лесные культуры	1387	1
лесные питомники, плантации	70	0,1
естественные редины	23	
фонд лесовосстановления - всего	3134	2,2
в том числе: гари	256	0,2
погибшие древостой	56	
вырубки	2621	1,9
прогалины, пустыри	201	0,1

Таблица А.3 – Обеспеченность лесотранспортными путями трансграничных лесов на территории Свердловской области, на период действия лесного плана с 2019 до 2028 годы

Номер строки	Наименование лесничества, лесопарка	Протяженность дорог (за 2019 год) (км)					Плотность дорог (за 2019 год) (км/тыс. га)	Протяженность на последний год периода действия лесного плана Свердловской области (2028 год) (км)					Плотность дорог на последний год периода действия лесного плана Свердловской области (2028 год) (км/тыс. га)
		железных	с твердым покрытием	автомобильных		всего		железных	с твердым покрытием	автомобильных		всего	
				круглогодичного действия	ЗИМНИКИ					круглогодичного действия	ЗИМНИКИ		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.	Алапаевское	293	201	783	2056	3333	6,9	293	224	805	2081	3403	7,0
2.	Байкаловское	0	456	895	1216	2567	10,4	0	456	901	1231	2588	10,4
3.	Березовское	37	201	633	578	1449	10,4	37	238	665	578	1518	10,9
4.	Билимбаевское	218	342	282	1410	2252	9,4	218	342	282	1410	2252	9,4
5.	Верх-Исетское	18	75	122	0	215	16,2	18	75	122	0	215	16,2
6.	Верхотурское	115	215	339	666	1335	3,3	115	272	361	666	1414	3,5
7.	Гаринское	0	40	140	982	1162	0,7	0	40	160	992	1192	0,8
8.	Егоршинское	205	198	228	876	1507	9,5	205	198	241	876	1520	9,6
9.	Ивдельское	308	336	1661	6401	8706	3,5	308	336	1782	6401	8827	3,5
10.	Ирбитское	81	357	559	785	1782	7,2	81	436	574	785	1876	7,6
11.	Камышловское	72	243	242	1197	1754	10,0	72	249	254	1225	1800	10,2
12.	Карпинское	151	502	3049	2317	6019	6,8	151	545	3049	2317	6062	6,8
13.	Красноуфимское	101	152	404	2111	2768	6,5	101	183	422	2111	2817	6,6
14.	Кушвинское	229	396	1193	2341	4159	8,0	229	415	1231	2341	4216	8Д
15.	Невьянское	106	405	432	1289	2232	9,7	106	416	458	1302	2282	10,0
16.	Нижне-Сергинское	176	485	347	1956	2964	7,5	176	495	347	1956	2974	7,5
17.	Нижне-Тагильское	98	328	1142	1470	3038	5,4	98	328	1200	1470	3096	5,5
18.	Ново-Лялинское	52	173	1568	2120	3913	6,4	52	173	1568	2160	3953	6,5
19.	Режевское	36	198	127	526	887	7,2	36	205	127	593	961	7,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
20.	Свердловское	211	239	439	261	1150	8,3	211	239	439	261	1150	8,3
21.	Серовское	145	114	244	2119	2622	6Д	145	124	254	2119	2642	6,2
22.	Синячихинское	9	212	461	2600	3282	6,8	9	212	461	2600	3282	6,8
23.	Сотринское	190	238	178	3487	4093	5,3	190	238	178	3487	4093	5,3
24.	Сухоложское	173	333	527	543	1576	7,6	173	349	527	543	1592	7,6
25.	Сысергское	93	351	621	1412	2477	9,1	93	351	621	1412	2477	9,1
26.	Таборинское	0	275	246	777	1298	1,2	0	275	320	777	1372	1,3
27.	Тавдинское	132	171	1026	1437	2766	4,9	132	171	1026	1471	2800	5,0
28.	Талицкое	49	298	1254	339	1940	8,3	49	298	1254	339	1940	8,3
29.	Тугулымское	102	244	442	590	1378	6,0	102	254	442	602	1400	6,1
30.	Туринское	79	254	133	647	1113	2,6	79	254	200	655	1188	2,8
31.	Шалинское	179	329	632	2604	3744	8,2	179	329	632	2604	3744	8,2
32.	Всего	3658	8361	20 349	47 113	79 481	5,2	3658	8720	20 903	47 365	80 646	5,3

Таблица А.4 – Границы дорожно-климатических зон и подзон Российской Федерации (по ОДН 218.046-01 Проектирование нежестких дорожных одежд)

Дорожно-климатическая зона и подзона	Примерные географические границы
1	2
I	Севернее линии, соединяющей Нивский - Сосновку - Новый Бор - Щельябож - Сыню - Суеватпуль - Белоярский - Ларьяк - Усть-Озерное - Ярцево - Канск - Выезжий Лог - Усть - Золотую - Сарыч - Сеп - Новоселово - Иню - Артыбаш - государственную границу - Симоново - Биробиджан - Болонь - Многовершинный. Включает географические зоны тундры, лесотундры и северо-восточную часть лесной зоны с распространением вечномерзлых грунтов
II1	Расположена севернее линии Нарьян-Мар - Салехард - Курейка - Трубка Удачная - Верхоянск - Дружина - Горный Мыс - Марково
II2	Расположена восточнее линии устье р. Нижней Тунгуски - Ербогачен, Ленск - Бодайбо - Богдарин и севернее линии Могоча - Сквородино - Зах - Охотск - Палатка - Слаутское. Ограничена с севера II подзоной
II	От границы I зоны до линии, соединяющей Львов - Житомир - Тулу - Н. Новгород - Ижевск - Томск - Канск. На Дальнем Востоке от границы I зоны до государственной границы. Включает географическую зону лесов с избыточным увлажнением грунтов
II1	С севера и востока ограничена I зоной, с запада - подзоной II3, с юга - линией Рославль - Клин - Рыбинск - Березники - Ивдель
II2	Ограничена с севера подзоной III1, с запада - подзоной II4, с юга - III зоной, с востока в южной границей I зоны
II3	С севера ограничена государственной границей, с запада - границей с подзоной II5, с юга - линией Рославль - Клин - Рыбинск, с востока - линией Псков - Смоленск - Орел
II4	Ограничена с севера подзоной. Из, с запада - подзоной II6, с юга - границей с III зоной, с востока - линией Смоленск - Орел - Воронеж
II5	С севера и запада ограничена государственной границей, с востока - линией Минск - Бобруйск - Гомель, с юга - линией Барановичи - Рославль - Клин - Рыбинск
II6	С севера ограничена подзоной II5, с запада - государственной границей, с юга - границей с III зоной, с востока - линией Минск - Бобруйск - Гомель
III	От южной границы II зоны до линии, соединяющей Кишинев - Кировоград - Белгород - Самару - Магнитогорск - Омск - Бийск - Туран. Включает лесостепную географическую зону со значительным увлажнением грунтов в отдельные годы
III1	Ограничена с севера зоной II, с запада - подзоной III2, с юга - IV зоной, с востока - I зоной
III2	Ограничена с севера зоной II, с запада - подзоной III3, с юга - зоной IV, с востока - линией Смоленск - Орел - Воронеж
III3	Ограничена с севера зоной II, с запада - государственной границей, с юга - зоной IV, с востока - линией Бобруйск - Гомель - Харьков

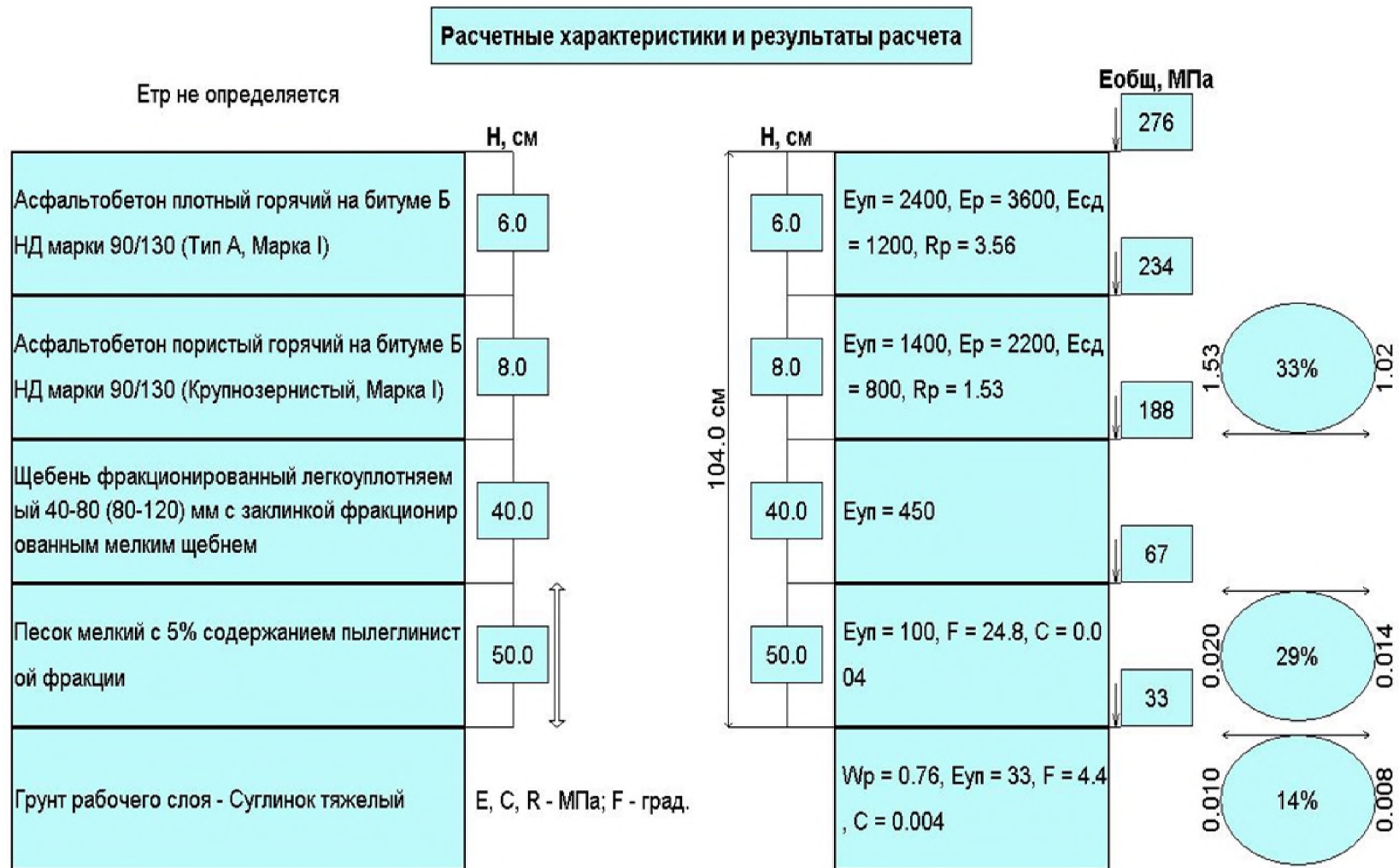
1а	2а
IVа	Расположена от границы III зоны до линии, соединяющей Джульфу - Степанакерт - Кизляр - Волгоград и далее проходит южнее на 200 км линии, соединяющей Уральск - Актюбинск - Караганду. Включает географическую степную зону с недостаточным увлажнением грунтов
Vа	Расположена к юго-западу и югу от границы IV зоны и включает пустынную и пустынно-степную географические зоны с засушливым климатом и распространением засоленных грунтов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

Таблица Б.1 – Технологическая схема по устройству верхнего слоя асфальтобетонного покрытия

№ Захв.	№ п/п	Рабочие операции	Ед. взм	Источник обоснования	Объём работ	Производите льность	Необходимое кол-во М/см			Время работ, ч
							Расч.	Прин.	К исп.	
I	1	Разбивочные работы	м		163	–	–	–	–	–
I	2	Очистка от пыли и грязи	м ²	ГЭСН 27-06-020-1	1141	20512,8	0,06	1,0	0,06	0,48
I	3	Подгрунтовка жидким битумом ДС-39	т	Расчет	0,228	14,38	0,02	1,0	0,02	0,16
I	4	Подвозка АБС а/с КамАЗ-5511 со скоростью 32 км/ч на расстояние 25,9 км	т	Расчет	172,52	107,15	1,6	2	0,8	5,2
I	5	Распределение АБС ДС-191	м ²	ГЭСН 27-06-020-1	1141	2037,62	0,56	1,0	0,56	3,64
I	6	Уплотнение катками: ДУ-47 (8тн)	м ²	ГЭСН 27-06-020-1	1141	1893,94	0,60	1,0	0,60	4,5
I	7	Уплотнение катками: ДУ-49В (15тн)	м ²	ГЭСН 27-06-020-1	1141	651,60	1,75	2,0	0,87	6,53

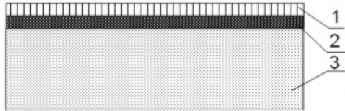
Рисунок Б.2 – Пример расчётов дорожной одежды магистральной лесовозной дороги в программном комплексе РАДОН, ПЛАКСИС



ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное)

Рисунок В.1 – Интерфейс (диалоговое окно) программы оптимизации параметров конструкции лесовозной дороги с морозозащитным слоем

Программа оптимизации параметров конструкции морозоустойчивой дорожной одежды лесовозных дорог



1 – асфальтобетонное покрытие с добавками из вермикулита;
2 - грунтовермикулитовый морозозащитный слой; 3 - грунт земляного полотна

Схема многослойной морозоустойчивой конструкции дорожной одежды лесовозной дороги

Определяем параметры (если не будут введены или не попадут в границы возьмется случайная величина)

- коэффициент теплопроводности верхнего слоя покрытия: $U_{4min} = 0.795 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$ $U_{4max} = 1.637 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$ [1.001] Ваше значение: 1.001;
- коэффициент теплопроводности слоя грунтовермикулитового материала: $U_{5min} = 0.063 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$ $U_{5max} = 1.063 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$ [0.254] Ваше значение: 0.234; Случайное значение: 0.166;
- коэффициент теплопроводности слоя грунта земляного полотна: $U_{6min} = 1.612 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$ $U_{6max} = 1.823 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$ [1.859] Ваше значение: 1.638; Случайное значение: 1.802;
-
- модуль упругости верхнего слоя покрытия: $U_7min = 2000 \text{ МПа}$ $U_7max = 2400 \text{ МПа}$ [2200] Ваше значение: 2200;
- модуль упругости слоя грунтовермикулитового материала: $U_8min = 100 \text{ МПа}$ $U_8max = 200 \text{ МПа}$ [120] Ваше значение: 120;
- модуль упругости грунта земляного полотна: $U_9min = 35 \text{ МПа}$ $U_9max = 45 \text{ МПа}$ [38] Ваше значение: 36;
- Ограничение по предельному напряжению сдвига в грунте t_c : $U_{11min} = 0.010 \text{ МПа}$ $U_{11max} = 0.035 \text{ МПа}$ [0.034] Ваше значение: 0.034;
- Поправочный коэффициент условий эксплуатации лесовозных дорог: $U_{12min} = 20 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$ $U_{12max} = 34 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$ [32] Ваше значение: 32;
- Весовой коэффициент K_1 [0.5] Ваше значение: 0.5;
- Весовой коэффициент K_2 [0.5] Ваше значение: 0.5;

Генерация случайных значений варьируемых параметров: толщина слоев U_1 ; U_2 ; U_3 по ограничениям модуля упругости

- толщина верхнего слоя покрытия: $U_{1min} = 0.03 \text{ м}$ $U_{1max} = 0.06 \text{ м}$ [0.04] 0.04;
- толщина слоя грунтовермикулитового материала: $U_{2min} = 0.15 \text{ м}$ $U_{2max} = 0.50 \text{ м}$ [];
- толщина рабочего слоя земляного полотна: $U_{3min} = 0.60 \text{ м}$ $U_{3max} = 1.65 \text{ м}$ [];

Предварительный расчет

Вычисляем модуль упругости на покрытие дорожной одежды (ограничения $U_{0min} = 80 \text{ МПа}$, $U_{0max} = 120 \text{ МПа}$) и термическое сопротивление дорожной одежды (ограничения для территорий трансграничных лесов Евразии $U_{10min} = 2.04 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$, $U_{10max} = 2.23 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$):

Максимальное количество проходов: 100000
0.04


Модуль упругости на покрытии дорожной одежды ($U_0(E)$) составил 91.87МПа

Термическое сопротивление дорожной одежды ($U_{10}(R)$) составило 2.14м² К/Вт

Обобщенный показатель эффективности $F = 0.5 * (-2.04) / (2.23 - 2.04) + 0.5 * (-80) / (120 - 80) = 0.728$

Таким образом,

- толщина верхнего слоя **0.04 м**
- толщина слоя грунтовермикулитового материала **0.21 м**
- толщина рабочего слоя земляного полотна: **1.30 м**



асфальтобетон
грунтовермикулит
рабочий слой земляного
полотна

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

*а**б**в**г*

а, б – термопара ХК (L); *в* – вывод сигнала с термопары;

г – термометр двухканальный Темп- 3.11.

Рисунок Г.1 – Монтаж средств измерения термического сопротивления дорожных одежд



а



б



в



г

- а – подготовленный образец вермикулита для испытания;
 б – грунтовермикулитовый материал;
 в – рабочий момент измерения истинной плотности грунтовермикулитового материала;
 г – нахождение максимальной плотности

Рисунок Г.2 – Лабораторные испытания грунтовермикулитового материала

Таблица Г.3 – Коэффициент фильтрации грунтовермикулитовых материалов при максимальной плотности и оптимальной влажности

№ п/п	Шифр проб в системе U-LAB	Коэффициент фильтрации, м/сут.	Нормативное значение по ГОСТ 25100-2020 п. В.1.4, табл. В.4	Соответствие характеристики требованиям ГОСТ 25100-2020 п. В.1.4, табл. В.4	Нормативное значение по ГОСТ 25607-2009, п. 3.2.4	Соответствие характеристики требованиям ГОСТ 25607-2009, п. 3.2.4
1	2	3	4	5	6	7
1	1005.1/21	0,04	Для разновидности грунтов – слабоводопроницаемый: $0,005 < k \leq 0,3$	Соответствует	Для дренирующих слоев оснований автомобильных дорог – не менее 1; для дренирующих слоев аэродромов – не более 7; для морозозащитных слоев оснований автомобильных дорог – не менее 0,2	Не соответствует
2	1005.2/21	0,007		Соответствует		Не соответствует
3	1005.3/21	Не определяли	-	-	-	-

Таблица Г.4 – Протокол результатов испытаний грунтовермикулитового материала

№	Шифр проб в системе U-LAB		1005.1/21	1005.2/21	1005.3/21
	Наименование пробы		Грунт	Грунтовермикулитовый материал	Вермикулит
1	2		3	4	5
1	Гранулометрический (зерновой) состав без промывки, частные остатки на сите (размер ячейки сита в мм), % по массе	20	0,0	0,0	0,0
		10	11,6	4,0	0,0
		5	32,2	20,3	2,0
		2	18,3	19,9	13,8
		1	9,3	13,1	24,4
		0,5	6,0	10,3	20,7
		Менее 0,5	22,6	32,4	39,1
2	Гранулометрический (зерновой) состав с промывкой, частные остатки на сите (размер ячейки сита в мм), % по массе	20	0,0	0,0	Не определяли
		10	11,6	4,0	
		5	32,2	20,3	
		2	18,3	19,9	
		1	6,5	13,7	
		0,5	3,8	8,5	
		Менее 0,5	27,6	33,6	
		0,25	6,9	11,6	
		0,1	7,2	9,2	
		0,05	6,8	7,2	
		Менее 0,05	6,7	5,6	

Продолжение таблицы Г.4

1	2	3	4	5
3	Насыпная плотность, кг/м ³	1458,95	1398,70	807,35
4	Истинная плотность, г/см ³	2,76	2,81	2,55
5	Средняя плотность, г/см ³	-	2,39	-
6	Пустотность, %	47,14	50,22	68,34
7	Коэффициент пористости, ед.	0,52	0,58	0,97
8	Пористость, %	34,06	36,65	49,41
9	Максимальная плотность, г/см ³	1,82	1,78	1,29
10	Оптимальная влажность, %	15,9	17,6	34
11	Коэффициент фильтрации, м/сут.	0,04	0,007	Не определяли
12	Теплопроводность, Вт/м·К	1,653	1,084	0,583



Рисунок Г.3 – Измерение теплопроводности асфальтобетонного покрытия

Таблица Г.5 – План и результаты эксперимента по исследованию коэффициента теплопроводности асфальтобетонной смеси

№п/п	Управляющие факторы						Управляемый параметр			Y_{cp}	S_i^2	Y_{cp}	$(Y_{cp}-Y_{cp,cp})^2$
	Натуральные значения			Нормализованные значения									
	$C_{мп}$	$C_{вязуц.}$	$C_{вств}$	x_1	x_2	x_3	1	2	3				
1	8	6,5	0,175	-1	-1	-1	1,365	1,362	1,362	1,363	0,0000030	1,4041	0,002
2	12	6,5	0,175	1	-1	-1	1,386	1,386	1,385	1,386	0,0000003	1,3808	0,000
3	8	7,5	0,175	-1	1	-1	1,341	1,342	1,344	1,342	0,0000023	1,3863	0,002
4	12	7,5	0,175	1	1	-1	1,356	1,358	1,362	1,359	0,0000093	1,3933	0,001
5	8	6,5	0,525	-1	-1	1	1,18	1,15	1,12	1,150	0,0009000	1,1047	0,002
6	12	6,5	0,525	1	-1	1	1,122	1,24	1,123	1,162	0,0046023	1,1071	0,003
7	8	7,5	0,525	-1	1	1	1,024	1,022	1,025	1,024	0,0000023	1,0180	0,000
8	12	7,5	0,525	1	1	1	1,1	1,104	1,103	1,102	0,0000043	1,0507	0,003
9	6	7,0	0,35	-1,682	0	0	1,034	1,035	1,35	1,140	0,0331803	1,1172	0,001
10	14	7,0	0,35	1,682	0	0	1,08	1,084	1,082	1,082	0,0000040	1,1251	0,002
11	10	6,0	0,35	0	-1,682	0	1,015	1,015	1,013	1,014	0,0000013	1,0498	0,001
12	10	8,0	0,35	0	1,682	0	1,002	1,002	1,003	1,002	0,0000003	0,9874	0,000
13	10	7,0	0,1	0	0	-1,682	1,855	1,8556	1,857	1,856	0,0000011	1,7884	0,005
14	10	7,0	0,7	0	0	1,682	1,155	1,155	1,153	1,154	0,0000013	1,2485	0,009
15	10	7,0	0,35	0	0	0	1,033	1,034	1,035	1,034	0,0000010	1,0336	0,000
16	10	7,0	0,35	0	0	0	1,034	1,035	1,035	1,035	0,0000003	1,0336	0,000
17	10	7,0	0,35	0	0	0	1,034	1,035	1,036	1,035	0,0000010	1,0336	0,000
18	10	7,0	0,35	0	0	0	1,035	1,035	1,033	1,034	0,0000013	1,0336	0,000
19	10	7,0	0,35	0	0	0	1,034	1,033	1,034	1,034	0,0000003	1,0336	0,000
20	10	7,0	0,35	0	0	0	1,032	1,033	1,034	1,033	0,0000010	1,0336	0,000
–	–	–	–	–	–	–	–	ИТОГО:		23,341	0,0387124	17,161	0,030

*а**б**в*

а – отбор пробы методом режущего кольца; *б* – статическое нагружение штампом 300 мм
в – измерение динамического модуля упругости динамическим прогибометром ZFG

Рисунок Г.4 – Измерение прочностных показателей морозозащитного
 грунтовермикулитового слоя (координаты участка
 лесовозной дороги 55°36'55.3"N 60°31'57.5"E).

Таблица Г.6 – Участок №1 (55°36'55.3"N 60°31'57.5"E). Ведомость испытаний местного грунта электронным динамическим плотномером ZFG-3000-10 GPS

Номер прохода катка, $n_{\text{катка}}$	Показания прибора, МПа		Фактический коэффициент уплотнения, K_y
	Требуемый динамический модуль упругости E_{VD} , MN/m ² (МПа)	Показания прибора, МПа	
1	≥ 26	18,2	$\geq 0,95$
2	≥ 26	19,2	$\geq 0,96$
3	≥ 26	21,3	$\geq 0,97$
4	≥ 26	22,3	$\geq 0,98$
5	≥ 26	23,8	$\geq 0,98$
6	≥ 26	24,0	$\geq 0,98$
7	≥ 26	24,2	$\geq 0,98$
8	≥ 26	24,8	$\geq 0,98$
9	≥ 26	25,6	$\geq 0,99$
10	≥ 26	26,1	$\geq 0,99$
12	≥ 26	28,3	$\geq 0,99$
12	Статический модуль, E , МПа	52	$\geq 0,99$

Таблица Г.7 – Участок №2 (55°36'55.3"N 60°31'57.5"E). Ведомость испытаний грунтовермикулитового слоя из смеси местного грунта и добавки вермикулита в количестве от 10 до 12 % электронным динамическим плотномером ZFG-3000-10 GPS

Номер прохода катка, $n_{\text{катка}}$	Показания прибора, МПа		Фактический коэффициент уплотнения, K_y
	Требуемый динамический модуль упругости E_{VD} , (MN/m ²) МПа	Показания прибора, МПа	
1	≥ 37	25,5	$\geq 0,95$
2	≥ 37	32,2	$\geq 0,96$
3	≥ 37	35,0	$\geq 0,97$
4	≥ 37	35,9	$\geq 0,98$
5	≥ 37	36,1	$\geq 0,98$
6	≥ 37	36,9	$\geq 0,98$
7	≥ 37	37,8	$\geq 0,99$
8	≥ 37	39,4	$\geq 0,99$
9	≥ 37	41,2	$\geq 0,99$
10	≥ 37	42,1	$\geq 0,99$
10	Статический модуль, E , МПа	102	$\geq 0,99$

Таблица Г.8 – Участок №3 (55°36'55.3"N 60°31'57.5"E). Ведомость испытаний грунтовермикулитового слоя из смеси местного грунта и добавки вермикулита в количестве от 15 до 20 % электронным динамическим плотномером ZFG-3000-10 GPS

Номер прохода катка, $n_{катка}$	Показания прибора, МПа		Фактический коэффициент уплотнения, K_y
	Требуемый динамический модуль упругости E_{VD} , (MN/m ²) МПа	Показания прибора, МПа	
1	≥ 37	25,1	$\geq 0,95$
2	≥ 37	27,8	$\geq 0,96$
3	≥ 37	28,9	$\geq 0,97$
4	≥ 37	30,2	$\geq 0,98$
5	≥ 37	31,9	$\geq 0,98$
6	≥ 37	34,1	$\geq 0,98$
7	≥ 37	35,2	$\geq 0,98$
8	≥ 37	36,8	$\geq 0,98$
9	≥ 37	38,4	$\geq 0,99$
10	≥ 37	39,6	$\geq 0,99$
12	≥ 37	40,2	$\geq 0,99$
12	Статический модуль, E , МПа	98	$\geq 0,99$

Таблица Г.9 – Зависимость динамического модуля деформации E_{vd} , конструктивного слоя в зависимости от статического модуля упругости E_y и коэффициента уплотнения слоя K_y (по данным ГОСТ Р 58818-2020)

Тип грунта	Динамический модуль деформации E_{vd} , МПа	Статический модуль упругости E_y , МПа	Коэффициент уплотнения K_y
Каменистые грунты (GW, GI)	≥ 60	≥ 120	$\geq 1,03$
	≥ 50	≥ 100	$\geq 1,00$
Песчано-гравийная смесь Щебень (5-20, 20-40, 40-70)	≥ 40	≥ 80	$\geq 0,98$
	≥ 35	≥ 70	$\geq 0,97$
Песчаные грунты (GE, SE, SW, SI) Крупнозернистый песок Мелкозернистый песок	≥ 40	≥ 80	$\geq 1,00$
	≥ 35	≥ 70	$\geq 0,98$
	≥ 32	≥ 60	$\geq 0,97$

Таблица Г.10 – Ведомость испытаний термического сопротивления конструктивного слоя на участке №1

Номер точки	Термическое сопротивление слоя, м ² К/Вт
1	0,532
2	0,612
3	0,611
4	0,608

Таблица Г.11 – Ведомость испытаний термического сопротивления конструктивного слоя на участке №2

Номер точки	Термическое сопротивление слоя, м ² К/Вт
1	0,568
2	1,458
3	1,369
4	0,601

Таблица Г.12 – – Ведомость испытаний термического сопротивления конструктивного слоя на участке №3

Номер точки	Термическое сопротивление слоя, м ² К/Вт
1	0,572
2	1,536
3	1,402
4	0,625

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ
«СЕВЕРАВТОДОР»

УТВЕРЖДАЮ:
Генеральный директор
АО «ГК «Северавтодор»
А.В. Лебедев
«13»  2021 г.

СОГЛАСОВАНО:
Главный инженер
ООО «УралНИИСтром»
Н.С. Хакимов
«13»  2021 г.

Технологический регламент

на выполнение работ по устройству морозозащитных слоев
лесовозных дорог с добавками из вермикулита

Дата введения без ограничения срока действия

2021 г.

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации - ГОСТ Р 1.0-2012 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения».

Сведения о технологическом регламенте

1. РАЗРАБОТАН: АО «ГК «Северавтодор», технолог Ахтямов Э.Р., ООО «УралНИИСтром», руководитель дорожно-строительной лаборатории Велютнич Т.В., инженер-исследователь Войнова М.С.
2. ВНЕСЕН: АО «ГК «Северавтодор»
3. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ АО «ГК «Северавтодор»
4. РЕЦЕНЗЕНТ: к.т.н. Дедюхин А.Ю., директор НИИ ЛАДОР
5. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© АО «ГК «Северавтодор»
Настоящий технологический регламент не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован или распространен в качестве официального издания без разрешения АО «ГК «Северавтодор»

Содержание

	Стр.
1. Область применения	4
2. Перечень нормативной документации, используемой при устройстве щебеночных покрытий лесных дорог из некондиционных каменных материалов.....	4
3. Термины и определения.....	6
4. Характеристика производства. Материально-технические ресурсы.....	7
5. Требования к исходным материалам и материалам, обеспечивающим технологический процесс по устройству щебеночных покрытий лесовозных дорог из некондиционных каменных материалов	8
6. Правила приемки, транспортирования и хранения исходных материалов и материалов, обеспечивающих технологический процесс.....	9
7. Технологическая последовательность по устройству щебеночных покрытий лесных дорог из некондиционных каменных материалов.....	9
8. Контроль качества работ	17
9. Требования безопасности	19
10. Требования к персоналу, задействованному на дорожно-строительных работах	22
11. Требования по охране окружающей среды.....	22
11. Список приложений.....	23
12. Приложение А	23
14. Лист регистрации изменений.....	24

1. Область применения

Данный технологический регламент распространяется на выполнение работ, направленных на строительство морозозащитных слоев дорожных одежд лесовозных дорог постоянного действия I лв, II лв, III лв, I лх, II лх категорий из грунтовермикулитовых материалов и отходов горнообогатительных, горно-перерабатывающих и горнодобывающих предприятий, разрабатывающих карьеры вермикулита.

Под морозозащитным слоем лесовозных лесных дорог понимается дополнительный слой под дорожной одеждой капитального или переходного типа, состоящий из одного или нескольких слоев и обеспечивающий требуемое термическое сопротивление дорожной одежды, а так же перераспределение и снижение напряжений на расположенные ниже дополнительные слои или грунт земляного полотна.

Под грунтовермикулитовым материалом (ГВМ) понимается рационально спроектированная смесь, состоящая из местного грунта и отходов производства вспученного вермикулита.

Для устройства морозозащитных слоев предусматривается использование местных строительных материалов Уральского региона: вермикулит вспученный, ООО «УралВермикулит», АО «ГК «Северавтодор».

2. Перечень нормативной документации, используемой при устройстве щебеночных покрытий лесных дорог из некондиционных каменных материалов

№ пп	Наименование нормативной документации	Дата введения	Срок действия
1	2	3	4
1. Нормативная документация, регламентирующая качественные показатели продукции, исходных материалов и материалов, обеспечивающих технологический процесс			
1.	СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги». Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85	01.07.2013	—
2.	СП 37.13330.2012 «Промышленный транспорт». Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91.	01.01.2013	—
3.	СП 78.13330.2012 «Автомобильные дороги». Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85	01.07.2013	—
4.	ГОСТ 33100-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования	01.02.2016	

	автомобильных дорог		
5.	ОДН 218.046-01 Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд.	01.01.2001	
6.	СП 243.1326000.2015 Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения	01.12.2015	–
7.	СП 288.1325800.2016 Дороги лесные. Правила проектирования и строительства	17.07.2017	–
8.	ГОСТ 12865-67 Вермикулит вспученный	01.01.2011	–
2. Нормативная документация, регламентирующая методы испытания и контроля			
9.	ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава	01.07.1998	–
10.	ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний.	01.07.1989	–
11.	ОДН 218.1.052-2002 Оценка прочности нежестких дорожных одежд	19.11.2002	–
12.	ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме».	01.06.2016	
13.	ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик	01.04.2016	–
3. Общие нормативные документы			
14.	Правила по охране труда при производстве дорожных строительных и ремонтно-строительных работ	11.12.2020	31.12.2025
15.	СНиП 12-03-2001. Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования	01.09.2001	–
16.	СНиП 12-04-2002. Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство	01.01.2003	–
17.	ТИ-005-2002 Типовая инструкция по охране труда для машиниста экскаватора	–	–
18.	ТИ-008-2002 Типовая инструкция по охране труда для машиниста автогрейдера	–	–
19.	ТОИР-218-07—93 Типовая инструкция по охране труда для машиниста катка	–	–

20.	ТОИР-218-26—94 Типовая инструкция по охране труда для машиниста автополивомоечной машины	–	–
21.	ОДМ 218.3.031-2013 Методические рекомендации по охране окружающей среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог	24.04.2013	–
22.	Правила противопожарного режима в Российской Федерации	16.09.2020	01.01.2027
23.	ТР ТС 014/2011 Безопасность автомобильных дорог	18.12.2011	–

Примечание - При пользовании настоящим технологическим регламентом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

2. Термины и определения

В настоящем технологическом регламенте применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Автомобильная дорога – комплекс конструктивных элементов, предназначенных для движения с установленными скоростями, нагрузками и габаритами автомобилей и иных наземных транспортных средств, осуществляющих перевозки пассажиров и (или) грузов, а также участки земель, предоставленные для их размещения;

Лесовозная дорога – объект лесной инфраструктуры, создаваемый в целях использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов.

Дорожная одежда – конструктивный элемент лесовозной автомобильной дороги, воспринимающий нагрузку от транспортных средств и передающий ее на земляное полотно;

Дорожное покрытие – верхняя часть дорожной одежды, устраиваемая на дорожном основании, непосредственно воспринимающая нагрузки от транспортных средств и предназначенная для обеспечения заданных эксплуатационных требований и защиты дорожного основания от воздействия погодных-климатических факторов;

Морозозащитный слой – дополнительный слой основания дорожной одежды, устраиваемый из морозостойких, не подверженных пучению

материалов, предупреждающий чрезмерное вспучивание покрытия, служит теплоизолирующим слоем.

Термическое сопротивление дорожной одежды – параметр, характеризующий теплоизолирующую способность дорожной конструкции.

4. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДСТВА. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Потребность в машинах и оборудовании.

3.1.1. Механизация строительных и специальных строительных работ должна быть комплексной и осуществляться комплектами строительных машин, оборудования, средств малой механизации, необходимой монтажной оснастки, инвентаря и приспособлений.

3.1.2. Средства малой механизации, оборудование, инструмент и технологическая оснастка, необходимые для выполнения работ по устройству щебеночных покрытий лесных дорог из некондиционных каменных материалов, должны быть скомплектованы в нормоконспекты в соответствии с технологией выполняемых работ.

3.1.3. При выборе машин и установок необходимо предусматривать варианты их замены в случае необходимости. Если предусматривается применение новых строительных машин, установок и приспособлений, необходимо указывать наименование и адрес организации или предприятия-изготовителя.

3.1.4. Примерный перечень основного необходимого оборудования, машин, механизмов, технологической оснастки, инструмента и приспособлений приведен в таблице 3.1.

3.1. Краткая характеристика основного технологического оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Основные паспортные характеристики
1	Экскаватор	Емкость ковша 1,5 м ³
2	Автосамосвалами*	Объемом кузова 8.5 м ³ , грузоподъемность 15 т, мощностью двигателя 176 кВт
3	Автогрейдером	Мощность двигателя 99 кВт
4	Каток гладковальцовый	Рабочая массой Q = 9,8 т, частота вибрации 40/55 Гц
5	Поливомоечная машина	Емкость 6000 л, ширина захвата при мойке до 8 м, расход воды при мойке до 1,1 л/м

* – Расчет потребности в автосамосвалах производится исходя из условий ритмичной поставки щебеночной смеси. Точный расчет проводится применительно к транспортной загрузке маршрута

5. ТРЕБОВАНИЯ К ИСХОДНЫМ МАТЕРИАЛАМ И МАТЕРИАЛАМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПО УСТРОЙСТВУ МОРОЗОЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ С ПРИРОДНЫМИ ДОБАВКАМИ ВЕРМИКУЛИТА

Для устройства морозозащитных слоев лесовозных дорог с природными добавками вермикулита применяют местные грунты и отходы производства вспученного вермикулита. В случае несоответствия материалов требованиям смеси готовятся на дробильно-сортировочных установках или путем смешения на дороге или в грунтосмесительных установках.

Физико-механические свойства и зерновой состав смесей должен соответствовать требованиям, представленным в 4.1. и 4.2.

Таблица 4.1 – Физико-механические свойства грунтовермикулитовых смесей

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	ГОСТ на методы испытаний	Требования Технологического регламента на строительство морозозащитных слоев
1	Насыпная плотность	кг/м ³	8269.0-97	не нормируется
2	Истинная плотность, г/см ³	кг/м ³	8269.0-97	не менее 2,76
3	Содержание пылевидных и глинистых частиц	% по массе	8269.0-97	не более 25
4	Содержание глины в комках	% по массе	8269.0-97	не более 15
5	Пустотность	% по массе	8269.0-97	От 50 до 60 включ.
6	Пористость	%	ГОСТ 25100-2020 п. Б.1.3, табл. Б.3	От 50,0 до 30,0
7	Максимальная плотность	кг/м ³	8269.0-97	не более 1,65
8	Оптимальная влажность	% по массе	8269.0-97	не более 32
9	Коэффициент фильтрации.	м/сут	8269.0-97	От 0,005 до 0,04 включ.
10	Теплопроводность	Вт/м К	ГОСТ 7076-99	От 0,065 до 0,155 включ.

Таблица 4.2 – Требования к зерновому составу грунтовермикулитовых смесей

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	Требования Технологического регламента на строительство лесных дорог
40	0,0
20	0,0 – 0,0
10	4,0 - 11,6
5	24,3 – 43,8
2	44,2 – 62,1
1	57,3 – 71,4
0,5	67,6 – 77,4
менее 0,5	100,00

Требования по форме зерен, по прочности, истираемости не предъявляются.

Содержание в смеси грунтовермикулитовой глинистых частиц не должно превышать 15 % по массе.

6. ПРАВИЛА ПРИЕМКИ, ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МАТЕРИАЛОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

5.1 Грунтовермикулитовые смеси транспортируют в автомобилях согласно утвержденным в установленном порядке правилам перевозок грузов соответствующим видом транспорта, и хранят отдельно: (грунт – по типам, отходы вермикулита – по номерам), предохраняя их от смешивания и загрязнения.

При транспортировании готовых смесей на объект строительства промежуточные погрузочно-разгрузочные операции проводить не допускается.

5.2 При отгрузке и хранении готовых смесей в зимнее время должны быть приняты меры по предотвращению их смерзаемости (перелопачивание, обработка специальными растворами и т.п.).

7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПО УСТРОЙСТВУ МОРОЗОЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ С ПРИРОДНЫМИ ДОБАВКАМИ ВЕРМИКУЛИТА

Технологическая карта разработана на основе методов научной организации и предназначена для использования при разработке проектов производства работ и организации труда на строительном объекте.

В состав работ входят:

– вывозка материала на подготовленное в соответствии с требованиями СП 78.133330.2012 земляное полотно или на дополнительный слой дорожной

одежды. Планировка и уплотнение поверхности земляного полотна должны выполняться в соответствии с требованиями ГОСТ 33100-2014;

- распределение материала по земляному полотну или по дополнительному слою;
- увлажнение материала до оптимальной влажности;
- разравнивание материала, профилирование и придание поперечного профиля покрытию дорожной одежды;
- уплотнение грунтовермикулитового морозозащитного слоя дорожной одежды виброкатками;
- контроль степени уплотнения морозозащитного слоя;
- уход за морозозащитным слоем дорожной одежды.

Организация и технология производства работ

Грунтовермикулитовые материалы, доставленные на объект строительства, рекомендуется разгружать по оси дороги в валик, который в последующем разравнивают на всю ширину слоя автогрейдерами или бульдозерами.

Необходимый объем материала в м³ на каждую захватку определяется по формуле:

$$V = L \cdot B \cdot h \cdot k_{\text{зап}}, \quad (1)$$

где L – длина захватки в м;

B – ширина слоя в м;

h – толщина слоя в уплотненном состоянии, в м;

$k_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса на уплотнение и измельчение для грунтовермикулита принимают равным 1,15-1,25 и уточняют по результатам пробной укатки.

При распределении грунтовермикулитовых материалов следует учитывать запас на усадку при уплотнении:

– для смесей с содержанием вермикулита от 10 до 15 % величина запаса от 20 до 30%;

– для смесей с содержанием вермикулита от 15 до 20 % величина запаса от 30 до 40%.

Наименьшая толщина распределяемого слоя должна в 1,5 раза превышать размер наиболее крупных частиц и быть не менее 15 см.

Максимальная толщина слоя не должна превышать уплотняющей способности катков.

Продолжительность технологического разрыва во времени между вывозкой материала на дорогу ее распределением и уплотнением не регламентируется.

Увлажнение материала начинают в процессе его распределения (более 80%) и заканчивают в процессе уплотнения. Материал увлажняют

универсальной машиной типа КО 806-06 по поверхности основания из расчета от 2 до 5% по массе.

Производительность рассчитывается по формуле:

$$П = \frac{QK_3K_n60}{q\left(\frac{QK_360}{qbv} + \frac{2l60}{v_{тр.ср.}} + t_n + t_{п.з.}\right)} \quad (2)$$

где Q – вместимость цистерны для воды, л;

q – плотность или удельный расход воды при увлажнении, л/м²;

b_m – ширина обрабатываемой полосы при увлажнении, м;

v_m – скорость машины во время поливки, м/ч;

$v_{тр.ср.}$ – средняя скорость машины при движении к местам наполнения цистерны и работы, м/ч;

l – расстояние до места наполнения цистерны от места работы, км;

t_n – время наполнения цистерны, мин;

$t_{п.з.}$ – подготовительно-заключительные работы;

K_3 – коэффициент наполнения цистерны, $K_3=0,9...0,95$;

K_n – коэффициент использования рабочего времени, $K_n=0,85$.

Отклонение влажности от оптимальной допускается не более 1% в меньшую сторону и 2 % в большую.

Планировку материала следует производить с помощью автогрейдера непосредственно после распределения и увлажнения материала, а затем немедленно следует приступать к уплотнению. Производительность автогрейдера на планировочных работах определяется расчетом по выражению

$$П = \frac{3600K_nL(B \sin \phi - a_n)}{\left(\frac{L}{V_{р.к.}} + t_n\right)m} \quad (3)$$

где $П$ – эксплуатационная производительность, м²/ч;

L – длина планируемого участка (захватки), м;

B – ширина отвала, м;

ϕ – угол захвата, град;

a_n – ширина полосы перекрытия, $a_n = 0,15...0,20$ м;

$v_{р.к.}$ – рабочая скорость перемещения машины, м/с;

t_n – продолжительность разворота, $t_n = 10...20$ с;

m – число проходов по одному месту, $m = 1...2$.

Уплотнение необходимо производить виброкатками массой не менее 9 т и более, ориентировочно за 6 - 10 проходов катка по одному следу. Количество проходов уточняют по результатам пробного уплотнения при начале производства работ. Согласно СП 78.133330. 2012 уплотнение надлежит

начинать от краев к середине с перекрытием следа предыдущего прохода катка не менее чем на 0,20 м. В случае необходимости в процессе уплотнения автогрейдером исправляют профиль уплотняемого слоя до требуемых параметров. Эксплуатационную производительность виброкатков по уплотнению определяют как по площади поверхности, уплотняемой в единицу времени ($м^2/ч$),

$$P_z = \frac{1000(B_B - a_B)v_k k_B}{z}, \quad (4)$$

где B_B – ширина укатываемой полосы, равная ширине вальца, м;

a_B – размер перекрытия рабочего прохода, $a_B = 0,05-0,1$ м;

v_k – рабочая скорость, для виброкатка с гладкими вальцами $v_k = 1,5-6$ км/ч,

z – число проходов;

k_B – коэффициент использования машины во времени, $k_B = 0,8-0,9$;

В процессе уплотнения необходимо соблюдать следующие правила:

1. Уплотнение следует производить в строгом соответствии с рекомендациями.

2. Каток должен двигаться параллельно оси дороги со скоростью 2...3 км/ч, в статическом режиме, в вибрационном - 3...7 км/ч.

3. На покрытиях с продольным уклоном более 30 % уплотнение следует производить снизу вверх.

4. При первых проходах катков во избежание волн ведущие вальцы должны быть впереди.

5. Во время уплотнения катки должны быть в непрерывном и равномерном движении.

6. Запрещается останавливать катки или резко менять направление движения на неуплотненном слое.

7. Виброуплотнение проводить только в процессе движения катка. Включать и отключать вибрацию необходимо за пределами уплотняемой поверхности на двигающемся катке.

9. Для исключения образования волны каждый последующий след катка должен быть смещен в направлении уплотнения относительно предыдущего на величину, примерно равную диаметру вальца.

Грунтовермикулитовый слой следует уплотнять за несколько этапов:

Первый этап уплотнения - обжимка.

Производится прикатка или предварительное уплотнение. Происходит обжимка грунтовермикулитового материала и выравнивание поверхности слоя виброкатком. Основная задача на этапе обжимки состоит в некотором начальном подравнении еще рыхлого после укладки и планировки слоя грунтовермикулитового материала и предварительном его обжатии. При этом первые два прохода по одному следу без вибрации, затем два прохода по следу

с минимальной вибрацией на рабочей скорости не более 2,5 км/час (рисунок 7.1).

Таблица 7.1 Технологическая последовательность на устройство грунтовермикулитового морозозащитного слоя лесовозных дорог

Технологическая последовательность	Потребность в ресурсах		
	Единица измерения	Количество	Производительность в смену
1. Погрузка ГВМ экскаватором EU- 424 (емкость ковша 1,5 м ³ ,) в автомобили самосвалы (1 машинист 5 раз.,1 помощ. маш. 4 разряда). Потребность в смеси на 1 км: $1000*10,5*0,20*1,35*1,03=2920$	м ³	2920	1180
2. Подвозка ГВМ автомобилями самосвалами КамАЗ 65115 с объемом кузова 8.5 м ³ , грузоподъемностью 15 т, мощностью двигателя 176 кВт на среднее расстояние 15 км (унас=1,5 т/м ³)-4380 т.	т	4380	135,8
3. Распределение ГВМ автогрейдером ДЗ-180 (мощность двигателя 99 кВт, 1 маш. 6 раз.)	м ²	10500	4728
4. Подвозка воды на расстояние 15 км КО 806-06 с розливом до достижения оптимальной влажности из расчета 5% воды от массы смеси. Потребность воды на 1 км: $4380*0,05 =219$ т.	т	219	45,5
5. Обжимка слоя катком гладковальцовым Bomag, BW 154 AD-4, с рабочей массой Q = 9,8 т, частота вибрации 40/55 Гц, возмущающая сила R _{дин} = 63 кН за 4 проходов по 1 следу при скорости движения катка на 2 первых и последних проходах 2-3 км/ч, на остальных 5-8 км/ч с перекрытием следа не менее чем на 0,30 м (1 машинист 6 разряда).	м ²	10500	2500
6. Уплотнение слоя катком гладковальцовым Bomag, BW 154 AD-4, с рабочей массой Q = 9,8 т, частота вибрации 40/55 Гц, возмущающая сила R _{дин} = 89 кН за 4 проходов по 1 следу при скорости движения катка 2-3 км/ч, с перекрытием следа не менее чем на 0,30 м (1 машинист 6 разряда).	м ²	10500	2500
7. Планировка слоя автогрейдером ДЗ-180 за 2 круговых прохода (мощность двигателя 99 кВт, 1 машинист 6 разряда, 2 дор. рабочих 4 и 3 разряда).	м ²	10500	9653

Второй этап уплотнения - стабилизация.

По мере формирования морозозащитного слоя и формирования морозозащитной структуры, за счет включения максимального режима вибрации катка (2-4 проходов по одному следу на скорости 3,0-3,5 км/час) происходит переупаковка частиц вермикулита и грунтового материала.

Прикатывание производится до устойчивого положения отдельных частиц в слое. Уплотнение следует начинать от края слоя с последующим приближением к середине и уменьшением числа проходов по оси основания до одного.

Признаками окончания уплотнения служит отсутствие деформации слоя в виде волны перед вальцом катка и отсутствие заметной на глаз осадки морозозащитного слоя лесовозной дороги.

Третий этап уплотнения - доуплотнение.

Окончательное доуплотнение и формирование прочного морозозащитного слоя за счет силового сближения зерен грунтового материала и создания контактов между частицами вермикулита. Заполнение мелкоземом межпорового пространства.

Виброкаток совершает от 2 до 4 проходов по одному следу на скорости от 2,5 до 3,0 км/час. Каждый новый проход виброкатка катка должен перекрывать предыдущую полосу от 30 до 40 см. Уплотнение производится от краев к середине основания. Общее количество приложения циклов нагружения на материал должно составлять не менее 50... 70.

Признаками окончания уплотнения служат:

- отсутствие подвижности грунтовермикулитового материала;
- прекращение образования деформации покрытия лесной дороги перед вальцом виброкатка;
- отсутствие следа от прохода виброкатка.

В случае если после уплотнения не достигнута требуемая плотность и прочность морозозащитного слоя, с появлением большого количества деформаций, производится досыпка и укрепление грунтовермикулитового слоя.

По уплотненному слою, разрешается открывать движение лесовозных автомобилей при условии ограничения скорости до 20 км/час и регулировать движение по всей ширине слоя. Устройство вышележащих слоев допускается непосредственно после разравнивания и уплотнения нижележащих слоев.

В случае нарушения ровности слоя под движением транспортных средств перед устройством вышележащего слоя дорожной одежды, с помощью автогрейдера производится исправление неровностей. При необходимости впадины на поверхности основания заполняют новой смесью оптимальной влажности и уплотняют виброкатками.

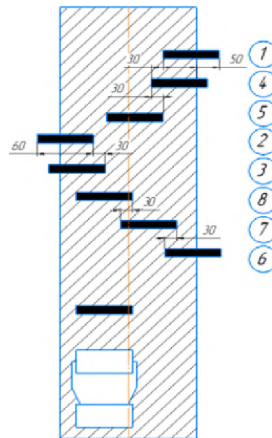


Рисунок 7.1 – Последовательность прохода виброролката по морозозащитному слою, уложенному на всю ширину покрытия лесовозных дорог

Однако при проведении строительных работ не всегда учитываются его физико-механические и технологические свойства. Особенно это касается использования отходов от производства вспученного вермикулита с различного рода примесями, шлаковыми или другими техногенными отходами.

Наличие примесей существенно меняет не только структурные связи, но и технологии строительства.

Особенности устройства морозозащитных слоев из грунтовермикулитового материала при отрицательных температурах:

1. Устройство морозозащитных слоев из грунтовермикулитового материала при отрицательных температурах следует производить по земляному полотну или нижележащему слою, полностью законченному и принятому;

2. К морозозащитным слоям из грунтовермикулитового материала, построенным при отрицательных температурах, следует предъявлять те же требования, что и к слоям, уложенным при положительных температурах;

3. Работы по устройству морозозащитных слоев из грунтовермикулитового материала запрещается осуществлять во время снегопада. Земляное полотно или нижележащий слой перед устройством основания необходимо очистить от снега и льда на участке сменной захватки. Строительство следует вести на небольших захватках с расчетом полностью завершить работы в течение смены;

4. Увлажнение ГВМ при отрицательных температурах следует производить согласно таблице 7.2. Растворы солей следует готовить в отдельных емкостях. Плотность водного раствора хлористого кальция должна быть не более 1.29 г/см^3 (0,427 кг безводной соли на 1л воды), а хлористого

натрия - не более $1,15 \text{ г/см}^3$ (0,25 кг безводной соли на 1 л воды). Хлористый натрий следует растворять в горячей воде.

Таблица 7.2 – Водные растворы хлористых солей

Температура воздуха при укладке смеси, °С	Количество солей, % к массе воды, содержащейся в смеси
от 0 до минус 5	NaCl 5% или CaCl ₂ 3% или CaCl ₂ 2% + NaCl 3%
от минус 5 до минус 7	CaCl ₂ 3% + NaCl 4%
от минус 7 до минус 10	CaCl ₂ 3% + NaCl 7%

5. Распределенный грунтовермикулитовый материал должен быть уплотнен до его смерзания. Недоуплотненные участки следует укатывать весной после полного оттаивания слоя;

6. Движение транспортных средств по устроенному в зимнее время слою покрытия допускается только после полного его уплотнения. Исправление деформаций морозозащитных слоев из грунтовермикулитового материала, устроенного в зимнее время, следует производить после просыхания земляного полотна.

Работы по устройству покрытия выполняются в разработанной технологической последовательности поточным методом на трех захватках.

На первой захватке – 400 м выполняются следующие технологические операции:

Погрузка и транспортировка материала

Работает (на месте складирования ГВМ) 1 экскаватор - 8,1 ч, 13 автомобилей самосвалов в течение 8,2 часа вывозят ГВМ и разгружают ее по оси дороги.

На второй захватке – 400 м выполняются следующие технологические операции:

- Разравнивание материала по грунтовой поверхности;
- Увлажнение слоя.

Работает 1 автогрейдер в течение 7,2 часа, который разравнивает ГВМ по всей ширине основания; 2 поливомоечные машины в течение 5,24 часа увлажняют смесь в процессе ее разравнивания.

На третьей захватке – 400 м выполняются следующие технологические операции:

- Разравнивание и планировка материала по грунтовой поверхности
- Уплотнение и формирование теплоизолирующего слоя.

Один автогрейдер в течение 3,6 часа разравнивает оставшуюся ГВМ и затем производит окончательную планировку основания; два катка в течение 6,9 часа производят укатку слоя.

Перед началом работ по уплотнению необходимо провести пробную укатку. Ориентировочное количество проходов виброкатка составляет от 6 до 8

проходов по одному следу, из них промежуточные с усиленной вибрацией. Первые два и последние два прохода следует проводить на скорости 2-3 км/ч, на остальных 5-7 км/ч с. Уплотнение следует проводить с перекрытием предыдущего следа не менее чем на 0,3 м.

Об окончании можно судить по отсутствию следа от катка.

8. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РАБОТ

Входной контроль качества поступающих грунтовермикулитовых материалов должна проводить лаборатория организации осуществляющей строительство дорожной одежды.

Операционный контроль качества строительства морозозащитного слоя дорожной одежды должна осуществлять лаборатория строительной организации и мастер (прораб) осуществляющий строительство (таблица 8.1).

Приемочный контроль качества слоя основания осуществляет мастер (прораб) при участии представителя Заказчика.

Грунтовермикулитовые материалы, поступающие на объект строительства, следует проверять внешним осмотром, а также путем отбора проб материалов и последующего их испытания в лаборатории в соответствии с требованиями технологического регламента (таблицы 4.1, 4.2).

Результаты входного контроля качества поступающих материалов следует фиксировать в журналах испытаний.

При операционном контроле следует контролировать качество распределения материала, влажность слоя, зерновой состав, качество уплотнения.

При распределении материала следует проверять ширину и толщину слоя, ровность поверхности и поперечный профиль не реже чем через 100 м.

Ширина слоя измеряется мерной лентой, а толщина мерником толщины по оси слоя; ровность следует проверять 3-х метровой рейкой (по количеству просветов) на расстоянии от 0,75 до 1,0 м от кромки слоя в пяти контрольных точках, расположенных на расстоянии 0,5 м от концов рейки и друг от друга; поперечный уклон следует контролировать рейкой с уровнем визуально. Весь грунтовермикулитовый слой, толщине, должны быть влажными. В процессе уплотнения материал должен быть влажным.

Зерновые составы проверяются по мере поступления материала и на каждую партию.

В процессе уплотнения смеси качество уплотнения следует контролировать визуально по отсутствию волны перед катком или следа от катка.

Качество уплотнения оценивается коэффициентом уплотнения или измерением динамического модуля упругости. Измерение динамического модуля упругости производится на расстоянии 1м от кромки слоя.

Динамический модуль упругости морозозащитного слоя на поверхности слоя, должны быть не ниже расчетных значений, принятых при проектировании. Меньшие величины модуля упругости могут быть получены при неудовлетворительном качестве ведении работ.

Таблица 8.1 – Схема операционного контроля качества работ на устройство морозозащитных слоев дорожных одежд лесовозных дорог из отходов вспученного вермикулита

Основные операции, подлежащие контролю	Состав контроля	Метод и средства контроля	Режим и объем контроля	Личность, осуществляющая контроль	Предельные отклонения от норм контролируемых параметров	Где регистрируются результаты контроля
1	2	3	4	5	6	7
Устройство морозозащитного слоя	Соблюдение технологических режимов	<u>Визуальный</u>	Постоянно	Мастер	5% от заданной массы на м ³ смеси	Общий журнал работ
	1. Расход ГВМ 2. Расход воды 3. Плотность слоя 4. Влажность смеси 5. Ширина, толщина основания, (в разрыхленном и уплотненном состоянии)	<u>Инструментальный</u> Рулетка измерительная, линейка металлическая	Не реже, чем через 100 м	Мастер		
Уплотнение морозозащитного слоя и дополнительный обжим		<u>Лабораторный</u>	Не менее одного раза в смену	Мастер, лаборант		Общий журнал работ
	Прочность морозозащитного слоя	Динамический плотномер	– // –	– // –	Динамический модуль упругости не менее 65 МПа	– // –
	Зерновой состав	Набор сит	– // –	– // –	Согласно технологического регламента	– // –
	Коэффициент уплотнения	Визуальный	– // –	– // –	Отсутствие следа или образования волн перед вальцом при прохождении контрольного участка катком массой 9-12 т	– // –
Отделка поверхности морозозащитного	Высотные отметки по оси покрытия	<u>Инструментальный</u> Нивелир, рейка	Не реже, чем каждые 100 м	Геодезист	Не более ±50 мм от проектных значений	Журнал геодезических работ

слоя	Поперечные уклоны Ровность	1. Нивелир, рейка 2. Трехметровая рейка, уклономер	- // - - // -	Геодезист Мастер	До $\pm 0,010$ от проектных значений Не более $\pm 10(5)$ мм	- // - Общий журнал работ
1	2	3	4	5	6	7
		3. Трехметровая рейка с клиновым промерником	- // - просвет над рейкой на расстоянии 0,75-1 м от каждой кромки проезжей части в 5 контрольных точках, расположенных друг от друга на расстоянии 0,5 м	Мастер		Общий журнал работ
Качество морозозащитного слоя	Прочность при нагружении	<u>Инструментальный</u> Динамический плотномер	Не реже одного раза в смену	Лаборант	Не менее проектного динамического модуля упругости	Журнал контроля

Устройство вышележащего слоя на слой с необеспеченным модулем упругости осуществляется только после доведения его значения до нормативного уровня путем доуплотнения слоя или укладки дополнительного слоя.

После уплотнения и отделки слоя через каждые 100 м следует проверить ширину и толщину слоя, его ровность и поперечные уклоны, а также высотные отметки. Результаты промеров заносятся в журнал.

9. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

9.1. При выполнении работ следует руководствоваться действующими нормативными документами:

- Правила по охране труда при производстве дорожных строительных и ремонтно-строительных работ;
- СНиП 12-03-2001. Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования;
- СНиП 12-04-2002. Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство.

9.2. Ответственность за выполнение мероприятий по технике безопасности, охране труда, промышленной санитарии, пожарной и экологической безопасности возлагается на руководителей работ, назначенных приказом.

Ответственное лицо осуществляет организационное руководство работами непосредственно или через бригадира. Распоряжения и указания ответственного лица являются обязательными для всех работающих на возведении земляного полотна.

9.3. Охрана труда рабочих должна обеспечиваться выдачей администрацией необходимых средств индивидуальной защиты (специальной одежды, обуви и др.), выполнением мероприятий по коллективной защите рабочих (ограждения, освещение, вентиляция, защитные и предохранительные устройства и приспособления и т.д.), санитарно-бытовыми помещениями и устройствами в соответствии с действующими нормами и характером выполняемых работ. Рабочим должны быть созданы необходимые условия труда, питания и отдыха. Работы выполняются в спецобуви и спецодежде.

9.4. Сроки выполнения работ, их последовательность, потребность в трудовых ресурсах устанавливаются с учетом обеспечения безопасного ведения работ и времени на соблюдение мероприятий, обеспечивающих безопасное производство работ, чтобы любая из выполняемых операций не являлась источником производственной опасности для одновременно выполняемых или последующих работ.

9.5 При разработке методов и последовательности выполнения работ следует учитывать опасные зоны, возникающие в процессе работ. При необходимости выполнения работ в опасных зонах должны предусматриваться мероприятия по защите работающих.

На границах опасных зон должны быть установлены предохранительные защитные и сигнальные ограждения, предупредительные надписи, хорошо видимые в любое время суток.

9.6. Санитарно-бытовые помещения, автомобильные и пешеходные дороги должны размещаться вне опасных зон. В вагончике для отдыха рабочих должны находиться и постоянно пополняться аптечка с медикаментами, носилки, фиксирующие шины и другие средства для оказания первой медицинской помощи. Все работающие на строительной площадке должны быть обеспечены питьевой водой.

9.7. Лицо, ответственное за безопасное производство работ, обязано:

- ознакомить рабочих с технологической картой под роспись;
- следить за исправным состоянием инструментов, механизмов и приспособлений;
- разъяснить работникам их обязанности и последовательность выполнения операций;

– прекращать работы при силе ветра более 11,0 м/сек во время сильного снегопада, ливневого дождя, тумана или грозы при видимости менее 50 м.

9.8. К выполнению работ допускаются лица в возрасте не моложе 18 лет, прошедшие:

– медицинский осмотр и признанные годными для работы в строительстве;

– обучение и проверку знаний по безопасным методам и приемам труда, пожарной безопасности, оказанию первой медицинской помощи и имеющие об этом специальное удостоверение;

– вводный инструктаж по технике безопасности, производственной санитарии и инструктаж непосредственно на рабочем месте.

Повторный инструктаж проводится не реже одного раза в три месяца. Проведение инструктажа регистрируется в специальном журнале.

9.9. Техническое состояние машин необходимо проверять перед началом каждой смены.

Каждая машина должна быть оборудована звуковой сигнализацией. Перед пуском ее в действие необходимо подавать звуковой сигнал.

9.10. Перед пуском машин необходимо убедиться в их исправности, наличии на них защитных приспособлений, отсутствии посторонних лиц на рабочем участке.

9.11. При работе нескольких машин, идущих друг за другом, необходимо соблюдать дистанцию между ними не менее 10 м.

9.12. Машинистам запрещается:

– работать на неисправных механизмах;

– на ходу, во время работы устранять неисправности;

– оставлять механизм с работающим двигателем;

– допускать посторонних лиц в кабину механизма;

– стоять перед диском с запорным кольцом при накачивании шин;

– производить работы в зоне действия кранов и ЛЭП любого напряжения.

9.13 При работе автогрейдера необходимо соблюдать следующие требования:

– при развороте автогрейдера в конце профилируемого участка, а также на крутых поворотах, движение должно осуществляться на минимальной скорости;

– разравнивать ГВМ на свежесыпанных насыпях высотой более 1,5 м необходимо под наблюдением ответственного лица;

– расстояние между бровкой земляного полотна и внешними (по ходу) колесами автогрейдера должно быть не менее 1,0 м.

9.14. При работе на уплотняющей технике необходимо соблюдать следующие требования:

– каток должен быть оборудован звуковыми и сигнальными приборами, за исправностью которых должен следить машинист;

– на свежесыпанной насыпи вальцы катка должны быть не ближе 0,5 м от бровки откоса;

– машинист катка должен носить спецодежду, для предохранения глаз от пыли следует надевать защитные очки.

9.15. Подача автомобиля-самосвала задним ходом к месту выгрузки ГВМ должна производиться водителем только по команде дорожного рабочего, осуществляющего приемку.

10. ТРЕБОВАНИЯ К ПЕРСОНАЛУ, ЗАДЕЙСТВОВАННОМУ НА ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТАХ

Рабочие, занятые на дорожно-строительных работах, должны иметь профессиональное образование, соответствующее профилю выполняемых работ, должны быть обучены безопасным приемам работы, знать сигналы аварийного оповещения, правила поведения при авариях, места расположения средств спасения и уметь пользоваться ими. Иметь инструкции по безопасному ведению технологических процессов, безопасному обслуживанию и эксплуатации машин и механизмов. Рабочие не реже чем каждые шесть месяцев должны проходить повторный инструктаж по безопасности труда и не реже одного раза в год – проверку знания инструкций по профессиям. Результаты проверки оформляются протоколом с записью в журнал инструктажа.

Численный состав персонала, задействованного на дорожно-строительных работах (выполнение работ по устройству щебеночных покрытий лесных дорог из некондиционных каменных материалов):

1. Машинист экскаватора, V разряда – 1;
2. Помощник машиниста экскаватора, IV разряда – 1;
3. Водитель автосамосвал 3;
4. Машинист автогрейдера, VI разряда – 1;
5. Машинист самоходный вибрационный каток, VI разряда – 1
6. Дорожный рабочий II разряда – 1;
7. Дорожный рабочий III разряда – 1.

Всего 9 человек.

11. ТРЕБОВАНИЯ ПО ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

11.1. При выполнении работ следует руководствоваться действующими нормативными документами:

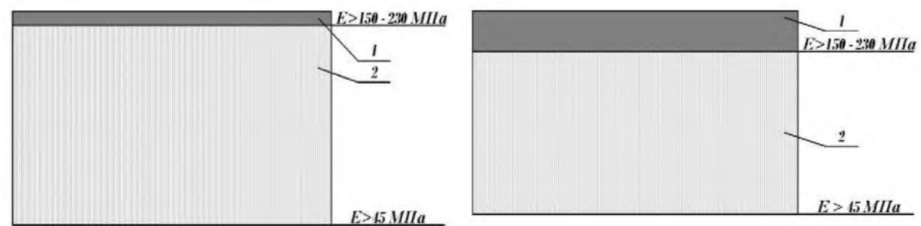
– ОДМ 218.3.031-2013 Методические рекомендации по охране окружающей среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог.

12. СПИСОК ПРИЛОЖЕНИЙ

1. Приложение А. Типы рекомендуемых конструкций дорожной одежды с морозозащитными слоями из грунтовермикулитового материала для лесовозных дорог

Приложение А (рекомендуемое)

Типы рекомендуемых конструкций дорожной одежды с морозозащитными слоями из грунтовермикулитовых материалов для лесовозных дорог



Дорожная одежда Тип I.
1-щебеночно-мастичный асфальтобетон с теплоизоляционной добавкой из вспученного вермикулита;
2-морозозащитный слой из грунтовермикулитового материала

Дорожная одежда низшего типа Тип II.
1 – грунтовермикулитовое теплоизолирующее покрытие,
 $h = 150 - 200$ мм;
2 - грунт земляного полотна по предварительному расчету

Таблица Д.1 – Технологическая последовательность на устройство морозозащитного слоя из грунтовермикулитового материала лесовозных дорог

Технологическая последовательность	Потребность в ресурсах		
	Единица измерения	Количество	Производительность в смену
1. Погрузка ГВМ экскаватором EU- 424 (емкость ковша 1,5 м ³ .) в автомобили самосвалы (1 машинист 5 раз, 1 помощ. маш. 4 разряда). Потребность в смеси на 1 км: $1000*10,5*0,20*1,35*1,03=2920$	м ³	2920	1180
2. Подвозка ГВМ автомобилями самосвалами КамАЗ 65115 с объемом кузова 8,5 м ³ , грузоподъемностью 15 т, мощностью двигателя 176 кВт на среднее расстояние 15 км ($\gamma_{нас}=1,5$ т/м ³)-4380 т.	т	4380	135,8
3. Распределение ГВМ автогрейдером ДЗ-180 (мощность двигателя 99 кВт, 1 маш. 6 раз.)	м ²	10500	4728
4. Подвозка воды на расстояние 15 км КО 806-06 с розливом до достижения оптимальной влажности из расчета 5% воды от массы смеси. Потребность воды на 1 км: $4380*0,05 = 219$ т.	т	219	45,5
5. Обжимка слоя катком гладковальцовым Bomag, BW 154 AD-4, с рабочей массой Q = 9,8 т, частота вибрации 40/55 Гц, возмущающая сила $P_{дин} = 63$ кН за 4 проходов по 1 следу при скорости движения катка на 2 первых и последних проходах 2-3 км/ч, на остальных 5-8 км/ч с перекрытием следа не менее чем на 0,30 м (1 машинист 6 разряда).	м ²	10500	2500
6. Уплотнение слоя катком гладковальцовым Bomag, BW 154 AD-4, с рабочей массой Q = 9,8 т, частота вибрации 40/55 Гц, возмущающая сила $P_{дин} = 89$ кН за 4 проходов по 1 следу при скорости движения катка 2-3 км/ч, с перекрытием следа не менее чем на 0,30 м (1 машинист 6 разряда).	м ²	10500	2500
7. Планировка слоя автогрейдером ДЗ-180 за 2 круговых прохода (мощность двигателя 99 кВт, 1 машинист 6 разряда, 2 дор. рабочих 4 и 3 разряда).	м ²	10500	9653

Таблица Д.2 – Схема технологического контроля качества работ на устройство морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита

Основные операции, подлежащие контролю	Состав контроля	Метод и средства контроля	Режим и объем контроля	Лицо, осуществляющее контроль	Предельные отклонения от нормы контролируемых параметров	Где регистрируются результаты контроля
1	2	3	4	5	6	7
Устройство морозозащитного слоя	Соблюдение технологических режимов	<u>Визуальный</u>	Постоянно	Мастер		Общий журнал работ
	1. Расход ГВМ	- // -	- // -	- // -	Расчетом	- // -
	2. Расход воды	- // -	- // -	- // -	5% от заданной массы на м ³ смеси	- // -
	3. Плотность слоя	Пробоотборник	- // -	Лаборант	Не менее проектного значения	- // -
	4. Влажность смеси	Экспресс метод	- // -	Лаборант	Не менее проектного значения	- // -
5. Ширина, толщина основания, (в разрыхленном и уплотненном состоянии)	<u>Инструментальный</u> Рулетка измерительная, линейка металлическая	Не реже, чем через 100 м	Мастер	Отклонение по ширине ± 5 см, по высоте ± 15 мм	Общий журнал работ	
Уплотнение морозозащитного слоя в дополнительный обжим	Соблюдение технологических режимов	<u>Лабораторный</u>	Не менее одного раза в смену	Мастер, лаборант		Общий журнал работ
	Прочность морозозащитного слоя	<u>Динамический</u> плетномер	- // -	- // -	Динамический модуль упругости не менее 37 МПа	- // -
	Зерновой состав	Набор сит	- // -	- // -	Согласно технологического регламента	- // -
	Коэффициент уплотнения	<u>Визуальный</u>	- // -	- // -	Отсутствие следа или образования волн перед вальцом при прохождении контрольного участка катком массой 9-12 т	- // -

1	2	3	4	5	6	7
Отделка поверхности морозозащитного слоя	Высотные отметки по оси покрытия	<u>Инструментальный</u> Нивелир, рейка	Не реже, чем каждые 100 м	Геодезист	Не более ± 50 мм от проектных значений	Журнал геодезических работ
	Поперечные уклоны	1. Нивелир, рейка	- // -	Геодезист	До $\pm 0,010$ от проектных значений	- // -
	Ровность	2. Трекметровая рейка	- // -	Мастер	Не более $\pm 10(5)$ мм	Общий журнал работ
		3. Трекметровая рейка с клиновым промерником	- // -	Мастер	просвет над рейкой на расстоянии 0,75-1 м от каждой кромки проезжей части в 5 контрольных точках, расположенных друг от друга на расстоянии 0,5 м	Общий журнал работ
Качество морозозащитного слоя	Прочность при нагружении	<u>Инструментальный</u> Динамический плотномер	Не реже одного раза в смену	Лаборант	Не менее проектного динамического модуля упругости	Журнал контроля
Устройство дорожного покрытия	Соблюдение технологических режимов	<u>Визуальный</u>	Постоянно	Мастер		Общий журнал работ
	1. Расход <u>абс.</u>		- // -	- // -	- // -	- // -
	2. Высотные отметки по оси	<u>Инструментальный</u> Нивелир, рейка	Не реже, чем каждые 100 м	Геодезист	Не более ± 25 мм от проектных значений	Журнал геодезических работ
	3. Ширина и толщина слоя покрытия	<u>Инструментальный</u> Рулетка измерительная, линейка металлическая	Не реже, чем через 100 м	Мастер	Отклонение по ширине ± 50 мм, по высоте ± 10 %	Общий журнал работ
	4. Поперечные уклоны	1. Нивелир, рейка	- // -	Геодезист	До $\pm 0,010$ от проектных значений	- // -
	5. Ровность (просвет под рейкой длиной 3 м)	2. Трекметровая рейка	- // -	Мастер	Не более 5 % результатов определений могут иметь значения просветов в пределах до 6 мм, остальные – до 3 мм	Общий журнал работ

Таблица Д.3 – Протокол испытаний асфальтобетонной смеси и протокол испытаний, сформированный в информационной системе технологического контроля



Испытательный центр
общества с ограниченной ответственностью
«Уральский научно-исследовательский институт
строительных материалов»
(ИЦ ООО «УралНИИСтром»)

454047, Россия, Челябинская обл., Челябинск, ул. Станционная, дом 3, корпус 2 тел: (351) 217-09-12 e-mail: ic@uralniistrom.ru
ОГРН 1047403005519, ИНН/КПП 7450033665/740001001 www.uralniistrom.ru

ПРОТОКОЛ № 15.11-1 от 15.11.2021

Основание для проведения испытаний	Подписывается от 15.11.2021
Заказчик, адрес	Акционерное Общество «УралНИИСтром»
Цель испытаний	Определить физико-механические показатели АБ смеси. Проверить на соответствие нормативному составу № 43/2020 и требованиям ГОСТ Р 58406.1-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетонные. Технические условия».
Объект испытаний, (наимр пробы)	1 проба асфальтобетонной смеси ЦМА16 (с/1-35.11)
Дата отбора проб	15.11.2021
Дата проведения испытаний	15.11.2021
Отбор проб	ГОСТ Р 58401.4-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные. Метод отбора проб».
Условия проведения испытаний	Температура воздуха – плюс 22°С; Относительная влажность – 54%.

Результаты испытаний

Таблица 1 – Технические требования

Описание вида характеристики, ед. изм.	Требования к характеристике		Нормативный документ на метод испытаний (раздел, пункт)	Фактическое значение	Соответствие требованиям нормативной документации ЦНИИ
	Нормативные документные (раздел, пункт)	Нормативное значение			
Объемная плотность, г/см ³	ГОСТ Р 58406.1-2020	Не нормируется	ГОСТ Р 58401.10-2019	2,981	-
Содержание воздушных пустот, %	ГОСТ Р 58406.1-2020	От 2,0 до 4,0	ГОСТ Р 58401.8-2019	2,9	Соответствует
Количество зернистого материала, %, по массе	ГОСТ Р 58406.1-2020	-	ГОСТ Р 58401.15-2019	5,6	-
Содержание пылистого, %	ГОСТ Р 58406.1-2020	Не более 0,2	ГОСТ Р 58406.1-2020	0,17	Соответствует
Максимальная прочность, г/см ²	ГОСТ Р 58406.1-2020	Не нормируется	ГОСТ Р 58401.16-2019	2,659	-
Классификация по состоянию	ГОСТ Р 58406.1-2020	Не менее 0,15	ГОСТ Р 58401.18-2019	0,92	Соответствует
Средняя глубина выщелачивания, мм	ГОСТ Р 58406.1-2020	Не более 4,0	ГОСТ Р 58406.3-2019	1,2	Соответствует
Устойчивость смеси к выщелачиванию по показателю средней выщелачивания	ГОСТ Р 58406.1-2020	Не более 0,20	ГОСТ Р 58406.1-2020 (раздел 4)	0,11	Соответствует

Таблица 2 – Зернистый состав асфальтобетонной смеси в % по массе

Проба аБ смеси	Содержание зернистого материала, %						
	25,0	16,0	11,0	8,0	4,0	3,0	0,125
Фактическое значение	100,0	99,2	64,0	45,0	33,3	19,8	6,3
Требования (ГОСТ 58406.1, табл.1)	100	96-100	58-65	35-50	23-38	18-28	7-12

Вывод: Асфальтобетонная смесь ЦМА16, по основным показателям, соответствует требованиям ГОСТ Р 58406.1-2020.
Примечание – Результаты измерения отклонения только в испытанной пробе.

Исполнитель: Инженер-исследователь ИЦ ООО «УралНИИСтром»



Данный Протокол не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения руководства ИЦ ООО «УралНИИСтром»
Лист 1 из 10 листов 1



Испытательный центр
общества с ограниченной ответственностью
«Уральский научно-исследовательский институт
строительных материалов»
(ИЦ ООО «УралНИИСтром»)

454047, Россия, Челябинская обл., Челябинск, ул. Сталеваров, дом 5, корп. 2
ОГРН 1047423005519, ИНН/КПП 7450033665/746001001

тел: (351) 217-08-12

e-mail: lab@2170812.ru
www.uniis.ru



Проверка подлинности



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ИЦ
ООО «УралНИИСтром»

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 83/22 от 02.02.2022

Основание для проведения испытаний	Договор №13/22 от 21.01.2022 (Заявка №51/22 от 21.01.2022)	A
Заказчик		
ИНН/ОГРН		
Дата поступления пробы (№ регистрации в ИЦ)	20.01.2022 (22/22)	
Место и дата отбора		
Объект строительства	-	
Объект испытаний (Шифр пробы в ИЦ)	Грунт строительный (22.1/22). -	
Дата проведения испытаний	24.01.2022-28.01.2021	
Место испытаний	ИЦ ООО "УралНИИСтром", 454047, РОССИЯ, Челябинская обл. Челябинск, ул. Сталеваров, дом 5, корп. 2	
Результаты испытаний	Приведены в таблице 1	

Таблица 1

Определяемая характеристика (показатель)	Ед. изм.	Требования НТД			Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактическое значения показателя	Соответствие характеристик и требованиям нормативной (проектной) документации
		Нормативная (проектная) документация (раздел, пункт)	Наименование показателя	Нормативное значение показателя			
1	2	3	4	5	6	7	
Массовая доля диоксида кремния	%	-	--	-	ГОСТ 8269.1-97 п.4.4	88,26	-
Массовая доля оксида алюминия	%	-	--	-	ГОСТ 8269.1-97 п.4.5	4,30	-
Массовая доля оксида железа (III)	%	-	--	-	ГОСТ 8269.1-97 п.4.5	1,82	-
Массовая доля оксида кальция	%	-	--	-	ГОСТ 8269.1-97 п.4.6	2,33	-
Массовая доля оксида магния	%	-	--	-	ГОСТ 8269.1-97 п.4.6	1,00	-
Массовая доля диоксида титана	%	-	--	-	ГОСТ 8269.1-97 п.4.12	0,17	-
Массовая доля оксида калия	%	-	--	-	ГОСТ 8269.1-97 п.4.8	0,42	-
Массовая доля оксида натрия	%	-	--	-	ГОСТ 8269.1-97 п.	0,40	-

Исполнители

Руководитель ЛФХИ ИЦ ООО «УралНИИСтром»

Инженер-химик ЛФХИ ИЦ ООО «УралНИИСтром»

Протокол сформирован в упрощенном виде, согласно ГОСТ 17025, п. 7.8.1.3

Данный Протокол не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения руководителя ИЦ ООО «УралНИИСтром»

лист 1, всего листов 2

Таблица Д.4 – Покрытия морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита





Типы покрытий				
Наименование покрытия	Сечение	Материал слоя	Толщина слоя, см	Модуль упругости, МПа
ТИП 1		1. ЩМА-16 на БНД 70/100 2. Грунтовермикулитовый слой фракции 0-70 мм 3. Грунт местный суглинок	3 35 75	108
ТИП 2		1. Грунтовермикулитовое гравийное покрытие 2. Грунт местный суглинок	20 150	76
ТИП 3		1. ЩМА-16 на БНД 70/100 2. Крупнозернистый асфальтобетон марки II 3. Щебень фракции 10-20 мм 4. Грунт местный суглинок	5 7 15 20	116
ТИП 4		1. ЩМА-16 на БНД 70/100 2. Крупнозернистый асфальтобетон марки II 3. Плита из полистирола 4. Грунт местный суглинок	5 7 5 12	32

Таблица Д.5 – Планово-расчетные цены на строительство покрытия морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с пенополистирольным дополнительным слоем

СОГЛАСОВАНО:

УТВЕРЖДАЮ:

_____ 2022 г.

_____ 2022 г.

(наименование стройки)

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ № (локальная смета)

на Морозоустойчивая дорожная одежда с пенополистиролом

(наименование работ и затрат, наименование объекта)

Основание:

Сметная стоимость строительных работ _____ 1,714 тыс. руб.

Средства на оплату труда _____ 0,002 тыс. руб.

Сметная трудоемкость _____ 0,16 чел.час

Составлен(а) в текущих (прогнозных) ценах по состоянию на 01.01.2000г

№ пп	Обоснование	Наименование	Ед изм	Кол	Стоимость единицы, руб				Общая стоимость, руб			
					Всего	В том числе			Всего	В том числе		
						Осн З/п	Эк Маш	З/пМех		Осн З/п	Эк Маш	З/пМех
6	7	8	9	10	11	12	13					
Раздел 1. Дорожная одежда												
1	ФЕР27-04-001-01 Приказ Минстроя России от 01.06.2000 №204/пр	Устройство подстилающих и выравнивающих слоев оснований из песка (Прил 27.3 и 3 Производство работ на одной половине проезжей части при габаритно-технических параметрах на двухой ОЗП=1,2, ЗМ=1,2, к.раск., ЗПМ=1,2, ТЗ=1,2, ТЗМ=1,2) НР 142% отФОТ СЛ 81%-95%*0,85 отФОТ	100 м3	0,001	4066,14	138,59	3915,35	205,46	4			4
2	ФССЦ-02.3.01.02-0016 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Песок природный для строительных работ средний с крупностью зерен размером свыше 5 мм-до 5% по массе	м3	0,11	55,28				6			
3	ФЕР27-04-017-01 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Устройство теплоизоляционного слоя из пенополистирола (Прил 27.3 и 3 Производство работ на одной половине проезжей части при габаритно-технических параметрах на двухой ОЗП=1,2, ЗМ=1,2, к.раск., ЗПМ=1,2, ТЗ=1,2, ТЗМ=1,2) НР 142% отФОТ СЛ 81%-95%*0,85 отФОТ	100 м3	0,0003	1623,52	1260,8	362,72	64,03				
4	ФССЦ-12.2.06.09-0004 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Пенополистирол экструдированный ТЕХНОКОЛЬ XPS 30-200 Стандарт	м3	0,03	1418,41				43			
5	ФЕР27-04-006-01 Приказ Минстроя России от 01.06.2000 №204/пр	Устройство оснований толщиной 15 см из щебня фракции 40-70 мм при укатке каменных материалов с пределом прочности на сжатие свыше 68,6 до 98,1 МПа (свыше 700 до 1000 кг/см2) однослойных (Прил 27.3 и 3 Производство работ на одной половине проезжей части при габаритно-технических параметрах на двухой ОЗП=1,2, ЗМ=1,2, к.раск., ЗПМ=1,2, ТЗ=1,2, ТЗМ=1,2) НР (1 руб) 142% отФОТ (1 руб) СЛ (1 руб) 81%-95%*0,85 отФОТ (1 руб)	1000 м2	0,001	31576,94	323,53	8930,86	514,91	32		9	1
6	ФССЦ-02.2.06.04-1817 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Щебень М 800, фракция 40-80(70) мм, группа 2	м3	0,189	103				19			
7	ФЕР27-06-026-01 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Розлив вязких материалов (Прил 27.3 и 3 Производство работ на одной половине проезжей части при габаритно-технических параметрах на двухой ОЗП=1,2, ЗМ=1,2, к.раск., ЗПМ=1,2, ТЗ=1,2, ТЗМ=1,2) НР 142% отФОТ СЛ 81%-95%*0,85 отФОТ	т	0,0003	46,92		46,92	8,58				
8	ФССЦ-01.2.01.01-0019 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр	Битумы нефтяные дорожные вязкие БНД 60/90, БНД 90/130	т	0,0003	1690				1			
9	ФЕР27-06-020-01 Приказ Минстроя России от 13.03.15 №171/пр	Устройство покрытия толщиной 4 см из горячих асфальтобетонных смесей плотных мелкозернистых типа АБ, плотность каменных материалов 2,5-2,9 т/м3 3 798,17 = 66 660,96 - 66,6 * 636,71 (Прил 27.3 и 3 Производство работ на одной половине проезжей части при габаритно-технических параметрах на двухой ОЗП=1,2, ЗМ=1,2, к.раск., ЗПМ=1,2, ТЗ=1,2, ТЗМ=1,2) НР (1 руб) 142% отФОТ (1 руб) СЛ (1 руб) 81%-95%*0,85 отФОТ (1 руб)	1000 м2 покрытия	0,001	4457,33	622,76	3580,8	444,64	4	1		3
10	ФССЦ-04.2.03.01-0002 Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/пр КСМ	Смеси асфальтобетонные щебеночно-мастичные ШМА-15	т	0,13	399,3				52			
Итого прямые затраты по смете в базисных ценах									161	1	16	1
Накладные расходы									3			
Сметная прибыль									2			
Итого по смете:												
Автомобильные дороги									166			
Итого									166			
В том числе												
Материалы									144			
Машины и механизмы									16			
ФОТ									2			
Накладные расходы									3			
Сметная прибыль									2			
(3 квартал 2021 г.) 166 * 8,6									1428			
НДС 20%									285,6			
ВСЕГО по смете									1713,6			

Составил _____
(должность, подпись, расшифровка)

Заказчик _____

(наименование организации)

"Утвержден" « » _____ 2020 г.

(ссылка на документ об утверждении)

« » _____ 2020 г.

СВОДНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Морозоустойчивая дорожная одежда с пенополистиролом

(наименование стройки)

Составлен в ценах по состоянию на IV квартал 2021 г

№ пп	Номера сметных расчетов и смет	Наименование глав, объектов, работ и затрат	Сметная стоимость, тыс. руб.				Общая сметная стоимость, тыс. руб.
			строительных работ	монтажных работ	оборудования, мебели, инвентаря	прочих	
1	2	3	4	5	6	7	8
Основные объекты строительства							
3	02-01-02	Устройство дорожной одежды	1428				1428
		Итого по Главе 2. "Основные объекты строительства"	1428				1428
		Итого по Главе	1428,00				1428,00
	сдл	Перевод из базисных в текущие цены по состоянию на IV квартал 2021 года выполнен по итогу сводного сметного расчета с использованием индекса 8,6 (автомобильные дороги) при переводе по приложению к	8,60				
		Всего с учетом "Перевод цен до начисления лимитированных затрат"	12280,80				12280,80
Временные здания и сооружения							
6	п.3.52 Методики, утв. приказом Минстроя РФ №332/пр	Временные здания и сооружения 4,1%	503,51				503,51
		Итого по главе	503,51				503,51
		Итого по Главам	12784,31				12784,31
Глава 9. Прочие работы и затраты							
7	ГСН 81-05-02-2007	Зимнее удорожание (1,8%*1,1=1,98%)	253,13				253,13
		Итого по Главам	13037,44				13037,44
Непредвиденные затраты							
8	Методика, утв. приказом Минстроя РФ №402, п.178;	Непредвиденные затраты - 3%	391,12				391,12
		Итого "Непредвиденные затраты"	391,12				391,12
Дополнительные затраты в текущих ценах							
9	Методика, утв. приказом Минстроя РФ №402, п.180	НДС - 20%	2685,71				2685,71
		Итого "Дополнительные затраты в текущих ценах"	2685,71				2685,71
Налоги и обязательные платежи							
		Всего по сводному расчету на 1 км	16114,28				16114,28

Таблица Д.6 – Планово-расчетные цены на строительство покрытия морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита

СОГЛАСОВАНО:

УТВЕРЖДАЮ:

_____ 2022 г.

_____ 2022 г.

(наименование стройки)

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ №
(локальная смета)

на **Морозоустойчивая дорожная одежда с добавками из вермикулита**

(наименование работ и затрат, наименование объекта)

Основание: Ведомость объемов работ

Сметная стоимость строительных работ _____ 0,763 тыс. руб.

Средства на оплату труда _____ 0,001 тыс. руб.

Сметная трудоемкость _____ 0,07 чел.час

Составлен(а) в текущих (прогнозных) ценах по состоянию на 01.01.2000г

№ пп	Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Кол.	Стоимость единицы, руб.				Общая стоимость, руб.			
					Всего	В том числе			Всего	В том числе		
1	2	3	4	5	6	Осн.Зп	Эк.Маш	ЗпМех	10	Осн.Зп	Эк.Маш	ЗпМех
Раздел 1. Дорожная одежда												
13	ФЕР01-01-031-02 Прказ Миктвоя Рксии от01.12.2019 №879/пр	Разработка грунта с перемещением до 10 м бульдозерами мощностью: 96 кВт (130 л.с.), группа грунтов 2	1000 м3	0,00065	940,5		940,5	135	1			1
14	ФЕР01-01-031-10 Прказ Миктвоя Рксии от01.12.2019 №879/пр	При перемещении грунта на каждые последующие 10 м добавлять: к расценке 01-01-031-02 (П3=1,03П=4, 3М=4 к раск.; 3ЛМ=4, Т3=4, Т3М=4) НР 9% отФОТ СЛ 42%=20%*0,85 отФОТ	1000 м3	0,00065	3160,08		3160,08	453,6	2			2
15	ФЕР01-02-001-01 Прказ Миктвоя Рксии от01.06.2020 №294/пр	Уплотнение грунта прицепными катками на пневмоколесном ходу 25 т на первый проход по одному следу при толщине слоя 25 см НР 9% отФОТ СЛ 42%=20%*0,85 отФОТ	1000 м3	0,00085	1289,08		1289,08	212,76	1			1
16	ФЕР01-02-001-07 Прказ Миктвоя Рксии от01.06.2020 №294/пр	На каждый последующий проход по одному следу добавлять: к расценке 01-02-001-01 (П3=7,03П=7, 3М=7 к раск.; 3ЛМ=7, Т3=7, Т3М=7) НР 9% отФОТ СЛ 42%=20%*0,85 отФОТ	1000 м3	0,00085	1176,66		1176,66	180,11	1			1
17	ФЕР01-02-006-01 Прказ Миктвоя Рксии от26.12.2019 №879/пр	Полив водой уплотняемого грунта насыпей НР 9% отФОТ СЛ 42%=20%*0,85 отФОТ	1000 м3	0,00013	1686,01	100,01	1342	141,52				
4	ФЕР27-01-004-01 (прим) Прказ Миктвоя Рксии от01.06.2020 №294/пр	Устройство оснований и покрытий автогрейдером из готовой гритвермикулитовой смеси толщиной 25 см, приготовленной из песчаных, супесчаных грунтов (прил 27.3 п.3 Производство работна одной полосе проезжей части при систематическом движении транспорта на дороге 03П=1,2, 3М=1,2 к раск.; 3ЛМ=1,2, Т3=1,2, Т3М=1,2) НР 14% отФОТ СЛ 61%=20%*0,85 отФОТ	1000 м2	0,001	5970,39	211,51	1325,47	83,45	6			1
6	ФСЦЛ-02.1.02.02-0001 Прказ Миктвоя Рксии от26.12.2019 №879/пр	Смесь портцементная для песчаных, супесчаных грунтов	м3	0,0102	406,1				4			
7	ФЕР27-06-026-01 Прказ Миктвоя Рксии от26.12.2019 №879/пр	Розлив вяжущих материалов (прил 27.3 п.3 Производство работна одной полосе проезжей части при систематическом движении транспорта на дороге 03П=1,2, 3М=1,2 к раск.; 3ЛМ=1,2, Т3=1,2, Т3М=1,2) НР 14% отФОТ СЛ 61%=20%*0,85 отФОТ	т	0,0003	46,92		46,92	8,58				
8	ФСЦЛ-01.2.01.01-0019 Прказ Миктвоя Рксии от26.12.2019 №879/пр	Битумы нефтяные дорожные вяжущие БНД 60/90, БНД 90/130	т	0,0003	1800				1			
9	ФЕР27-06-020-01 Прказ Миктвоя Рксии от13.03.15 №177/пр	Устройство покрытия толщиной 4 см из горячих асфальтобетонных смесей плотных мелкозернистого типа АББ, плотность каменных материалов 2,5-2,9 т/м3 3 106,17 = 20 602,96 = 96 61,326,71 (прил 27.3 п.3 Производство работна одной полосе проезжей части при систематическом движении транспорта на дороге 03П=1,2, 3М=1,2 к раск.; 3ЛМ=1,2, Т3=1,2, Т3М=1,2) НР (1 руб.) 14% отФОТ (1 руб.) СЛ (1 руб.) 61%=20%*0,85 отФОТ (1 руб.)	1000 м2 покрытия	0,001	4457,36	622,76	3560,8	444,64	4	1		3
10	ФСЦЛ-04.2.03.01-0002 Прказ Миктвоя Рксии от26.12.2019 №879/пр	Смеси асфальтобетонные щебеночно-мастичные ЦМА-15	т	0,13	399,3				62			
Итого прямые затраты по смете в базисных ценах									72	1		9
Накладные расходы									1			
Сметная прибыль									1			
Итого по смете:									74	1		9
Земляные работы, выполняемые механизированным способом									5			
Автомобильные дороги									69			
Итого									74			
В том числе:												
Материалы									62			
Машины и механизмы									9			
ФОТ									1			
Накладные расходы									1			
Сметная прибыль									1			
(3 квартал 2021г.) 74 * 8,6									636			
НДС 20%									127,2			
ВСЕГО по смете									763,2			

Составил _____
(должность, подпись, расшифровка)

Заказчик _____
(наименование организации)

"Утвержден" « » _____ 2020 г.

_____ (ссылка на документ об утверждении)

« » _____ 2020 г.

СВОДНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Морозоустойчивая дорожная одежда с добавками из вермикулита
(наименование стройки)

Составлен в ценах по состоянию на IV квартал 2021 г

№ пп	Номера сметных расчетов и смет	Наименование глав, объектов, работ и затрат	Сметная стоимость, тыс. руб.				Общая сметная стоимость, тыс. руб.
			строительных работ	монтажных работ	оборудования, мебели, инвентаря	прочих	
1	2	3	4	5	6	7	8
Основные объекты строительства							
3	02-01-02	Устройство дорожной одежды	636				636
		Итого по Главе 2. "Основные объекты строительства"	636				636
		Итого по Главе	636,00				636,00
	сдл	Перевод из базисных в текущие цены по состоянию на IV квартал 2021 года выполнен по итогу сводного сметного расчета с использованием индекса 8,6 (автомобильные дороги) при переводе по приложению к	8,60				
		Всего с учетом "Перевод цен до начисления лимитированных затрат"	5469,60				5469,60
Временные здания и сооружения							
6	п.3.52 Методики, утв. приказом Минстроя РФ №332/пр	Временные здания и сооружения 4,1%	224,25				224,25
		Итого по главе	224,25				224,25
		Итого по Главам	5693,85				5693,85
Глава 9. Прочие работы и затраты							
7	ГСН 81-05-02-2007	Зимнее удорожание (1,8%*1,1=1,98%)	112,74				112,74
		Итого по Главам	5806,59				5806,59
Непредвиденные затраты							
8	Методика, утв. приказом Минстроя РФ №402, п.178;	Непредвиденные затраты - 3%	174,20				174,20
		Итого "Непредвиденные затраты"	174,20				174,20
Дополнительные затраты в текущих ценах							
9	Методика, утв. приказом Минстроя РФ №402, п.180	НДС - 20%	1196,16				1196,16
		Итого "Дополнительные затраты в текущих ценах"	1196,16				1196,16
Налоги и обязательные платежи							
		Всего по сводному расчету на 1 км	7176,95				7176,95

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

РЕКОМЕНДОВАНО:

«УТВЕРЖДАЮ»

Методической комиссии Инженерно-технического института
 Протокол № 6 от "08" 02 2022г.
 Председатель А.А. Чижов/



Директор Инженерно-технического института
 Е.Е. Шишкина
 2022 г.

АКТ

о внедрении в учебный процесс по кафедре Транспорта и дорожного строительства Инженерно-Технического Института по проблеме «Совершенствование методов проектирования и строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита».

Предусмотренный планом научно-технической программы по грантам и планам аспирантуры.

1. **Выполненный кафедрой Транспорта и дорожного строительства ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет.**

2. **Исполнитель** – д.т.н., профессор Кручинин Игорь Николаевич
3. **Соискатель** — Ахтямов Эльдар Рашидович
4. **Наименование разделов темы, выполненных соискателем:**

Обоснование структуры лесотранспортных сетей и особенностей технологических процессов строительства лесовозных дорог на территории трансграничных лесов Евразии; разработка методик и математической модели оптимального проектирования морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог, обеспечивающие их работоспособность в сложных природно-климатических условиях; разработка методик по оценке физико-механических характеристик конструктивных слоев морозоустойчивых дорожных одежд при применении добавок из вермикулита; реализация путей повышения технологической эффективности строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог, отличающиеся возможностью применения добавок из вермикулита и позволяющие повысить качество строительства лесовозных дорог.

5. **Краткое описание результатов внедрения, конечный результат.**

Разработаны теоретические основы проектирования и строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с добавками из вермикулита для условий трансграничных лесов Евразии.

6. **Внедрение по курсу дисциплин:** «Инженерные изыскания и проектирование лесных дорог», «Автоматизированное проектирование лесных автомобильных дорог», «Строительство лесных автомобильных дорог»,

«Основы организации и управления в строительстве лесных автомобильных дорог», «Строительные материалы».

7. **Влияние на качество подготовки специалистов** — решается актуальная задача для лесопромышленного комплекса по проектированию и оптимизации материально-транспортного и технологического процесса научно-исследовательского характера.

8. **Рекомендации** — результаты исследований используются в курсовых и выпускных квалификационных работах выпускающей кафедры Транспорта и дорожного строительства.

9. **Эффект от внедрения** — результаты исследований опубликованы в десяти научных работах, из них, в четырех в изданиях рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Состав комиссии:

Зав. кафедрой транспорта и
дорожного строительства



С.А. Чудинов

доцент кафедры транспорта и
дорожного строительства



М.В. Савсюк

доцент кафедры транспорта и
дорожного строительства



А.Ю. Шаров

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Ухтинский государственный технический университет»
(УГТУ)



А К Т

о внедрении в учебный процесс по кафедре
Технологии и транспортно-технологических машин (ТиТТМ)
Ухтинского государственного технического университета (УГТУ)
разработок по проблеме
«Совершенствование методов проектирования и строительства
морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог
с добавками из вермикулита»

1. Выполненный кафедрой Технологии и транспортно-технологических машин Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ухтинский государственный технический университет».
2. Ответственные исполнители – заведующий кафедрой, доцент, кандидат технических наук, Михайленко Екатерина Викторовна.
3. Соискатель – Ахтямов Э.Р.
4. Наименование разделов темы, выполненных соискателем: разработка математической модели оптимального проектирования морозоустойчивых дорожных одежд; совершенствовании технологии строительства лесовозных дорог с добавками из вермикулита; разработка рекомендаций на выполнение работ по устройству морозозащитных грунтовермикулитовых слоев лесовозных дорог.
5. Краткое описание результатов внедрения, конечный результат:
Разработана математическая модель проектирования морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог, построенная с учетом теплотехнических свойств дорожно-строительных материалов для конструктивных слоев; предложенные пути повышения технологической эффективности строительства

морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог, с учетом применяемых дорожно-строительных машин и материалов.

6. Внедрение по курсу дисциплин: «Дорожные машины», «Дорожно-строительные материалы и машины», Сухопутный транспорт леса.

7. Влияние на качество подготовки специалистов – решается актуальная задача повышения качества создания транспортной инфраструктуры лесов с применением морозоустойчивых дорожных конструкций.

8. Рекомендации – результаты исследований использовались в курсовом и дипломном проектировании выпускающей кафедры ТиГТМ.

9. Эффект от внедрения – результаты исследований опубликованы в десяти научных статьях, из них четыре в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Состав комиссии:

Заведующий кафедрой,
доцент, кандидат технических наук



Е. В. Михайленко

Доцент кафедры ТиГТМ,
канд. техн. наук



Р. С. Тимохов

Доцент кафедры ТиГТМ,
канд. техн. наук



Ю. М. Чемшикова



ООО «Уралвермикулит»
 ИНН/КПП 7413010437/ 741301001
 456862, Челябинская область,
 г. Кыштым, п. Тайгинка, ул. Мира, 1а, стр. 1
 8 (800) 551-31-16, zakaz@7359808.ru
uralvermiculit.ru

Лидер по добыче и производству вермикулита



АКТ

внедрения методов проектирования и строительства
 морозоустойчивых дорожных одежд лесовозных дорог с
 добавками из вермикулита

Установлено, что при проектировании и строительстве лесовозных дорог трансграничных лесов Евразии необходимо учитывать морозоустойчивость дорожных одежд. Методика, алгоритмы и программное обеспечение проектирования и строительства морозоустойчивых дорожных одежд с добавками из вермикулита, разработанные, прикрепленным для завершения диссертационного исследования Ахтямовым Э.Р. и научным руководителем, профессором кафедры транспорта и дорожного строительства Кручининым И.Н., позволяет создавать дорожные конструкции, рассчитанные на эксплуатацию в сложных природно-климатических условиях, с жизненным циклом до 50 лет.

Предложенная методика, включающая: оптимизационные модели проектирования морозоустойчивых дорожных одежд, лабораторный подбор оптимального состава материалов с добавками из вермикулита; технологии строительства морозозащитных слоев дорожных одежд лесовозных дорог используется в ООО «УралВермикулит» (Челябинской области) с 2021 г. для расчета технико-экономических показателей и обоснования проектных решений создания транспортной инфраструктуры при реализации Лесного плана Челябинской области.

В результате внедрения проектных и строительных решений получено снижение стоимости морозоустойчивых дорожных одежд, за счет уменьшения затрат на строительные работы и использования теплоизолирующих материалов с улучшенными экологическими показателями до 17 - 28 %.

Главный инженер



О.А. Курчавова

Соискатель УГЛТУ

Э.Р. Ахтямов