

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

На правах рукописи



Шакирзянов Дмитрий Игоревич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА
ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ ИЗ НЕКОНДИЦИОННЫХ
ЩЕБЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

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

2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ И СЕВЕРНОГО УРАЛА	10
1.1 Транспортно-эксплуатационные показатели лесовозных дорог	10
1.2 Опыт применения каменных материалов для строительства лесовозных дорог с низкой интенсивностью движения	23
1.3. Обзор производственной базы каменных материалов Свердловской области и Северного Урала	32
1.4 Обзор современных технологий строительства дорожных покрытий лесовозных дорог	34
Выводы по главе и постановка цели и задач исследования.....	40
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОКРЫТИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ ИЗ НЕКОНДИЦИОННЫХ ЩЕБЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	42
2.1 Теоретические основы формирования структурных связей в щебеночных покрытиях лесовозных дорог	42
2.2 Математическое моделирование процесса строительства щебеночного покрытия лесовозной дороги.....	58
2.3. Результаты моделирования процесса строительства щебеночного покрытия лесовозной дороги	71
Выводы по главе	79
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЩЕБЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ.....	81
3.1 Разработка методики проведения экспериментальных исследований по строительству щебеночных покрытий лесовозных дорог	81

3.2. Лабораторные исследования по уплотнению щебеночных материалов	85
3.3. Производственные исследования строительства щебеночных покрытий лесовозных дорог	96
Выводы по главе	102
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ ЩЕБЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ ИЗ НЕКОНДИЦИОННЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ	
4.1 Совершенствование технологии строительства щебеночных покрытий при строительстве лесовозных дорог	104
4.2 Разработка рекомендаций на выполнение работ по устройству щебеночных покрытий лесовозных дорог	117
4.3 Технология устройства дорожных одежд лесовозных дорог из щебеночных материалов	121
4.4 Оценка эффективности строительства лесовозных дорог	132
Выводы по главе	136
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	138
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	140
ПРИЛОЖЕНИЕ А	159
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	170
ПРИЛОЖЕНИЕ В	177
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	181
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	188
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	212

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В современных условиях ведение лесопромышленной деятельности ограничено возможностью использования качественных дорожно-строительных материалов для строительства и эксплуатации лесовозных дорог. В настоящее время на территории Свердловской области реализуется свыше семи инвестиционных проектов по освоению лесов, транспортная доступность которых составляет не более 60%. А степень обеспеченности дорожно-строительными материалами, для создания транспортной инфраструктуры лесов еще меньше и не превышает 35 %. Актуальность темы исследования совершенствование технологии строительства лесовозных дорог из некондиционных щебеночных материалов исходит прежде всего из возможности применения в качестве дорожно-строительных материалов неиспользуемых остатков переработки каменных материалов производственной базы строительства Свердловской области и Северного Урала.

Следует отметить, что использование для строительства лесовозных лесных дорог местных некондиционных щебеночных материалов сопряжено с рядом технологических и эксплуатационных трудностей. Эти некондиционные материалы являются либо отходами горнодобывающей промышленности, либо низкосортными каменными материалами с нестабильными зерновыми составами и не удовлетворяют требованиям нормативно технической документации по строительству автомобильных дорог. При этом, ежегодно на территории области образуется около 18 млн. тонн неиспользуемых остатков каменных материалов и вскрышных пород. Такое количество отходов каменных материалов оказывает серьезное негативное влияние на лесопользование в Свердловской области и районах Северного Урала.

Таким образом, актуальность работы состоит в совершенствовании технологии строительства лесовозных автомобильных дорог из некондиционных щебеночных материалов в условиях Свердловской области и Северного Урала.

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 строительства лесовозных лесных автомобильных дорог и элементов транспортной инфраструктуры занимались такие учреждения Высшего Образования, как СПбГЛТУ, ВГЛТУ, УГЛТУ, УГТУ, ПГТУ. Разработаны вопросы проектирования и строительства лесовозных лесных автомобильных дорог. Выполненные исследования направлены на оценку транспортных, эксплуатационных и экологических качеств лесовозных дорог. Значительное количество исследований посвящено анализу транспортной инфраструктуры лесосырьевой базы Свердловской области и Северного Урала.

При этом требования, предъявляемые к обеспечению устойчивого развитию лесотранспортной инфраструктуры и технологиям строительства лесовозных дорог, работающих на арендуемых лесных участках Северного региона Свердловской области и Северного Урала до конца не сформулированы.

В диссертации обосновывается решение проблемы повышения технологической эффективности строительства лесовозных дорог из местных некондиционных щебеночных материалов в условиях Свердловской области и Северного Урала.

Цель исследования. Совершенствование технологии строительства лесовозных дорог из некондиционных щебеночных материалов в условиях Свердловской области и Северного Урала.

Задачи исследования:

1. Провести анализ современных технологий строительства лесовозных дорог с покрытиями из щебеночных материалов;

2. Разработать математическую модель строительства лесовозных дорог с покрытиями из некондиционных щебеночных материалов;

3. Исследовать изменения физико-механических свойств щебеночных покрытий лесовозных дорог из некондиционных каменных материалов в процессе строительства;

4. Разработать технологию строительства лесовозных дорог с покрытиями из некондиционных щебеночных материалов и дать рекомендации по их строительству.

Объект исследования: лесовозные дороги.

Предмет исследования: щебеночные покрытия лесовозных дорог, технологии 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. Разработанные методики и математическая модель строительства лесовозных дорог с покрытиями из некондиционных щебеночных материалов, построенная на основе теории нечетких множеств и нечетких нейронных сетей, отличающиеся учетом неопределенности физико-механических характеристик некондиционных щебеночных материалов.

2. Разработанные методики оценки прочностных свойств щебеночных покрытий лесовозных дорог, отличающиеся учетом зернового состава и степени уплотнения некондиционных щебеночных материалов, обеспечивающие увеличение прочностных качеств дорожных покрытий.

3. Предложенные пути повышения технологической эффективности строительства лесовозных дорог с покрытиями из некондиционных щебеночных материалов, отличающиеся учетом функционально-технологических па-

раметров вибрационных катков и совмещения операций по уплотнению и измельчению каменного материала, позволяющие повысить качество строительства лесовозных дорог.

Научные положения, выносимые на защиту.

1. Методика и математическая модель, процесса строительства лесовозных дорог с покрытиями из некондиционных щебеночных материалов на основе теории нечетких множеств и построения нечетких нейронных сетей, позволяющие формировать устойчивые дорожные покрытия.

2. Методика оценки прочностных свойств щебеночных покрытий лесных дорог, позволяющая разрабатывать мероприятия по формированию уплотненного слоя дорожного покрытия, с учетом неопределенности зернового состава и физико-механических характеристик некондиционного щебеночного материала.

3. Рекомендации по повышению технологической эффективности строительства лесовозных дорог с покрытиями из некондиционных щебеночных материалов, позволяющие обеспечивать подбор вибрационных катков с учетом их функционально-технологических параметров и совмещения операций по уплотнению и измельчению каменного материала.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в разработке математической модели строительства лесовозных дорог с покрытиями из некондиционных щебеночных материалов и совершенствовании технологии строительства лесовозных дорог с покрытиями из местных некондиционных щебеночных материалов в условиях Свердловской области и Северного Урала.

Результаты работы позволят повысить технический уровень вновь строящихся лесовозных дорог, реализовать концепцию развития местных инвестиционных проектов повышения транспортной доступности лесов, приводящих к сокращению затрат на дорожно-строительные материалы и дорожно-строительную технику.

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. Полученные алгоритмы реализованы в виде вычислительных экспериментов в среде *Simulink*, *Fuzzy Logic Toolbox*, *FIS Editor*.

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, получены теоретические и экспериментальные результаты, осуществлены их обработка, интерпретация и внедрение в производство и учебный процесс.

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

– Цифровые технологии в лесном секторе. Материалы Всероссийской научно-технической конференции Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова (Санкт-Петербург, 2020 г.);

– Химия. Экология. Урбанистика. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). (Пермь, 2020).

– Всероссийская научно-практическая конференция «Современные проблемы развития Европейского Севера». (Ухта, 2021 г);

Реализация работы. Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены в Серовском районе Свердловской области, используются в учебном процессе Уральского государственного лесотехнического университета и Ухтинского государственного технического университета.

Публикации. Результаты исследований отражены в 8 научных работах общим объемом 3,9 п.л. (авторских 1,3 п.л.), в том числе в 3 статьях, в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, в 1 статье в изданиях индексируемых Scopus, 1 патент РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, общих выводов и приложений; содержит 216 страниц текста, 29 таблиц, 48 рисунков и библиографического списка из 157 наименований, включая 27 на иностранных языках.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ И СЕВЕРНОГО УРАЛА

1.1 Транспортно-эксплуатационные показатели лесовозных дорог

Существующая практика по оценке системы лесотранспорта неотделима от оценки степени ее воздействия как на экологическую, так и на средообразующую функцию леса.

Система устойчивого управления лесами влияет как на выбор технологий транспортных операций, так и на систему ограничений. Одним из основных элементов освоения лесов, их охраны, защиты и воспроизводства является дорожно-транспортная инфраструктура, к которым относятся и лесные дороги.

Лесным законодательством устанавливается, что лесовозные дороги могут создаваться при любых видах использования лесов [110]. Слабо развитая дорожно-транспортная инфраструктура лесозаготовительного производства существенно сдерживает возможности более полного освоения эксплуатационных лесов, а также снижает их экономическую доступность к древесным лесным ресурсам.

Общая протяженность дорог в лесах Российской Федерации, по состоянию на начало 2020 г., составляла около 1,25 млн. км. При этом, протяженность всех лесных дорог с дорожным покрытием составляет не более пяти процентов. Преобладают дороги с улучшенными грунтовыми покрытиями, около 972 тыс. км и временные дороги, протяженность около 220 тыс. км [122].

Следует отметить, что общая сеть лесных дорог в Российской Федерации составляет примерно 1,46 км на одну тыс. га лесных земель, что значительно меньше, чем в странах Западной Европы. По Свердловской области этот показатель несколько выше и может достигать до 5,6 км на одну тыс. га, при средней дальности вывозки лесоматериалов около 49,8 км [1].

Особенности ведения лесного хозяйства в Свердловской области и на территории Северного Урала состоит том, что освоение лесов происходит свыше двухсот лет. Это привело к тому, что существующие, в настоящее время лесные базы значительно удалены от деревоперерабатывающих предприятий, а лесовозные дороги к ним проходят через большое количество муниципальных образований [67].

Основой транспортной инфраструктуры лесов являются лесовозные дороги. Лесные лесовозные дороги служат основным технологическим элементом лесотранспортного производства.

Основные качества лесовозных дорог и лесовозных сетей были сформулированы в исследованиях таких ученых как, В. И. Алябьев [3], Н. П. Вырко [15], Б. А. Ильин [38, 39], И. И. Леонович [34], Э. О. Салминен [100] и др.

Существенный вклад в улучшение транспортно-эксплуатационных показателей лесных дорог внесли ученые: О. Н. Бурмистрова [119], И. Н. Кручинин [57, 58], В. К. Курьянов [63], М. Г. Салихов [10], М. Ю. Смирнов [108], С. И. Сушков [119], А. В. Скрыпников [105]. Значительный вклад по оценке временных и сезонных лесовозных дорог внесен в работах С. И. Морозова [72], М. И. Корунова. В основе проведенных ими исследование положен принцип повышения основных транспортно-эксплуатационных характеристик.

Лесовозные дороги сооружают для перевозки древесины и других грузов, осуществляемой лесозаготовительными или лесохозяйственными предприятиями. Вся основная лесотранспортная сеть построена по многоступенчатой схеме (см. рисунок 1.1), которая включает в себя:

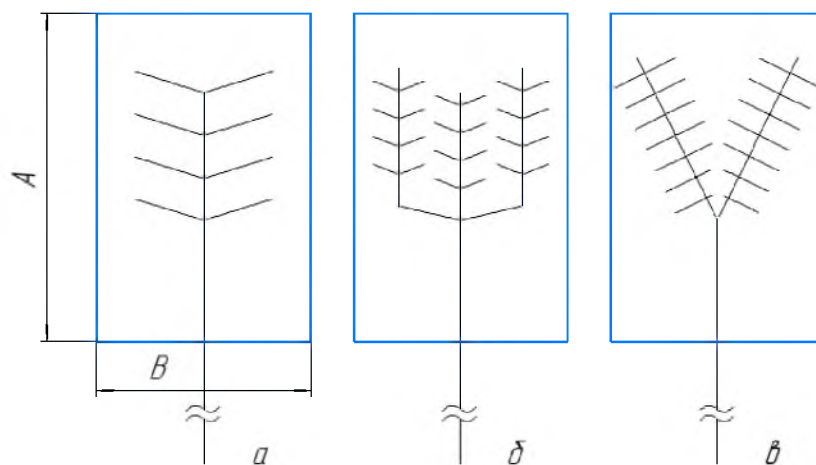
- магистраль;
- ветки;
- усы.

Все лесовозные дороги в зависимости от срока их эксплуатации подразделяются на постоянные и временные.

Лесовозные дороги постоянного действия могут находиться в эксплуатации свыше пяти лет [110]. 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 арендованного участка.



а – в простую елочку; *б* – вильчатого типа; *в* – с раздвоенной магистралью.

Рисунок 1.1 – Структура транспортной инфраструктуры лесопромышленного производства (по материалам *Б. А. Ильина*)

Согласно действующей нормативно технической документации [110], лесные дороги лесных предприятий включают себя следующие виды:

– внешние лесовозные дороги или подъездные дороги. Их назначение в создании транспортных связей между лесохозяйственными предприятиями, которые осуществляют заготовку и переработку леса, с дорогами общего пользования. Их проектируют по нормам для дорог IV-III категорий общего пользования [110];

– межплощадочные лесовозные дороги. Их назначение в создании транспортных связей между удаленными участками и территориями, на которых происходит заготовка древесины и другие виды лесохозяйственной деятельности.

Межплощадочные лесовозные дороги по своему назначению можно отнести к магистральным дорогам, к внутриплощадочным, веткам и внутривозовским магистральным дорогам.

Транспортная доступность лесных кварталов по каждому лесничеству делится на 3 категории (по степени транспортной доступности):

- для I категории удаленность от существующих лесовозных дорог может составлять до 5 км;
- для II категории удаленность от 5 до 10 км;
- для III категории удаленность составляет более 10 км.

К основным эксплуатационными показателями лесовозных дорог относятся:

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

По общим объемам грузовой работы все лесовозные дороги делятся на две категории:

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

Лесовозные дороги относятся и к дорогам промышленного транспорта. На эту структуру указывает возможность их прокладки по лесным массивам, а от них к автомобильным дорогам общего пользования, а также к производственным цехам лесопромышленных предприятий.

Лесовозные дороги также включают в себя и комплекс дорог лесохозяйственного назначения.

Назначение лесовозных дорог следует рассматривать в обеспечение работ по лесовосстановительным мероприятиям и лесохозяйственным мероприятиям.

Согласно [110] лесовозные дороги можно разделить на 2 типа:

- I тип — магистральные дороги, объединяющие дороги низших типов в единую транспортную сеть;

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

Классификация лесохозяйственных дорог приведена в таблице 1.1 [111].

Таблица 1.1– Классификация лесовозных дорог (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

Современные нормативные документы устанавливают новые принципы классификации автомобильных дорог РФ [20]. В частности, лесотранспортная инфраструктура включена в раздел ведомственных и частных автомобильных дорог необщего пользования.

В своде правил СП 288.1325800.2016. Лесные дороги приведены правила проектирования и строительства, детально разработаны основные требования предъявляемые к лесовозным дорогам, которые проходят по территориям лесного фонда Российской Федерации [110].

Лесные дороги по назначению разделяют на:

- лесовозные дороги;
- лесохозяйственные дороги.

Лесовозные дороги предназначены для вывозки заготовленной древесины с мест заготовки, перевозки лесозаготовительной техники, технических грузов и доставки персонала к местам работы и обратно, а также для лесохозяйственных

целей (охраны, защиты и воспроизводства лесов). Необходимо уточнить, что лесовозные дороги строят в эксплуатирующихся лесах на долгосрочный период. По срокам действия можно выделить лесовозные дороги постоянного действия и временные. Лесовозные дороги постоянного действия являются объектами капитального строительства и подразделяются на:

- грузосборочные (лесовозные магистрали);
- лесовозные ветки – ответвления от лесовозной магистрали;
- лесовозные усы – ответвления от лесовозных веток.

Временные лесовозные дороги не являются объектами капитального строительства и создаются без разработки проекта, соответствующего требованиям настоящего свода правил и правил заготовки древесины. Временные лесовозные дороги можно разделить на лесные дороги летнего действия и зимнего (зимники) [110, 111].

Лесохозяйственные дороги строят в защитных и резервных лесах и не используют для вывозки древесины. Категории лесных дорог приведены в таблице 1.2.

На лесовозных дорогах, предназначенных для вывозки заготовленной древесины, основным транспортным средством являются лесовозные автопоезда (до 80% интенсивности движения). Так же по лесовозным дорогам выполняется транспортировка различных технических грузов, главным образом лесозаготовительной техники и рабочих к местам работ.

Следует отметить и исключительные противопожарные функции лесовозных дорог, которые необходимо учитывать [26].

Также о сложности проблемы говорит и сложившаяся ситуация, когда в мировой практике лесовозными дорогами стали заниматься как департаменты дорожного строительства, так и сельского хозяйства. Возможность появления этого вида дорог возникла из-за вступления в действие законодательных актов в сфере разграничения полномочий между органами государственной власти и местного самоуправления.

Таблица 1.2 – Классификация лесных дорог (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	Iл
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	IIл
Лесная дорога, примыкающая к лесным дорогам категории	Менее 0,14	IIIл
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	IVл

Необходимо отметить и появление СП 243.1326000.2015 «Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения». Настоящий свод правил вводит нормы и правила на проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения на территории Российской Федерации (автомобильные дороги регионального, межмуниципального и местного значения; частные, как общего, так и не общего пользования) со среднегодовой суточной интенсивностью движения не более 400 авт. в сутки [109].

Дорожный фонд лесовозных дорог для Свердловской области, насчитывает более 56 тыс. километров, из них лесовозных круглогодичного действия составляет около 2,5 тыс. км. Подавляющее большинство из них являются без

права собственности, их эксплуатация производится только на принципах освоения близлежащих лесных участков (см. Приложение А, таблица А.1).

Особо хочется отметить, что транспортная инфраструктура лесов Свердловской области выступает в виде связующего звена между Европой и Азией, что способствует осуществлению многосторонних экономических, культурных, и социальных связей. Помимо этого, Свердловская область представляет собой один из крупнейших промышленных центров, максимально приближенных к зоне стратегических запасов лесного сырья (Ханты-Мансийскому автономному округу, Республике Коми), будущее освоение которого составляет основу перспективного развития промышленного потенциала прилегающих территорий.

Освоение лесных ресурсов Свердловской области напрямую связаны с транспортным освоением лесосырьевых территорий Северного и Приполярного Урала.

Протяженность автомобильных дорог общего пользования Федерального, Регионального и межмуниципального значения в Свердловской области составляет почти 31254,7 км, из которых протяженность дорог Федерального значения составляет около 588,3 км (2%), Регионального и Межмуниципального значения – 10 990,9 км (35%), местного значения – 19675,5 км (63%) (см. таблица 1.3).

Доля протяженности дорог с твердым покрытием от общей протяженности автомобильных дорог Свердловской области составляет около 24 292,9 км [67].

Общая протяженность автомобильных дорог регионального и муниципального значения – 8 827,426 км и имеют дорожное покрытие усовершенствованного типа, 1523,098 км – автомобильные дороги с покрытием переходного типа, а 632,445 км – с грунтовым покрытием (см. Приложение А таблицы А.2 и А.3).

Сведения обеспеченности лесов транспортными путями (по данным лесного плана Свердловской области на 2019–2028 годы) приведены в Приложении А, таблица А.4.

Таблица 1.3 – Общая протяженность автомобильных дорог на территории
лесного фонда Свердловской области

Виды дорог	Протяжённость дорог, км						
	Всего	Лесохозяйственных (по типам)				Лесовоз- ных	Общего пользо- вания
		I тип	I тип	III тип	Итого		
Дороги – всего, в том числе:	102427,6	4749,1	14579,1	46210,3	65538,5	13937,2	22951,9
а) автомобиль- ные, из них:	3760,7	144,7	2,7	3,0	150,4	1233,7	2376,6
– с твердым покрытием	622,0	–	–	–	–	–	622,0
– грунтовые, в том числе круглогодич- ного действия	83051,3	3800,4	12544,9	41353,3	57698,6	7724,9	17627,8
б) Временные (автозимники)	77579,5	3371,5	12396,9	41299	57067,4	7149,9	13362,2

На начало 2019 года в Свердловской области и на территориях Северного Урала существует ярко выраженная сезонность лесозаготовительного производства. Так как количество лесовозных дорог круглогодичного действия невелико.

В итоге основной объем заготовки и вывозки древесины приходится на зимний период, что влияет на концентрацию материальных и финансовых ресурсов (Приложение А, таблица А.3).

Негативное влияние на эффективное освоение лесных ресурсов Свердловской области оказывает отсутствие необходимой транспортной инфраструктуры магистральных лесовозных дорог. В связи с этим основная часть лесозаготовок концентрируется в зоне освоенных лесов, вблизи существующих транспортных магистралей или дорог общего пользования. Слабо развитая производственная и дорожно-транспортная инфраструктура значительно снижает возможность более полного освоения эксплуатационных лесов и снижает экономическую доступность лесных ресурсов.

Известно, что организация круглогодичной заготовки и вывозки древесного сырья опирается на развитую региональную транспортную сеть. Для решения данного вопроса необходима разработка территориальной комплексной

схемы транспортного освоения лесов, которая должна служить основой для проектирования и строительства в Свердловской области лесовозных дорог.

Недостаточный уровень развития дорожной сети на территории Свердловской области приводит к значительным потерям для экономики и населения и представляет собой один из наиболее существенных инфраструктурных ограничений темпов социально-экономического развития отдельных территорий Свердловской области.

Развитие современной транспортной инфраструктуры Свердловской области происходит в соответствии с Федеральными и областными программами.

В таблице А.1 (Приложение А) показаны данные, характеризующие сеть лесовозных дорог крупных лесопромышленных предприятий Свердловской области. Протяженность дорог с усовершенствованным типом покрытия в лесозаготовительных предприятиях варьируется от 80 ... 571 км.

Принимая во внимания то, что функционирование лесотранспортной сети нельзя отделить от автомобильных дорог общего пользования, приведем данные об интенсивности движения общего транспортного потока для Свердловской области на 4-х участках автомобильных дорог, общей протяженностью – 615 км, по материалам исследования, проведенными ГКУ СО «Управление автомобильных дорог» [61]. Было обнаружено, что доля лесовозного автотранспорта в общем составе грузового потока может находиться в диапазоне от 29 ... 61 %.

При рассмотрении структуры среднего расстояния вывозки древесины по автомобильным дорогам различной ведомственной принадлежности, то оказалось, что доля лесовозных дорог составила – 33,2 %, доля дорог общего пользования Федерального – 20,8 %, а доля дорог общего пользования местного значения – 46% (Приложение А, таблица А.2).

По отчетным материалам областной статистики о автодорожной сети Свердловской области видно, что из 10,5 тыс. км ведомственных дорог почти 2,5 тыс. км относится к лесным дорогам (Приложение А, таблица А.3) [86].

Таблица 1.4 – Средние значения состава движения и среднесуточной интенсивности общего транспортного потока для территориальных автодорог Свердловской области (по материалам ГКУ СО «УАД»)

Тип автомобиля	Доля в общем потоке, %	Интенсивность движения, авт./сут.
Легковые	68	6219
Легкие грузовые	8	734
Средние грузовые	5	488
Тяжелые грузовые	2	219
Сверхтяжелые грузовые	15	1291
Автобусы	2	184

Для Свердловской области характерна социальная значимость лесовозных дорог. Для населения удаленных поселков, обслуживающих лесозаготовительное производство, участки лесовозных дорог являются единственной транспортной артерией, по которой осуществляется связь с областными населёнными пунктами (Приложение А, таблица А.4).

Согласно актуальной классификации, такие дороги можно причислить к автомобильным дорогам муниципальных образований (дороги местного значения) общего пользования [25].

До 2018 г. в ГКУ СО «Управление автомобильных дорог» ежегодно переводилось в категорию регионального или муниципального значения из числа ведомственных до сотни километров автодорог (при этом, доля лесовозных дорог достигала до 20%).

Эффективность развития инновационных проектов лесозаготовительной отрасли будет оцениваться развитием транспортной инфраструктуры и развитостью лесовозных дорог [117]. Согласно Лесному заданию для Уральского округа, предлагается ежегодно осваивать не менее 35 млн. куб. м. [47].

На территории Свердловской области действуют семь инвестиционных проектов в области освоения лесов [117], в рамках которых заготовкой древесины на основании договоров аренды занимаются (Приложение А, таблица А.6.):

– ООО «Лесной Урал Лобва»;

- ООО «Лестех»;
- ООО «СибирьЭкоСтрой»;
- ООО «Синергия»;
- ООО «Сосьва-лес»;
- ООО «ТУРА-ЛЕС»;
- ООО «Уральская лесопромышленная компания»

Общий объем разрешенного использования запаса древесины по инвестиционным проектам примерно равен 2 млн. куб. м на площади до 2 млн. га, с объемом инвестиций порядка 4,6 млрд. рублей.

Общий запас древесного сырья на землях лесного фонда по состоянию на 1 января 2019 года составлял 1983,88 млн. куб. м. [67]. Максимально допустимый ежегодный объем изъятия древесины в эксплуатационных и защитных лесах, обеспечивающий многоцелевое, рациональное, непрерывное, неистощительное использование лесов, исходя из установленных возрастов рубок, сохранения биологического разнообразия, водоохранных, защитных и иных полезных свойств лесов – расчетная лесосека лесного фонда по всем видам рубок лесов Свердловской области, которая составляет до 24,8 млн. куб. м (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 зон планируемого освоения лесов для различных видов их использования с дифференциацией по интенсивности освоения (рисунок 1.2).

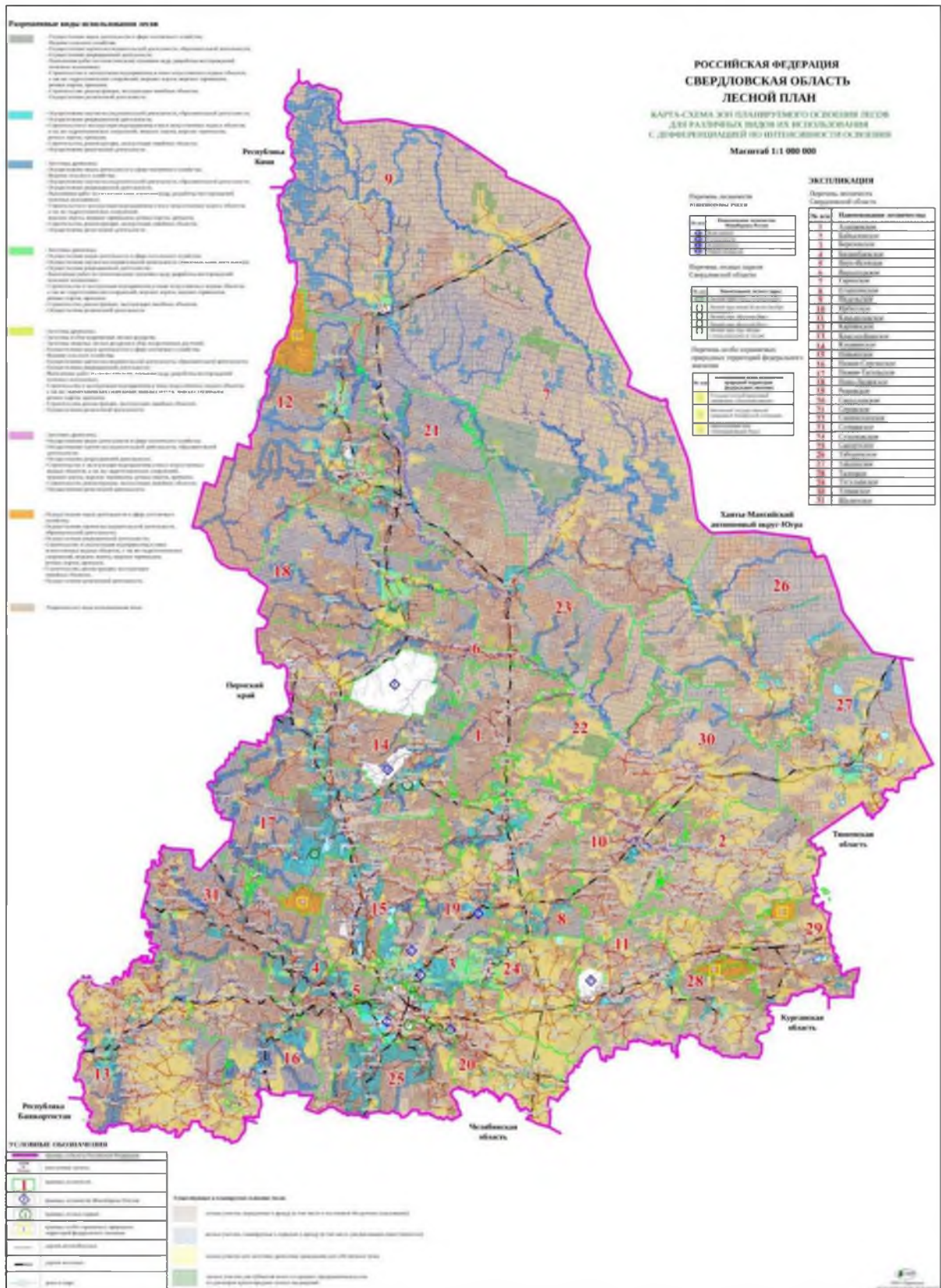


Рисунок 1.2 – Карта-схема зон планируемого освоения лесов для различных видов их использования с дифференциацией по интенсивности освоения (по материалам Лесного плана Свердловской области на 2019-2028 годы)

Освоение подобных территорий невозможно без планомерного развития транспортной инфраструктуры. На эту же цель ориентирована и Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года [122], в рамках развития и обновления транспортной системы РФ.

В «Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года» показаны все основные требования к развитию лесотранспортной сети регионов РФ [116]. По Свердловской области, согласно оценкам экспертов, дорожная сеть лесовозных дорог должна увеличиваться от 600 до 800 км в год.

Применение подобных схем освоения невозможно без разработки технологий строительства лесовозных дорог с использованием местных материалов и отходов промышленности предприятий Северного Урала.

1.2 Опыт применения каменных материалов для строительства лесовозных дорог с низкой интенсивностью движения

Анализ транспортной инфраструктуры Свердловской области и Северного Урала показал, что наиболее распространенным типом дорожных одежд являются покрытия переходного и низшего типов. Чаще всего, имеющие покрытие лесовозных дорог укладывают по способу заклинки, из щебеночного и гравийного материала, или из местного скального или крупноблочного грунта. Так же используют грунты укрепленные или улучшенные различными скелетными добавками (щебнем, гравием, шлаком и другими местными материалами). В исследованиях А. К. Славуцкого [106], Л. К. Бируля, И. М. Грушко [16], И. В. Королева [16], Б. И. Дагаева [31], В. В. Малеванского, С. И. Романова, рассмотрены основные методы эффективного использования в покрытиях и основаниях дорог, с невысокой интенсивностью движения местных малопрочных каменных материалов, отсевов щебня и даже шлаков. Покрытие лесовозной дороги, при этом должно быть жесткими, плотными и достаточно сдвигоустойчивым.

Основными технологиями строительства покрытий не сегодняшней день являются: способ заклинки из щебня, гравия, неактивного шлакового щебня; из готовых щебеночно-песчаных смесей оптимального зернового состава.

При строительстве дорожных покрытий следует соблюдать основные положения СП 34.13330.2012 [112] и СП 78.133330.2012 [113]. Конструирование и расчет покрытий необходимо выполнять согласно ОДН 218.046 [75], а подбор материалов:

- для щебня из природного камня и попутно-добываемых пород и отходов горнообогатительных предприятий – ГОСТ 25607.2009 [19];
- щебня из природного камня – ГОСТ 8267-93 [22].

Основным видом дорожно-строительного материала при строительстве лесовозных дорог является каменный материал. Однако применяемые каменные материалы могут иметь различные механические и технологические свойства, которые не всегда принимаются во внимания при выполнении работ. От качества каменного материала (прочности, морозостойкости, гранулометрического состава) напрямую зависят эксплуатационные свойства лесовозных дорог [9, 31, 53].

Существующий дефицит прочных каменных материалов и только возрастающий из года в год спрос на них делают актуальной задачу поиска новых местных каменных материалов и побочных продуктов промышленности, которые могли бы применяться в конструкциях дорожных одежд.

Наиболее доступными дорожно-строительными материалами для строительства лесовозных дорог остаются только местные некондиционные материалы. Эти материалы являются либо промышленными отходами, либо низкосортными каменными материалами с нестабильным зерновым составом, непригодные для строительства автомобильных дорог общего пользования.

Вопросами производства и использования местных каменных материалов из горных пород и различных отходов промышленности занимались такие отечественные ученые, как: В. М. Юмашев, И. З. Духовный [34], В. С. Исаев [39], М. И. Волков [106]. Из зарубежных ученых следует отметить: D. H. Zou, L.

Weitzman, I. Vanicek, E. Robinsky, D. N. Richardson, Y. Qiu, A. M. Neville, H. Mittal, M. Fahey, E. Joseph, P. Garand, J. A. Stegemann, и многие другие.

Однако не все местные материалы или отходы промышленности могут найти применение при строительстве конструктивных слоев дорожных одежд. В работах В. А. Кейльмана [41, 42] представлена классификация дорожно-строительных материалов на: кондиционные, условно кондиционные и некондиционные. Во вторую группу попали некондиционные материалы в естественном состоянии, которые после их обогащения могут быть использованы для строительства дорожных одежд.

Это привело к тому, что по степени применимости, все местные каменные материалы стали подразделяться на кондиционные и некондиционные. Кондиционные каменные материалы используются в дорожном строительстве в чистом виде. Все же некондиционные материалы не применяются в дорожной практике без соответствующей переработки. Как показали наши исследования практически все местные каменные материалы можно отнести к некондиционным [54].

Проблемой улучшения физико-механических показателей местных материалов для лесовозных дорог занимался: В. А. Кейльман [41, 42]. В исследованиях отображено, что большинство некондиционных материалов после подходящей обработки их минеральными или органическими вяжущими можно применять при строительстве автомобильных дорог

Прочность конструктивного слоя из щебеночного материала зависит от величины контактов его отдельных зёрен. Появились исследования, по применению непрочных каменных материалов, на замену традиционно используемых прочных щебней. Было предложено использовать легкоуплотняемые каменные материалы из низкопрочного камня, позволяющие достичь меньшей остаточной межзерновой пустотности [54].

При использовании легкоуплотняемого каменного материала площадь контактов между зёрнами становится выше, что предполагает увеличение прочности конструктивного слоя [98].

В основе оценки прочности конструктивных слоев дорожных одежд положен метод измерения физических характеристик слоев, таких как, упругий прогиб [97, 112]. 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 модуля упругости. Это отражено в методике проектирования конструктивных слоев дорожных одежд [97]. 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 слоя предлагается измерять с применением баллонного плотномера или методом замещения. По результатам статистического материала авторами было получено уравнение регрессии, показывающую связь остаточной пористости материала с модулем упругости слоя. Характерно, что рассматривается только щебень. А его прочность оценивается с помощью эмпирических коэффициентов. Наименьшее значение $K_{np} = 0,7$ у щебня марки прочности по дробимости 300 МПа. Наибольшее значение $K_{np} = 1,1$, для щебня марки прочности по дробимости 1200 МПа. Все остальные марки имеют значения коэффициент в рассматриваемом диапазоне. Следует отметить, что рассматриваемая зависимость характерна только для каменных материалов по пластичности не менее Пл. I, а зерновые составы щебня должны быть только по ГОСТ 8267. Там же приводятся данные, что вовремя уплотнения рядового щебня из высокопрочных горных пород, остаточная пористость, может достичь значений от 0,33 ... 0,34. При этом начальная, насыпная пористость находится в диапазоне от 0,45 ... 0,55. При этом взаимосвязь между степенью уплотнения и остаточной пустотностью слоя в процессе выполнения работ не учитываются.

Ряд авторов [73] предлагают рассматривать конструкцию дорожной одежды как сплошное жестко-пластичное тело, в котором возможны разрывы сплошности. В качестве расчетной плотности предлагается принять плотность конструктивного слоя в зависимости модуля упругости и толщины конструктивного слоя. Никаких расчетов технологических параметров уплотняющей техники не приводится.

Методика определения модуля упругости щебеночного слоя раскрыта в ВСН 46-83 «Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа». Методика основана на проведении послойных испытаний штампами. Используя материал ОДН 218.046-01 (см. таблицы 1.5 и 1.6) можно заключить, что прочность конструктивных слоев из трудноуплотняемого щебня должна составлять не менее 300 МПа, а для легкоуплотняемого щебня не менее 400 МПа.

Впервые попытка в делении каменных материалов на классы была разработана в ЗАО «СоюзДорНИИ». Согласно их концепции, предлагается делить каменный материал на легко и трудноуплотняемый. За критерий было взято деление по прочности, так предлагалось разделять щебень на легкоуплотняемый по прочности до 180 МПа и на трудноуплотняемый. Прочность расклинивающего материала так же предлагалось учитывать [12].

Если провести анализ конструкций автомобильных дорог общего пользования, то можно прийти к выводу, что щебеночные покрытия, так же, как и гравийные, устраивают на дорогах IV или V категорий при небольшой интенсивности движения (до 200 автомобилей в сутки). Для устройства щебеночных покрытий используют искусственно дробленный каменный материал, в большинстве случаев известняковый, с прочностью при сжатии не ниже 600 МПа.

Для слоев щебеночных покрытий используют фракционированный щебень крупностью от 40 ... 70 и от 80 ... 110 мм; для верхних слоев оснований и покрытий щебень от 40 ... 70 мм; для расклинивания применяют щебень от 5 ... 10, от 10 ... 20 и от 20 ... 40 мм. Щебень слабых горных пород применяют размером более 70 мм.

Все щебеночное покрытие устраивают на песчаном подстилающем слое. Для основания могут быть использованы и другие местные материалы, такие как шлак черной металлургии, гравий, песчано-гравийные смеси.

Зерновой состав щебня из осадочной породы фракции от 5 ... 20 мм показан в таблице 1.5 (Приложение В, таблица В.5). По данным таблицы можно сделать, что требования по зерновому составу могут отличаться узкими числовыми значениями, получить которые возможно только при использовании высококачественного дробильно-сортировочного оборудования.

Таблица 1.5 – Зерновой состав кондиционного щебня из осадочных пород для основного размера от 5 ... 20 мм

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	1,25	2,5	d5	$0,5(d + D)$ 12,5	D20	$1,25D$ 25
Полные остатки на ситах, % по массе	96,32	95,84	94,48	46,48	3,96	0,25
Требования по ГОСТ 8267-93	от 95 ... 100	от 95 ... 100	от 90 ... 100	от 30 ... 60	до 10	до 0,5

Для устройства оснований и покрытий так же используют и готовые щебеночно-гравийно-песчаные смеси с оптимальными зерновыми составами по ГОСТ 25607-94. Смеси изготавливают на дробильно-сортировочных установках или путем смешения разных фракций. Нормативные значения модуля упругости слоя приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Нормативные значения модуля упругости конструктивных слоев щебеночно-гравийно-песчаных смесей для покрытий лесовозных дорог (требования ГОСТ 25607-94, ГОСТ 3344-83)

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 щебеночно-гравийно-песчаных смесей указывается, что их использование имеет ряд преимуществ перед традиционными щебеночными покрытиями [19]. Ряд исследований показал, что достижение требуемых показателей возможно только при использовании правильно запроектированных смесей и подобранного технологического режима.

Применительно к автомобильным дорогам промышленного транспорта исследования были выполнены Костельвым М. П. [48, 49], Арефьевым С. А. [4], Афиногеновым О. П. [129], Шаламановым В. А. [129] и др. Результаты исследований сведены в таблицу 1.7

При этом были рассмотрены исключительно кондиционные материалы, что существенно ограничивает их использование в лесовозных дорогах.

Таблица 1.7 – Зерновой состав ЦПС фракции 0-80 мм

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	80	40	20	10	5	2,5	0,63	0,16	0,05	менее 0,05
Полные остатки, % по массе	0	29,7	58,9	80,0	85,0	89,0	94,0	95,3	95,5	100
Требование ГОСТ 25607-94, смесь С-4	0–15	20 ... 60	40 ... 80	55 ... 85	65 ... 85	75 ... 90	85–95	95–100	95–100	–

Для устройства гравийных покрытий используют карьерный гравийный материал или искусственно составленные смеси, оптимальные составы которых показаны в таблице 1.8 [101].

Таблица 1.8 – Оптимальный состав гравийных смесей

Слой покрытия	Количество частиц (%), прошедших через сито в мм							
	70	40	25	15	5	2,5	0,63	0,05
Нижний	100	40-60	20-40	20-35	15-25	10-15	5-10	0-3
	100	60-80	40-60	35-50	20-35	15-25	5-15	0-5
Верхний	–	100	60-80	45-65	40-65	20-55	15-35	7-20
	–	–	90-100	65-90	50-75	35-65	20-45	8-25
	–	–	–	90-100	70-85	45-75	25-85	8-25

Примечание: для районов с избыточным увлажнением, содержание частиц размером менее 0,05 мм принимается по меньшему пределу (8 ... 10%), а для сухих районов – по большему (до 25%).

Наиболее известный способ строительства щебеночных покрытий является метод заклинки, хотя и он далеко от совершенства. Устройство конструктивного слоя из щебня таким методом относится к сложным, трудоемким и достаточно затратным технологическим процессам, особенно при применении трудноуплотняемого щебня из прочных каменных материалов. В случае отсутствия требуемого бокового распора, создающегося расклиниванием зерен материала, на покрытии возникают волны, просадки и других дефекты строительства покрытия. В случае использования щебня крупных фракций данный метод становится труднореализуемым и даже полностью не применимым. Рыхлость щебеночного слоя затрудняет его уплотнение, а отсутствие мелких зерен в нижней части слоя приводит к недостаточному

уплотнению. Общая итоговая остаточная пористость выше нормативных значений.

Изучение характера взаимодействий связей между частицами материала, их взаимодействие друг с другом может оказывать широкое влияние на поведение конструкций дорожной одежды при внешних нагрузках, их прочность и долговечность, а также скорость и качество проведения работ. Щебёночный материал с дискретной структурой, требует приложения значительных энергозатрат при уплотнении, что влияет как на скорость строительства, так и на общую стоимость работ.

Для создания плотного слоя из щебня, песчано-щебеночной смеси, гравия, как и любого другого материала с дискретной структурой, необходимо затратить много ресурсов на уплотнение. Несвязные, слабосвязные и иные зернистые каменные материалы, за счет дискретной структуры разобщенности уплотняются хуже, чем иные связные материалы. У них отсутствуют структурные связи между частицами, т.е. общая деформируемость их значительно выше.

Одной из особенностей всех каменных материалов, например щебеночно-песчаных смесей или щебня фракционированного, является его дискретная структура. Составные частицы такого материала не связаны между собой и в отличие от иных материалов, к ним неприменимы традиционные лабораторные методы нахождения плотности и прочности слоя.

При строительстве из таких материалов следует обратить внимание на возникновение остаточных деформаций.

В любых распорных дискретных средах возникает перераспределение между вертикальными сжимающими и горизонтальными напряжениями. Боковой распор в щебенистых основаниях является функцией перераспределения напряжений в дискретной среде от действия уплотняющей нагрузки. Чаще всего приходится применять теорию сплошных сред или основы механики грунтов, чтобы оценить боковой распор от действия клинца и мелких зерен расклинивающего каменного материала.

Для практического применения был предложен метод оценки бокового распора по усилию, измеренному при извлечении стального объемного деформатора, уплотненного совместно со щебенистым слоем. Метод основан на измерении коэффициента трения щебня по стальной поверхности деформатора.

При производстве строительных работ нужный боковой распор оценивается по величине распределенного расклинивающего материала. Подобный подход был отражен в нормах правил устройства щебеночных оснований (СП 78.13330.2012), где контролируется только расход расклинивающего материала (таблица 1.9) [113].

Таблица 1.9 – Расход расклинивающего материала

Размер основной фракции щебня, мм	Расход расклинивающих фракций, м ³ , на 1000 м ² при их размерах, мм		
	20 ... 40	10... 20	5 ... 10
40 ... 70	–	15	10
70 ... 120	10	10	10

Примечание. При строительстве оснований из щебня фракции 40 ... 70 мм методом заклинки допускается применять одноразовую расклинку смесью щебеночных и песчано-щебеночных фракций 5... 20, 0 ... 20, 0 ... 10 мм, а при применении щебня 70 ... 120 мм использовать фракции 5-40 мм. Расход смесей должен соответствовать суммарным требованиям.

1.3 Обзор производственной базы каменных материалов Свердловской области и Северного Урала

Анализ работы лесопромышленного комплекса Свердловской области показывает, что основным используемым материалом, определяющим стоимость строительства дорожных одежд лесовозных дорог служит щебень. Однако при производстве щебня в карьерах образуется большое количество отходов дробления (отсевов), которые в настоящее время не применяются в дорожном строительстве и загрязняют прилегающую местность.

Всего в Свердловской области находится около 1200 участков распределенного (предоставленного в пользование) и нераспределенного фонда общераспространенных полезных ископаемых (по данным на 2019 г.). В том числе: 62

месторождения строительного песка и песчано-гравийных смесей (Приложение Б, таблицы Б.1-Б.2), 172 месторождения строительного и облицовочного камня и т. д. [116].

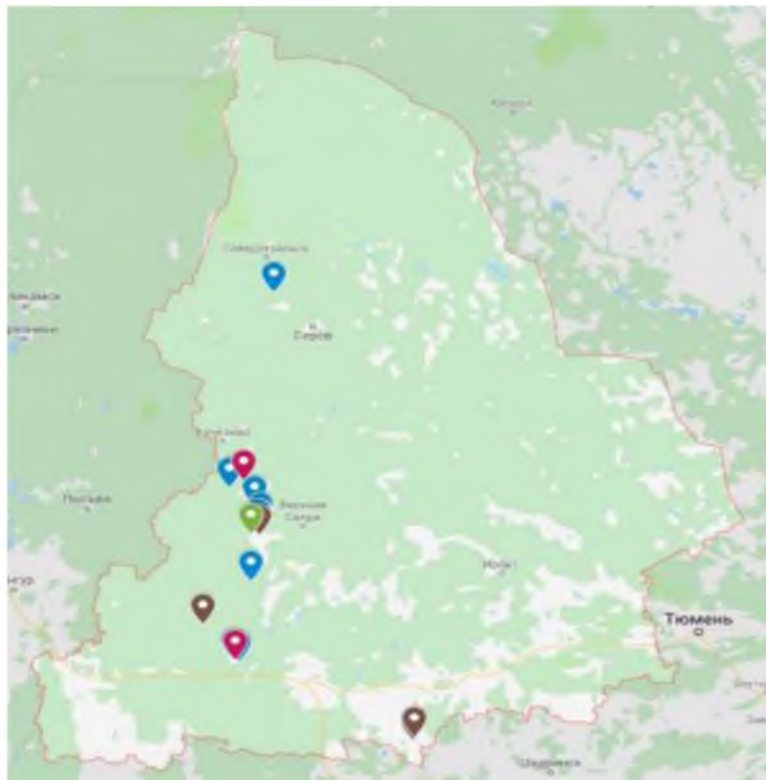
Так же большинство районов Свердловской области и прилегающих территорий Северного Урала располагает местными запасами разнородных по прочности каменных материалов и побочных продуктов промышленности.

Побочные продукты промышленности (отходы горно-обогатительных, горно-перерабатывающих и горнодобывающих предприятий) в Свердловской области представлены осадочными или изверженными горными породами в виде щебня, гравия и песка.

Плотность щебня и песка аналогичны плотности таких материалов из природных горных пород. После дробления и сортировки отходов может быть получен любой стандартный зерновой состав щебня, песка или их смесей. Прочность щебня колеблется в пределах от 400 ... 1200. Марка морозостойкости, оцениваемая количеством выдержанных циклов попеременного замораживания-оттаивания, составляет F25 ... F100. Щебень и песок из этих отходов находят применение во всех видах дорожного строительства.

Отходы производства Свердловской области являются одной из наиболее серьезных проблем в обеспечении экологической безопасности. Объем накопленных отходов занимает площадь более 15 тыс. га. В основной массе это вскрышные и вмещающие породы, отходы обогащения, металлургические шлаки, золошлаки. Ежегодно в Свердловской области образуется около 180 млн. тонн отходов [116].

Информация по объектам размещения промышленных отходов на территории Свердловской области представлена на рисунке 1.3, и в Приложение Б, таблицы Б.3-Б.5.







-  Объекты горнодобывающей промышленности (11 объектов);
-  Объекты обогатительного производства (2 объекта);
-  Объекты металлургического производства (4 объекта);
-  Объекты промышленных отходов (1 объект).

Рисунок 1.3. – Объекты размещения промышленных отходов на территории Свердловской области (по материалам *Стратегии природопользования и экологической безопасности Свердловской области на период до 2035 года*)

Поэтому анализ физико-механических свойств отходов дробления щебня в каменных карьерах и оценка возможности их использования в конструктивных слоях дорожной одежды лесовозных дорог является важной задачей.

1.4 Обзор современных технологий строительства дорожных покрытий лесовозных дорог

Сейчас, как и в предыдущие периоды, наибольшее распространение при создании транспортной инфраструктуры лесов при устройстве дорожных покрытий получили зернистые материалы.

Как было показано в обзоре, все нормативно-технические документы подразделяют каменные материалы лишь на легкоуплотняемые и на трудноуплотняемые, т. е. регламентируют только прочностные параметры. При этом упругая деформация слоя зависит от его толщины и прочности и совсем не учитывает связность или раздробленность материала, происхождение и структурные связи его частиц.

Щебень является одним из основных материалов, применяющихся для строительства и ремонта автомобильных дорог. Этот каменный материал, с зернами крупностью свыше 5 мм, получается путем дробления осадочных горных пород, в том числе попутно добываемых, или же отходов предприятий по переработке руды. От его качественных показателей (прочности, морозостойкости, гранулометрического состава) в значительной мере зависят долговечность и потребительские свойства автомобильных дорог.

В сравнение с другими дорожно-строительными материалами щебеночные покрытия лесовозных дорог обладают следующими преимуществами:

- отсутствие потребности в смесительных установках;
- технологичность щебеночного 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 и расклинцовки покрытия допускается открытие по нему автомобильного движения или использования его как временного покрытия (стадийное строительство);
- удобства при выполнении ремонтных работ и реконструкции без перекрытия автомобильного движения;
- пространственная однородность слоя, исключая появление на выше уложенных покрытиях «отраженных» трещин.

При строительстве покрытий важным параметром щебеночных материалов представляет его происхождение, генезис и состав примесей,

который зависит от условий его производства и придает материалу особые свойства.

Таким образом технологические свойства щебеночных материалов во многом определяются не только прочностными свойствами материала, но минералогическим составом и физико-механическими свойствами зерен.

Качество строительства лесовозных дорог можно улучшить, если использовать весь потенциал данного строительного материала. Щебеночные материалы могут использоваться не только в виде основного материала, но и в качестве заполнителя в асфальтобетонных и цементобетонных дорожных покрытиях.

Одной из особенностей всех щебеночных смесей является их дискретная структура; это значит, что составные частицы материала не связаны между собой или же эта связь является слабой. Теоретически такой материал можно применять для устройства высокоплотных конструктивных слоев дорожных одежд, которые бы полностью удовлетворяли нормативным требованиям. Однако для получения стабильных результатов необходимо оценивать поведение материала в тех или иных условиях.

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

Технология создания плотных слоев из щебня, песчано-щебеночной смеси, гравия или любого другого материала, имеющего дискретную структуру, основана на принципе последовательного уплотнения материала. Несвязные, слабосвязные и зернистые материалы, за счет своей дисперсности, 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 каменных материалов и их технологических особенностей является основным путем для возможных уменьшений затрат на строительство.

Технологический процесс устройства слоев дорожной одежды из щебеночных материалов включает:

– вывозку материала на подготовленное в соответствии с требованиями СП 78.133330.2012 земляное полотно или на нижележащий слой дорожной одежды [113];

– распределение материала по земляному полотну или по нижележащему слою;

– увлажнение материала до оптимальной влажности;

– профилирование и уплотнение слоя.

Щебеночные 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. Материал увлажняют универсальной машиной по поверхности основания из расчета от 2 ... 5% по массе.

Планировку 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 9 т и более, ориентировочно за 12 ... 14 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 [113]. 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 примесей существенно меняет не только структурные связи, но и технологии строительства.

В случае строительства дорожных покрытий из местных грунтов, обогащенных каменными материалами наиболее современными, являются технологии с применением 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 следующая:

- 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 стабилизера при первом проходе закрепляется колышками, ширина обработанной полосы 2400 мм. При проходе стабилизера двух или более полос по ширине основания

смежные полосы перекрываются от 0,1 ... 0,3 м. Качественное перемешивание щебня с грунтами зависит от естественной влажности грунта. Подкатка разрыхленного укрепленного щебнем грунта между колесами стабилизатора 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 на 0,15 ... 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 [113].

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 некондиционных 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. Уплотнения 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. Составные частицы такого материала не связаны между собой и для них отсутствуют лабораторные методы определения степени уплотнения [113]. Можно сделать вывод, что при строительном контроле практически отсутствует информация о степени уплотнении таких слоев. Для других дорожно-строительных материалов, таких как грунты, асфальтобетонные покрытия, качество

уплотнения оценивается коэффициентом уплотнения и их нормативные значения приводятся непосредственно в проектно-сметных документах на производство работ. 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 упругий прогиб. Этот способ получил название оценки прочности дорожной конструкции по модулю упругости и приводится во всех нормативно-технических документах [56, 75, 110, 112].

Трудности в оперативном определении этого параметра при выполнении работ и отсутствие методики оценки изменения физико-механических свойств каменного материала в процессе уплотнения привели к тому, что в процессе проектирования прочностные показатели закладываются по формальным признакам.

Выводы по главе и постановка цели и задач исследования

В результате исследований установлено, что на территории Свердловской области и Северного Урала для реализации Лесного Плана транспортная доступность лесов составляет не более 60 %.

Обеспеченность дорожно-строительного комплекса каменными материалами в Свердловской на период до 2024 г. составляет не более 35% от заявленных потребностей.

Наличие значительного количества некондиционных каменных материалов и отходов горнорудной промышленности на севере Свердловской области позволяют рассматривать эти каменные материалы как один из элементов строительства лесовозных дорог.

Существующие в настоящее время технологии строительства покрытий лесовозных дорог рассматриваются только из кондиционных каменных материалов, а изменения их физико-механических свойств в процессе строительства и их дальнейшей эксплуатации не принимаются в расчет.

На основе анализа методов повышения эффективности строительства щебеночных покрытий лесовозных дорог сформулированы цель и задачи исследования.

Цель исследования:

Совершенствование технологии строительства лесовозных дорог из некондиционных щебеночных материалов в условиях Свердловской области и Северного Урала.

Задачи исследования:

1. Провести анализ современных технологий строительства лесовозных дорог с покрытиями из щебеночных материалов;
2. Разработать математическую модель строительства лесовозных дорог с покрытиями из некондиционных щебеночных материалов;
3. Исследовать изменения физико-механических свойств щебеночных покрытий лесовозных дорог из некондиционных каменных материалов в процессе строительства;
4. Разработать технологию строительства лесовозных дорог с покрытиями из некондиционных щебеночных материалов и дать рекомендации по их строительству.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОКРЫТИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ ИЗ НЕКОНДИЦИОННЫХ ЩЕБЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1 Теоретические основы формирования структурных связей в щебеночных покрытиях лесовозных дорог

Щебеночные покрытия лесовозных дорог служат в качестве наиболее распространенных типов дорожных одежд переходного типа для лесовозных дорог Свердловской области и Северного Урала.

Как было показано в главе 1 основным видом каменного материала, применяемым при строительстве лесовозных дорог, является щебень и щебеночно-гравийно-песчаные смеси. От их прочности, морозостойкости, гранулометрического состава и насыпной плотности напрямую зависят все транспортно-эксплуатационные свойства лесовозных дорог, а также их долговечность [9, 31].

По материалам Дорожного Департамента, в настоящее время, в Российской Федерации производство каменных материалов достигает до 180 млн. м³ в год, причем примерно половина этого количества потребляется дорожным хозяйством. Для Свердловской области потребность в щебеночно-песчаных материалах по данным 2019 г. достигала почти 6 млн. м³ в год [122].

Особенностью дорожных одежд переходного типа, из каменных материалов, служит их дискретная структура, т.е. элементы каменного материала не имеют жестких связей между собой или же эти структурные связи можно отнести к слабым.

Основные нормативно-технические документы, регламентирующие строительство лесовозных дорог, подразделяют каменные материалы на легкоуплотняемые и трудноуплотняемые, а также делят их по прочности на марки [11, 93, 112, 113]. При проектировании дорожной одежды лесовозной дороги упругая деформация конструктивного слоя назначается в зависимости

только от ее толщины и прочности слоя. В расчетах не учитывается генезис каменного материала, степень его связности или раздробленности, а и также структурные связи между его частицами [65].

Кроме кондиционных материалов, выпускаемых промышленностью, в Уральском регионе имеются большие запасы отходов горнорудной промышленности и местных каменных материалов из низкопрочных горных пород. В теории такой каменный материал вполне пригоден для создания конструктивных слоев дорожных одежд лесных дорог, но данных по поведению их в дорожных конструкциях крайне мало [16].

Условимся, что под материалом с дискретной структурой будем понимать такой материал, сила внутренних связей частиц которого многократно превышает их внешнюю связь между собой. Дискретному материалу характерны свойства сыпучих сред, которые состоят из множества отдельных однородных частиц, которые по своим физическим свойствам занимают промежуточное положение между твердыми телами и жидкостями [46].

Структурная прочность для дискретных сред оценивается величинами взаимодействия между его составными частицами. Это или величина контактов между соседними зернами, или плотность зернистой среды или угол внутреннего трения.

Все возможные виды взаимодействия частиц между собой в дискретном каменном материале можно разделить на физические, за счет сил трения и цементирующие, с образованием жестких связей.

На сегодняшний день расчетные физико-механические модели дискретного тела получены только для частых случаев. В них за основу взаимодействий между частицами положены только механические связи между его составными частицами.

Для любых дискретных сред механическое взаимодействие между его составными частицами можно оценить количеством точек контактов между его ча-

стицами. Для идеальной дискретной среды, состоящей из одномерных, однородных элементов наибольшее возможное число связей между сферами, достигает значения в двенадцать контактов [125].

Основные механические свойства дискретных тел были рассмотрены в работах таких ученых, как Г. К. Клейна [46], И. И. Кандаурова [40], Н. Я. Цитовича [128], G. T. N. Sweere [149], H. Wolff [157].

В работах [128, 131] были исследованы зависимости числа контактов для случаев, когда зерна имеют несферическую форму. Было установлено, что число контактов в этом случае зависит от межзерновой пустотности материала. По W. F. Murphy [142] число контактов между элементами может достичь значения – 14,007, при межзерновой пустотности – 0,20 (см. рисунок 2.1 и таблицу 2.1).

Таблица 2.1 – Количество контактов между зёрнами каменного материала, в зависимости от межзерновой пустотности
(по материалам W. F. Murphy)

Межзерновая пустотность	Величина контактов между частицами
0,20	14,007
0,25	12,336
0,3	10,843
0,35	9,508
0,40	8,315
0,45	7,252
0,50	6,311
0,55	5,488
0,60	4,783

Диапазон изменения межзерновой пустотности лежит от 0,26 ... 0,78. На рисунке 2.2 показаны обобщенные данные по изменению числа контактов между частицами в зависимости от межзерновой пустотности (пористости) дискретного материала, без учета изменения формы и размеров частиц [89].



Рисунок 2.1 – Число контактов между частицами для идеальной дискретной среды в двумерном ($n=2$) и трехмерном пространстве ($n=3$) (по материалам *W. F. Murphy*)

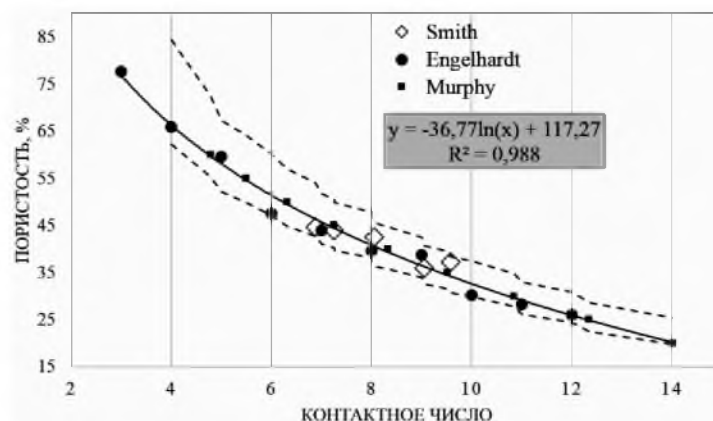


Рисунок 2.2 – Изменения числа контактов в зависимости от межзерновой пустотности (пористости) (по материалам *W. F. Murphy, Smith, Engelhardt*)

В работах [40, 89, 125] были проанализированы изменения в дискретном материале с изменением его пустотности. С уменьшением пустотности дискретной среды число контактов между частицами возрастает. В случае одномерных частицы сферической формы, расположенных случайным образом, среднее значение контактов находится в диапазоне от 6,9 ... 9,1.

В общем виде число контактов в зависимости от пустотности дискретной среды, по данным *W. F. Murphy* [142] принимает вид:

$$C = C_0 + B(V_0 - V)^n, \quad (2.1)$$

где C_0 – число контактов в неуплотненной дискретной среде;

V_0 – начальная межзерновая пустотность дискретной среды, %;

V – межзерновая пустотность уплотненной дискретной среды, для случая $V_0 \geq V$, %;

B – эмпирический коэффициент;

n – показатель степени.

Рассмотрим дискретную среду, состоящую из однородных, плотно расположенных частиц сферической формы. При этом все межзерновые пустоты не заполнены и все частицы имеют точки взаимного соприкосновения. Примем то, что все частицы являются абсолютно твердыми недеформируемыми телами.

Для рассматриваемого случая В. В. Мелеванский [69] предлагает оценивать усилие на контактах, между верхней частицей и каждой из трех нижних, на которые она опирается по формуле:

$$N = \frac{\sqrt{2}}{4} p_0 d^2 \approx 0,35 p_0 d^2, \quad (2.2)$$

где p_0 – внешнее давление, МПа;

d – диаметр частицы, мм.

При изменении контактных усилий, например при их уплотнении катком, верхние частицы будут опираться на нижние и встраиваются между ними.

Тогда контактные усилия можно оценивать, применяя схему, показанную на рисунке 2.3.

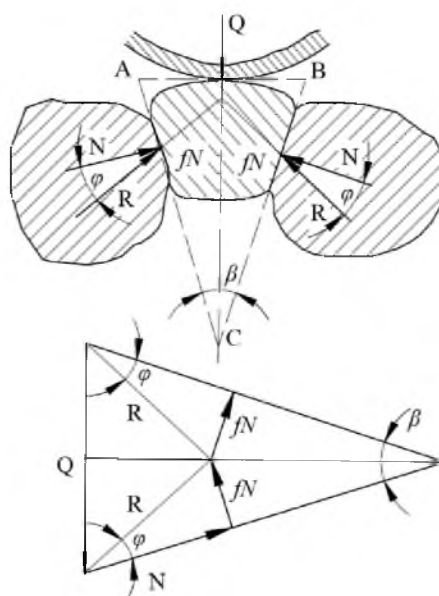


Рисунок 2.3 – Схема взаимодействия между частицами при уплотнении дискретной среды (по материалам В. В. Мелеванского)

При случаях, когда верхняя частица опирается на две нижних, и внедряется между ними, величина усилия внедрения будет равна:

$$N = \frac{Q}{2 \left(\sin \frac{\beta}{2} + f \cos \frac{\beta}{2} \right)}, \quad (2.3)$$

где β – угол между осью действия силы и нормальной реакции частицы;

f – коэффициент трения;

Q – внешнее давление.

Для двух идеальных сфер радиусом R (см. рисунок 2.3) нормальное и касательное напряжения при взаимодействии между двумя частицами можно выразить в виде:

$$S_n = \frac{\partial F}{\partial z}; S_\tau = \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (2.4)$$

где S_n – нормальное напряжение, МПа;

S_τ – касательное напряжение, МПа;

z – изменение радиуса частицы, мм;

x – смещение частицы относительно точки приложения усилия, мм.

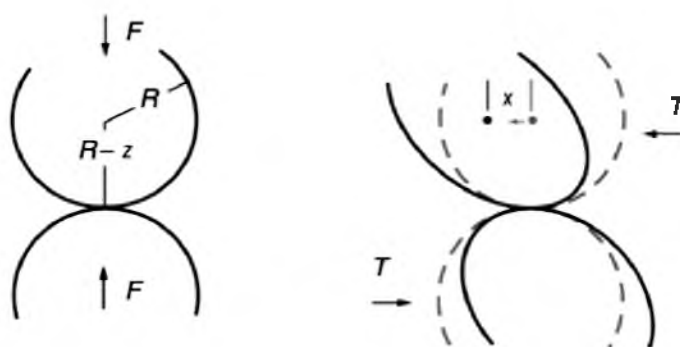


Рисунок 2.4 – Оценка нормальных и касательных напряжений при взаимодействии между двумя частицами дискретного материала

(по материалам *Hertz-Mindlin*)

Модель Герца-Миндлина (*Hertz-Mindlin*) дает возможность провести оценку нормальных и касательных напряжений между частицами по формуле:

$$S_n = \frac{4Ga}{1-\nu}; S_\tau = \frac{8Ga}{2-\nu}, \quad (2.5)$$

где G – модуль сдвига между частицами, МПа;

a – радиус зоны контакта, мм;

ν – коэффициент Пуассона.

Величину зоны контакта a между частицами и изменение радиуса частиц выразим как:

$$a = \left[\frac{3FR}{8G}(1-\nu) \right]^{1/3}; z = \frac{a^2}{R}, \quad (2.6)$$

где F – удерживающие силы между частицами, МПа;

R – радиус частицы, мм.

При давлении P , действующем на слой дискретного материала, удерживающая сила F между частицами будет равна:

$$F = f(R, C, p, V), \quad (2.7)$$

где P – давление на образец материала, МПа;

R – радиус частицы, мм;

C – контактное число между частицами;

V – межзерновая пустотность слоя дискретного материала, %.

При деформации дискретного материала увеличение числа контактов с одной стороны приводит к увеличению приращения давления dp , а с другой к уменьшению приращения деформации de .

Этот процесс можно выразить уравнением:

$$de = \frac{dp}{L} \left[\frac{1}{(p_c + p)^n} + \frac{1}{(p_s - p)^m} \right], \quad (2.8)$$

где L – величина, характеризующая жесткость сыпучего тела;

e – относительная деформация;

p_c – начальное уплотнение;

p_s – предел несущей способности;

n и m – показатели степени, зависящие от размера и формы частиц.

Радиус частиц в процессе внешнего уплотняющего воздействия постоянно изменяется. Поэтому, для возможности расчета контактных усилий между частицами нужно оценивать изменение среднего значения радиуса частиц [2].

Как показано в работе [57] показателем измельчения частиц каменного материала является количество образующихся при уплотнении мелких частиц:

– для щебеночный материала размером от 10 ... 20 мм – частицы размером менее 5 мм;

– для щебеночный материала размером от 20 ... 40 мм – частицы размером менее 10 мм;

– для щебеночный материала размером менее 20 мм – частицы размером от 40 ... 70 мм [161].

Дискретная среда будет обладать прочностью, которая зависит не только от размера, формы частиц, но и от суммарного значения межзерновых пустот дискретного материала.

На основе опытных данных были построены непрерывные зерновые составы максимально плотных смесей в виде кривых Фуллера, Боломея, Германа, Тэболт-Ричарда и др. [79].

Для оценки зернового состава с минимальными значениями пустотности воспользуемся исследованиями Фуллера и Андреасена [22, 169]:

$$A = 100 \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^n, \quad (2.9)$$

где A – содержание частиц меньших, чем размер d ;

d – крупность зерен той фракции, для которой вычисляется ее содержание в смеси, мм;

D – максимальный размер частиц, мм;

n – степень кривой максимальной плотности по Фуллеру $n = 0,45$, по Андреасену $n = 0,37$ (для пространственного распределения).

Иванов И. Н. в своих исследованиях предложил нормировать зерновые составы плотных минеральных смесей по кривым сбега, составленным по уравнению геометрической прогрессии:

$$Y_1 = \frac{1-K}{1-K^n} \cdot 100, \quad (2.10)$$

где K – коэффициент сбега, изменяющийся в пределах от 0,1 до 0,9, который показывает во сколько раз количество последующей фракции меньше предыдущей, более крупной.

Содержание каждой следующей фракции будем определять по уравнению:

$$Y_2 = Y_1 - K^{x-1}, \quad (2.11)$$

Например, для известнякового щебня оптимальное значение коэффициента сбега зернового состава смеси составляет около 0,70 [93]. Оно соответствует минимальному значению дробимости щебня фракции от 20 ... 40 мм, максимальному значению плотности и минимуму содержания мелкого заполнителя от 0 до 5 мм, образующегося при внешнем воздействии. При этом изменение коэффициента сбега зернового состава в пределах от 0,6 ... 0,9 слабо влияет на дробимость и плотность малопрочного известнякового щебня. Похожие данные получены для составов грунтощебночного покрытия, в составе до 60 % щебня, супесчаным грунтом и легким суглинком, которые близки к оптимальному составу, также с коэффициентом сбега 0,70 [93].

С аналогичной ситуацией столкнулись при назначении высокоплотных смесей каменных материалов. В основных правилах проектирования методом объемно функционального проектирования рекомендуемый диапазон минеральной части представляют чаще всего в виде кривой максимальной плотности [27] (рисунок 2.5).

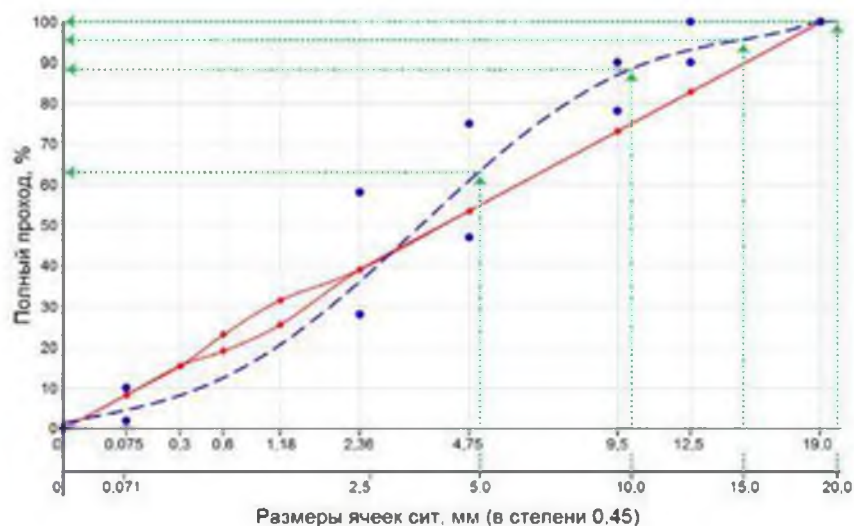


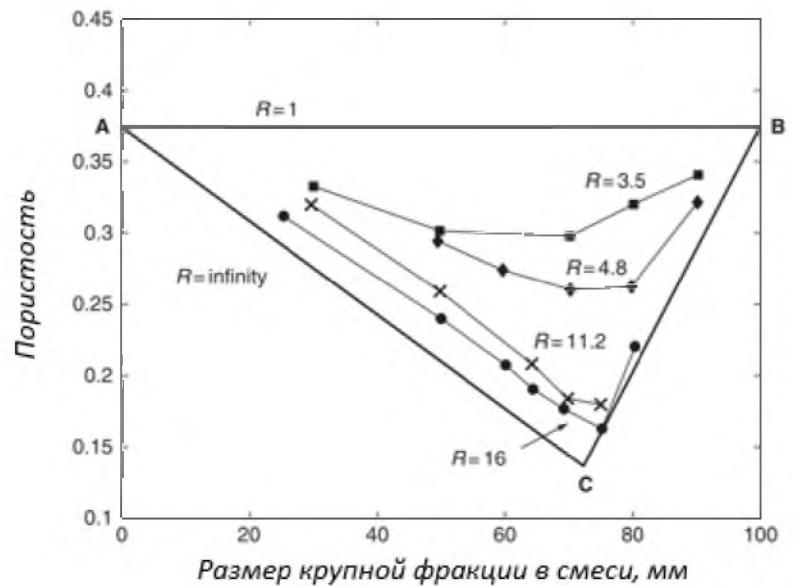
Рисунок 2.5 – Базовый зерновой состав минеральной смеси при максимальной плотности (проектирование по методу *СУПЕРПЕЙВ*)

Практически все реальные дискретные системы являются полидисперсными или полимодальными. Все типы систем имеют или непрерывную гранулометрию (присутствуют частицы всех размеров) или прерывистую гранулометрию (отсутствуют частицы промежуточных размеров). Для оценки наиболее плотной упаковки систем с непрерывным зерновым составом применяют уравнения оптимальных гранулометрических кривых.

Анализ теоретических моделей уплотнения идеальной двумерной смеси (состоящий из сфер двух различных размеров) показывает, что максимальная пустотность достигается при объемной доле крупных зерен около 73 %. Можно говорить о том, что пустотность увеличивается с уменьшением зерен крупной фракции.

По данным D. J. Cumberland и R. J. Crawford, межзерновая пустотность щебня фракции от 20 ... 40 мм будет иметь значения от 0,25 ... 0,36 (рисунок 2.5) [131]. Следует отметить, что максимальные значения пустотности для идеализированной двумерной системе достигается уже при 27% мелкого заполнителя (от 0 ... 5 мм). Теоретически, эти зависимости могут быть распространены на смеси неоднородного состава. Есть предположение, что

измельчение щебня можно проводить до состояния, когда в смеси фракции от 0 ... 40 мм, размера частиц от 20 ... 40 мм достигает 70%.



R – отношение размеров диаметра сферы большего размера к меньшей.

Рисунок 2.5 – Зависимости изменения пористости для идеальной двуразмерной смеси (по материалам *D. J. Cumberland* и *R. J. Crawford*)

Следовательно со стороны физических связей работа слоя из щебеночного материала в конструкциях дорожных одежд лесовозных дорог зависима не только от размера и формы зерен, но и степени уплотнения [19, 65]. Что можно расценивать как некоторый отход от методов проектирования максимально плотных смесей по Фуллеру. Для дорожных покрытий переходного типа у лесовозных дорог гораздо важнее создание каркасной структуры, с контролем количества мелкого заполнителя.

В исследованиях Н. В. Горелышева тип структуры минеральных смесей оценивается коэффициентом упаковки, оцениваемый отношением проекции на плоскость расстояния между отдельными зёрнами материала к их диаметрам по выражению [17]:

$$K_{\text{упк}} = \frac{(L-d)}{d}, \quad (2.12)$$

где $K_{\text{упк}}$ – коэффициент упаковки;

L – расстояния между отдельными зернами материала, мм;

d – диаметр частиц в мм, для которых оценивается коэффициент упаковки.

Примечательно, что при $K_{\text{упк}} = 0$ присутствует контакт между частицами без зацепления, а при отрицательном присутствует контактная структура.

В дорожной практике это привело к созданию минеральных смесей с непрерывной гранулометрией. Когда устойчивость покрытия достигается за счет внедрения мелких зерен между крупными по типу *Макадами* (распорные среды) [132]. И создание смесей с прерывистой гранулометрией и с окатанной формой зерен. В этом случае смеси подбирают исходя из принципа наименьшей межзерновой пустотности.

Исследования В. В. Охотина показали, что наиболее плотные грунтовые смеси можно получить при соотношении, если размер зерен будет уменьшаться в пропорции 1:16, а пропорции их весов как соотношение 1:0,43 [79].

Кирюхин Г. Н. в своих исследованиях по проблеме проектирования минеральной части щебеночно-мастичных асфальтобетонов пришел к аналогичным выводам [44].

Оценивая прочностные показатели дискретного слоя материала, можно обратиться к методам оценки прочности дорожных одежд автомобильных дорог.

Основными показателями могут служить модуль общей деформации, модуль упругости и модуль упругости конструктивного слоя.

Модуль деформации нельзя отождествлять с модулем упругости, так как он характеризует не только упругие, но и остаточные деформации слоя.

Компрессионный модуль деформации при сжатии без возможности бокового расширения выводится из зависимости относительной деформации и нагрузки:

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\rho}{E_k}, \quad (2.13)$$

где ρ – давление на уплотняющий грунт, МПа;

E_k – компрессионный модуль деформации, Мпа.

$$E_{\kappa} = \frac{(1 + \varepsilon_n)}{\alpha} \quad (2.14)$$

где α – коэффициент уплотнения;

В случае бокового расширения модуль деформации E_0 находится из зависимости:

$$E_0 = E_{\kappa} \cdot \beta_0, \quad (2.15)$$

где β_0 – коэффициент для перехода к простому сжатию.

$$\beta_0 = 1 - \frac{2 \cdot \xi^2}{1 + \xi}, \quad (2.16)$$

Коэффициент бокового распора можно найти по формуле:

$$\xi = \frac{\mu}{1 - \mu}, \quad (2.17)$$

где μ – коэффициент бокового расширения или коэффициент Пуассона

Для случая оценки модуля упругости конструктивного слоя наиболее известным выражением, для щебеночного слоя является выражение, полученное в исследованиях А. К. Бируля [50]:

$$E = K_{np} (0,7n^{0,7} - 51n + 960), \quad (2.18)$$

где n – остаточная пористость (межзерновая пустотность), %;

K_{np} – коэффициент прочности каменного материала:

для каменного материала марки по дробимости 300 – 0,7;

для каменного материала марки по дробимости 400 – 0,8;

для каменного материала марки по дробимости 600 – 0,9;

для каменного материала марки по дробимости 800 – 1,0;

для каменного материала марки по дробимости 1000 – 1,0;

для каменного материала марки по дробимости 1200 – 1,1;

для каменного материала марки по дробимости 1400 – 1,1.

Фактический модуль упругости любого конструктивного слоя дорожной конструкции определяется по зависимости:

$$E_{оф} = \frac{K_q p D (1 - \mu^2)}{l_{оф}}, \quad (2.19)$$

где K_q – коэффициент, зависящий от характера передачи нагрузки;

p – давление на дорожное покрытие, МПа;

D – диаметр круглого штампа, эквивалентный следу колеса, в см;

μ – коэффициент Пуассона, для материалов покрытий, $\mu = 0,25$;

l_{of} – измеренный прогиб покрытия в точке испытания, см.

Всем известно, что слой из дискретного материала способен сопротивляться внешним нагрузкам, только за счет сил внутреннего трения. Но в случае превышения предельного значения сдвига, зернистый материал необратимо деформируется.

При сдвиге работа необратимого деформирования оказывается тем выше, чем крупнее размер материала. Многие дисперсные тела обладают свойством изменять объем при их деформациях. Явление дилатансии присуще не только грунтам, но многим видам дорожных смесей. При сдвиге происходит изменение объема как на его увеличение, так и на уменьшение. На рисунке 2.6 показаны статистические зависимости изменения угла внутреннего трения и напряжения сдвига от среднего размера зерен дискретного материала.

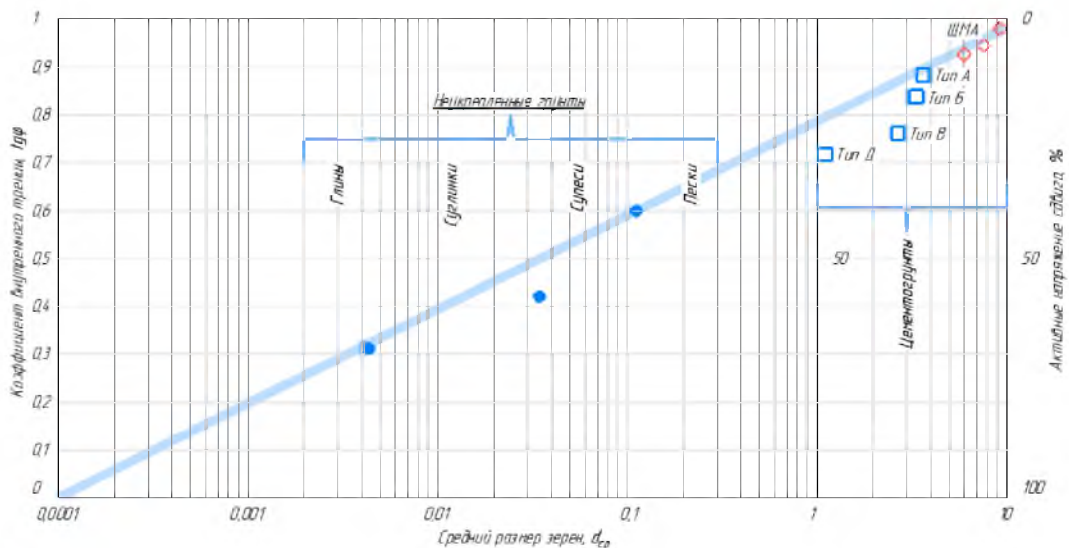


Рисунок 2.6 – Зависимости изменения угла внутреннего трения и напряжения сдвига от среднего размера зерен дискретного материала

(по материалам Г. Н. Кирюхина)

Зерновой состав минерального заполнителя влияет не только на сдвигоустойчивость слоя, но и на расчетный модуль упругости дорожного покрытия.

Интересно рассмотреть взаимосвязь между минимальным модулем упругости слоя и коэффициентом внутреннего трения для смесей, например, асфальтобетонных. Для этого типа материала прочность имеет следующую статистическую зависимость:

$$E_a^{\min} = (967,3 - 11,1 \cdot T_a^{\max}) \operatorname{tg} \varphi^{2,5}, \quad (2.20)$$

где T_a^{\max} – максимальная расчетная температура покрытия, °С;

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения асфальтобетонной смеси

Помимо статического модуля упругости все большее распространение находит применение динамический модуль упругости E_{vd} конструктивных слоев. Для повышения надежности получения информации о дорожной конструкции динамический модуль находится по выражению:

$$\bar{E}_{vd,j} = \frac{\sum_{i=1}^k E_{vd,j,i}}{m_j}, \quad (2.21)$$

где $E_{vd,j}$ – динамический модуль упругости в I – сечении дорожной конструкции, МПа;

m_j – количество измерений в j – момент времени.

Статический и динамический модули упругости имеет между собой лишь статистические зависимости, для каждого конкретного случая.

Помимо постоянно действующих воздействий, дорожное покрытие лесовозных дорог подвергается еще и циклическим воздействиям от движения подвижного состава лесовозных автопоездов.

Остаточная деформация в дискретных каменных материалах используется для описания изменения структуры материала.

Существует несколько моделей оценки напряжения в дискретных каменных материалах.

Основной зависимостью накопления остаточной деформации любого дорожного покрытия служит следующая функциональная зависимость:

$$\varepsilon^p = a + b \cdot \log(N), \quad (2.22)$$

где ε^p – остаточная деформация;

a, b – коэффициенты регрессионной зависимости;

N – число циклов нагружения.

Для случая значительного количества внешних воздействий в работе G. H. T. Sweere [149] было предложено, что для значительного количества циклов нагружения, следует использовать зависимость оценки остаточной деформации покрытия в виде:

$$\varepsilon^p = A \cdot N^B, \quad (2.23)$$

где ε^p – остаточная деформация, $n \cdot 10^{-3}$;

A, B – некоторые параметры уравнения регрессии;

N – число циклов внешнего нагружения.

В случае воздействия на дискретный слой материала автотранспорта Niurman предложил оценивать рост деформаций в слое щебеночного покрытия от воздействия потока автомобилей зависимостью типа:

$$\varepsilon^p = A \left(\frac{N}{1000} \right)^B + C \left(e^{\frac{D \cdot N}{100}} - 1 \right), \quad (2.24)$$

где ε^p – остаточная деформация;

e – основание натурального логарифма ($=2,17828\dots$);

N – число циклов нагружения.

К аналогичным результатам пришли и Российские ученые. Величину минимального необходимого общего модуля упругости конструкции можно вычислить по эмпирической формуле:

$$E_{min} = 98,65 \left[\lg \left(\sum N_p \right) - c \right], \quad (2.25)$$

где $\sum N_p$ – суммарное расчетное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды;

c – эмпирический параметр, принимаемый равным для расчетной нагрузки на ось 100 кН – 3,55; 110 кН – 3,25; 130 кН – 3,05.

Суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки к точке на поверхности конструкции за срок службы определим по формуле:

$$\sum N_p = f_{нол} \sum_{m=1}^n (N_{lm} K_c \cdot T_{pdz} \cdot 0,7) \cdot S_{m.сум} \cdot k_n \quad (2.26)$$

или

$$\sum N_p = 0,7 \cdot N_p \frac{K_c}{q^{(T_{ca}-1)}} \cdot T_{pdz} \cdot k_n \quad (2.27)$$

где n – число марок автомобилей;

N_{lm} – суточная интенсивность движения автомобилей m -й марки в первый год службы (в обоих направлениях), авт./сут.;

N_p – приведенная интенсивность на последний год срока службы, авт./сут;
 $S_{m.сум}$ – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства m -й марки к расчетной нагрузке $Q_{расч}$;

T_{pdz} – расчетное число расчетных дней в году, соответствующих состоянию конструкции, когда она накапливает остаточные деформации;

K_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого;

K_c – коэффициент суммирования, определяемый по заданному сроку службы $T_{сл}$.

2.2 Математическое моделирование процесса строительства щебеночного покрытия лесовозной дороги

В основе математической модели строительства покрытия лесовозных дорог из щебеночных материалов было принято решение рассматривать дорожное покрытие как дискретную среду, где ее составные части имеют между собой слабые связи. Для такого случая используют различные вяжущие, которые улуч-

шают структурную прочность исходного материала. Известно, что при отсутствии вяжущих материалов физико-механические характеристики будут оцениваться только структурной прочностью исходных материалов.

Для оценки структурной прочности в дискретных средах следует знать основные виды взаимодействия между его составными элементами. Для нашего случая, дорожные покрытия из щебеночного материала будут обладать прочностью, которая зависит от размеров исходных частиц, их вида и формы, величины контактов между соседними элементами, степени уплотнения зернистого слоя, боковых распоров.

В условиях такой неопределенности практически невозможно построить математическую модель обычными средствами. Так же свидетельствует тот факт, что при разработке современных нормативных документов для проектирования плотных асфальтобетонных смесей (ГОСТ Р 58406.2-2020 «Смеси горячие асфальтобетонные и асфальтобетон») использовались модели полувековой давности – модели Фуллера и Андреасена, о влиянии зернового состава минерального заполнителя на межзерновую пустотность.

Частично решить эту проблему помогает применение дополнительного параметра – величины удерживающих сил, возникающих в точках контакта между частицами. От этой величины, общая несущая способность дорожного покрытия лесовозных дорог имеет прямую зависимость.

Принимая во внимание основные положения раздела 2.1 примем, что при расчете удерживающих сил между частицами приняты следующие допущения:

- уложенный слой дорожного покрытия состоит из одномерных плотно расположенных частиц сферической формы;
- на слой дорожного покрытия действует постоянная равномерно распределенная нагрузка;
- частицы являются абсолютно твердыми телами и их деформации не учитываются;
- межзерновые пустоты не заполнены и все частицы имеют точки взаимного касания;

- рассматриваем только силы трения между частицами;
- под усредненным размером частиц будем понимать размер частиц имеющие наибольшую массовую долю данной фракции в смеси и равномерно распределенные по всему объему уложенного слоя;
- рассматриваем только бинарную структуру смеси (два типоразмера частиц).
- рассматриваем безраспорную дискретную среду конечной величины;
- в качестве выходного параметра несущей способности дорожного покрытия лесной дороги рассматриваем динамический модуль упругости дорожной одежды.

Структурная схема математической модели строительства покрытия переходного типа лесовозной дороги представлена на рисунке 2.7.

В основу математической модели положен блочно-функциональный принцип. Структурно модель состоит из следующих подсистем: подсистема формирования исходных данных; подсистема оценки физико-механических свойств каменного материала; подсистема строительного контроля качества дорожного покрытия; подсистема адаптивной нейронечёткой сети. Подсистемы имеют между собой структурные связи, представленные на рисунке 2.7.

Подсистема формирования исходных данных.

В данной подсистеме формируются данные по каменным материалам. Так как в основе наших исследований представлены только некондиционные материалы, то использование стандартных методик оценки физико-механических свойств каменных материалов и сравнение их с требованиями научно-технической документацией не представляется возможным.

Все данные для этого блока получены опытным путем и представлены в Приложении Г, таблицы Г.8-Г12. Выходными значениями стало формирование параметров «Крупность фракционного состава, K », «Прочность каменного материала, W » и «Количество циклов нагружения на покрытие, NC ».

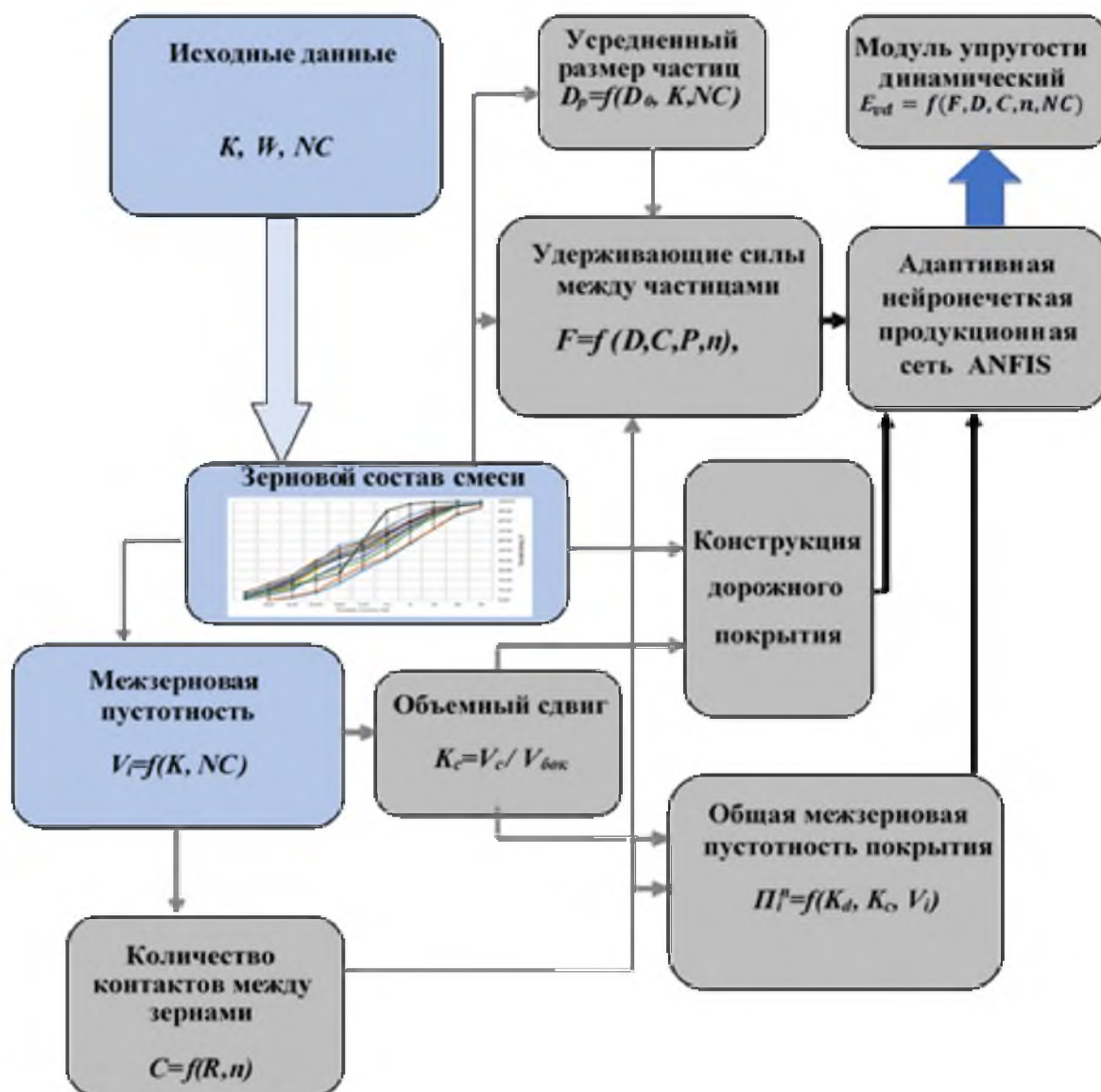


Рисунок 2.7 – Структурная схема математической модели строительства щебеночного покрытия лесовозной дороги

В процессе строительства и эксплуатации лесовозных дорог покрытие испытывает многократные циклические нагрузки от строительной техники и лесовозных автопоездов. Это приводит к тому, что для работы математической модели нужно провести анализ и обоснование видов всех внешних воздействий на дорожные покрытия и на дорожно-строительные материалы.

Процессам взаимодействия различных уплотняющих машин и дорожно-строительного материала посвящено достаточно большое количество работ. Наиболее совершенным видом дорожно-строительных машин стали виброкатки. Современное представление взаимодействия материала с вибровальцом основано на совместном воздействии статической и динамической составляющей нагрузки.

Известно, что время приложения импульса, с учетом деформации уплотняемого материала, зависит от периода колебаний вибровозбудителя, а время контакта материала с вальцом катка от размера длины контакта и скорости движения. В работах [9, 49] установлено, что на накопление деформаций в дискретные каменные материалы в процессе уплотнения оказывает существенное влияние вид уплотняющей нагрузки.

В главе 4.2 подробно описано формирование интенсивность воздействия на уплотняемый материала.

Подсистема оценки физико-механических свойств каменного материала.

В данной подсистеме формируются данные по изменению основных физико-механических характеристик уплотняемого материала. В подсистему входят следующие блоки. Блок изменения зернового состава, блок изменения межзерновой пустотности, блок расчета размера частиц.

В математической модели используем экспериментальные значения изменения зернового состава под действием внешней нагрузки. Зависимость получена в главе 3.2 и в Приложение Г, таблицы Г.1-Г.6 и рисунки Г.1-Г.2.

Экспериментальные исследования изменения межзерновой пустотности показаны на рисунке 3.4 и в таблице 3.2.

Подсистема строительного контроля качества дорожного покрытия.

В данной подсистеме формируются данные по оценке транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных дорог. В подсистему входит блок расчета удерживающих сил между частицами, блок изменения расчетного радиуса

частиц, блок расчета среднего числа контактов между частицами, блок учета боковых расщепов, блок учета межзерновой пустотности дорожного покрытия, блок расчета динамического модуля упругости дорожного покрытия.

В основе методики формирования подсистемы положено получение нормативно-технических показателей дорожного покрытия при его строительстве и эксплуатации. Как было показано в главе 2.1 основными показателями качества строительства покрытия может служить модуль общей деформации, модуль упругости и динамический модуль упругости конструктивного слоя.

В нашем случае динамический модуль упругости дорожного покрытия E_{VD} , достаточно достоверно может быть описан следующей функцией:

$$E_{vd} = f(F, D, C, V, NC), \quad (2.28)$$

где F – удерживающие усилия между частицами, $F=f(D, C, p, n)$, кН;

D – размеры частицы, $D = f(k, p, w)$, мм;

C – количество контактов между зернами, $C=f(R, n)$;

n – межзерновая пустотность слоя, $n=f(R, p, W)$, %;

NC – количество циклов нагружения на покрытие.

Удерживающая сила F между частицами, согласно выражению (2.7), может быть выражена в виде:

$$F = 4\pi \cdot C^{-1} \frac{D^2 p}{(1-n)'}, \quad (2.29)$$

где P – давление на образец материала, МПа;

D – размер частицы, мм;

C – контактное число, или число контактов между частицами;

n – пустотность слоя дискретного материала, %.

Для расчета контактных усилий, возникающих между частицами некондиционных каменных материалов, и учитывая принятые допущения введем понятие об усредненном расчетном размере частицы D_p [136].

Так как в процессе уплотнения и внешнего воздействия, размер частиц постоянно меняется, то для возможности оценки контактных усилий между частицами, изменение усредненного значения размеров частицы будем оценивать по следующему выражению:

$$D_p = D_0 \left(\frac{f_i^{0-0,315}}{D_i^{0-0,315}} + \frac{f_i^{0,315-2,5}}{D_i^{0,315-2,5}} + \frac{f_i^{2,5-5,0}}{D_i^{2,5-5,0}} + \frac{f_i^{5,0-10,0}}{D_i^{5,0-10,0}} + \frac{f_i^{10,0+20,0}}{D_i^{10,0+20,0}} + \frac{f_i^{20,0-40,0}}{D_i^{20,0-40,0}} + \frac{f_i^{40,0-70,0}}{D_i^{40,0-70,0}} \right)^{-1}, \quad (2.30)$$

где D_i – усредненный размер частиц смеси дорожного покрытия при i -ом цикле внешнего воздействия

D_0 – усредненный размер частиц исходной смеси местного, некондиционного каменного материала.

$f_i^{0-0,315}$ – содержание частиц размером от 0 ... 0,315 мм;

$f_i^{0,315-1,25}$ – содержание частиц размером от 0,315 ... 2,5 мм;

$f_i^{1,25-5,0}$ – содержание частиц размером от 2,5 ... 5,0 мм;

$f_i^{5,0-10,0}$ – содержание частиц размером от 5 ... 10,0 мм;

f_i^{10-20} – содержание частиц размером от 10 ... 20 мм;

f_i^{20-40} – содержание частиц размером от 20 ... 40 мм;

f_i^{40-70} – содержание частиц размером от 40 ... 70 мм.

С учетом исследований *W. F. Murphy* контактное число, или число контактов между частицами каменного материала примет вид уравнения 2.1.

В нашем случае, для принятых допущений параметры уравнения (2.1) принимают следующие значения: число контактов в неуплотненном слое дорожного покрытия $C_0 = 4,48$; начальная пустотность неуплотненного щебеночного слоя $V_0 = 0,385$ %; показатель степени $n = 0,48$; коэффициент $R = 9,8$.

Подсистема адаптивной нейронечёткой сети.

Из представленных выше исследований сделаем вывод, что модуль упругости дорожного покрытия и есть функция следующих переменных:

- размер частиц;
- сдерживающие усилия между частицами;
- число контактов между частицами;

- межзерновая пустотность слоя;
- количество циклов нагружения на покрытие.

Показанные выше данные составили основу оценки транспортно-эксплуатационного состояния дорожных покрытий, состоящих из каменных материалов, обладающих стабильным зерновым составом, которые практически не меняются для строительства лесовозных дорог.

Для этого, с целью расширения области применения результатов нужно распространить их на описание параметров некондиционных низкопрочных каменных материалов, но с учетом условий неопределенности их физико-механических параметров.

Для решения этой задачи с учетом условий неопределенности применялись методы приложения теории нечетких множеств нечеткой логики. Нечеткий вывод выполнялся по методу Мамдани. Для практической реализации нечетких моделей использовалась система компьютерной математики *Matlab*, которая располагает средствами для этой цели – приложения *Fuzzy Logic Toolbox*, *FIS Editor*.

Последовательность действий проводилась в соответствии с перечисленными выше задачами исследований.

Постановка задачи в содержательном виде происходила на основе результатов экспериментальных исследований, изложенных в главе 3 и заключалась в качественном описании основных зависимостей выходной величины от исходных данных.

В процедуре фаззификации были обоснованы входные и выходные переменные в виде нечетких функций принадлежности (лингвистических переменных) и найдены термножества лингвистических переменных.

В качестве входной величины была взята крупность начального фракционного состава каменного материала K (радиус частиц R), которая изменяется в диапазоне от 5 ... 60 мм.

Второй входной величиной принято количество циклов нагружения – NC . Диапазон ее изменения составляет от 10 ... 50 циклов нагружения.

В качестве выходного значения переменной, характеризующей несущую способность покрытия, принято значение удерживающих сил F между частицами каменного материала. В экспериментах было установлено, что эти значения могут находиться в диапазоне от 5,0 до 20,0 кН.

Для лингвистических переменных были получены термножества со следующими значениями:

- «Удерживающие силы, F » = {Мин, Мал, Срл, Бол, Макс};
- «Крупность фракционного состава, K » = {Мин, Мал, Срл, Бол, Макс};
- «Количество циклов нагружения, NC » = {Мин, Мал, Срл, Бол, Макс}.

В лингвистические переменные значения термножеств представлены в виде треугольных подмножеств, а по краям универсума приняты S-образные и Z-образные функции. Формализация нечетких функций была выполнена в среде *Fuzzy Logic Toolbox*.

Для вывода обобщающей функции $F_{ij} = f(K_{ij}, NC_{ij})$ сформулированы нечеткие функции принадлежности, которые показаны на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Нечеткие функции принадлежности

База правил нечеткой продукции формировалась логическими выражениями следующего вида:

База правил нечеткой продукции:

1. Если $K = \text{Min}$ и $\text{МП} = \text{Min}$, то $F = \text{Min}$;
2. Если $K = \text{M}$ и $\text{МП} = \text{Min}$, то $F = \text{M}$;
3. Если $K = \text{Cp}$ и $\text{МП} = \text{Min}$, то $F = \text{M}$;

4. Если $K = B$ и $M\Pi = \text{Min}$, то $F = C_p$;
5. Если $K = \text{Max}$ и $M\Pi = \text{Min}$, то $F = B$;

6. Если $K = \text{Min}$ и $M\Pi = M$, то $F = \text{Min}$;
7. Если $K = M$ и $M\Pi = M$, то $F = C_p$;
8. Если $K = C_p$ и $M\Pi = M$, то $F = B$;
9. Если $K = B$ и $M\Pi = M$, то $F = C_p$;
10. Если $K = \text{Max}$ и $M\Pi = M$, то $F = \text{Max}$;

11. Если $K = \text{Min}$ и $M\Pi = C_p$, то $F = \text{Min}$;
12. Если $K = M$ и $M\Pi = C_p$, то $F = M$;
13. Если $K = C_p$ и $M\Pi = C_p$, то $F = M$;
14. Если $K = B$ и $M\Pi = C_p$, то $F = C_p$;
15. Если $K = \text{Max}$ и $M\Pi = C_p$, то $F = B$;

16. Если $K = \text{Min}$ и $M\Pi = B$, то $F = \text{Min}$;
17. Если $K = M$ и $M\Pi = B$, то $F = \text{Min}$;
18. Если $K = C_p$ и $M\Pi = B$, то $F = M$;
19. Если $K = B$ и $M\Pi = B$, то $F = C_p$;
20. Если $K = \text{Max}$ и $M\Pi = B$, то $F = C_p$;

21. Если $K = \text{Min}$ и $M\Pi = \text{Max}$, то $F = \text{Min}$;
22. Если $K = M$ и $M\Pi = \text{Max}$, то $F = \text{Min}$;
23. Если $K = C_p$ и $M\Pi = \text{Max}$, то $F = \text{Min}$;
24. Если $K = B$ и $M\Pi = \text{Max}$, то $F = M$;
25. Если $K = \text{Max}$ и $M\Pi = \text{Max}$, то $F = M$.

В полном объеме разработанная база правил показана в таблице 2.5, а ее реализация в среде *Fuzzy Logic Toolbox* изображена на рисунке 2.14.

Таблица 2.5 – База правил нечеткого вывода моделирования величины удерживающих сил между частицами каменного материала $F = f(K, NC)$

Значения лингвистической переменной «Крупность фракционного состава К»	Значения выходных нечетких подмножеств «Удерживающие силы F» при изменении нечеткой функции «Количество циклов нагружения NC»				
	Мин	Мал	Срд	Бол	Макс
Мин	Мин	Мал	Мин	Мин	Мин
Мал	Мал	Срд	Мал	Мин	Мин
Срд	Срд	Бол	Срд	Мал	Мин
Бол	Срд	Макс	Бол	Срд	Мал
Макс	Бол	Макс	Бол	Срд	Мал

Создание новых методов оценки качества покрытий лесовозных дорог при строительстве из некондиционных материалов с учетом условий неопределенности привел к разработке адаптивной нейронечеткой продукционной сети типа *ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System)*. Эта сеть имеет свойства продукционных нечетких систем на основе базы правил и свойства простых нейронных сетей поэтому относится к системам гибридного типа. Систему строим в среде *MATLAB*. Для задания исходных данных создается файл в виде матрицы с исходными данными (таблица 2.6).

Выходной параметр.

Выходным параметром является динамический модуль упругости дорожного покрытия лесовозной дороги, который будет изменяться в диапазоне от 20 ... 60 МПа. В наших исследованиях, для настройки нейронной сети были применены данные, полученные при полевых испытаниях дорожных покрытий лесовозных дорог Уральского региона из гравийных материалов с использованием легкого прибора с падающим грузом ZFG – 3000-10GPS (Приложение Г, таблицы Г.1-Г.4).

Входные параметры.

Входным параметром принимаем удерживающие усилия, F , в диапазоне варьирования от 0,8 ... 8,6 кН.

Следующим параметром будет усредненный размер частиц, доминирующие в составе смеси дорожного покрытия D от 2,5 ... 18,2,0 мм. В нашем случае рассматриваем дорожное покрытие из некондиционных материалов.

Следующим параметром будет межзерновая пустотность p от 10 ... 30 %. Также принимается параметр количества циклов нагружения на покрытие NC в диапазоне от 10^1 ... 10^4 (см. таблицу 2.6). Обучающие выборки со значениями принятых параметров показаны в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Параметры обучающих выборок нейросети строительства покрытия лесовозных дорог

№	Удерживающие усилия между частицами, F кН	Усредненный размер частиц, D мм	Межзерновая пустотность, p	Количество циклов нагружения (степень), NC	Динамический модуль упругости, E_{VD} , МПа
1	8,6	18,2	0,25	10 (1)	25,3
2	4,2	7,2	0,14	100 (2)	48,7
3	2,3	6,3	0,11	1000 (3)	40,1
4	0,8	2,5	0,10	10000 (4)	28,6
Обоснование переменных					
5	Наибольшие зарегистрированные значения наблюдаемого диапазона	По данным ситового анализа	Наибольшее и наименьшее зарегистрированное значение пустотности дорожного покрытия	Нормативные значения для лесных дорог	Диапазон значений, полученных при полевых испытаниях
6	от 0,5 до 11,2	от 2,5 до 20	от 0,1 до 0,4	от 1 до 10000	от 18,6 до 52,5

Таким образом, задача оценки технологической эффективности строительства покрытия лесовозных дорог по значению динамического модуля упругости является чрезвычайно сложной, так как все взаимозависимые параметры характеризуются неопределенностью в данных. Поэтому для решения именно такого класса задач используем методы, построенные на основе интеллектуальных систем.

Эта сеть имеет свойства продукционных нечетких систем на основе базы правил и свойства простых нейронных сетей и поэтому относится к системам гибридного типа. Систему строим в среде *MATLAB*.

Исходные данные формируются в виде матрицы с исходными данными (рисунок 2.10).

mDin.dat – Блокнот

Файл	Правка	Формат	Вид	Справка	
8.6	18.2	0.25	1	25.3	
4.2	7.2	0.14	2	43.7	
2.3	6.3	0.11	3	40.1	
0.8	2.4	0.10	4	28.6	

Рисунок 2.9 – Файл исходных данных

В интерфейсе программы задаем схему методики сети, она изображена на рисунке 2.9.

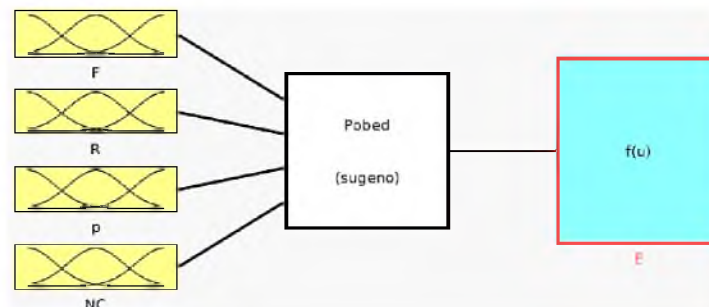


Рисунок 2.10 – Схема метода нечеткого вывода (*Сугено*) в сети

После загрузки исходных данных и определения параметров лингвистических переменных для входных и выходной переменных, генерируется структура сети (рисунок 2.10) с базой правил. В нашем случае для четырех входных переменных с тремя термножествами их лингвистических переменных получено 81 правило. Данный процесс связан с настройкой сети.

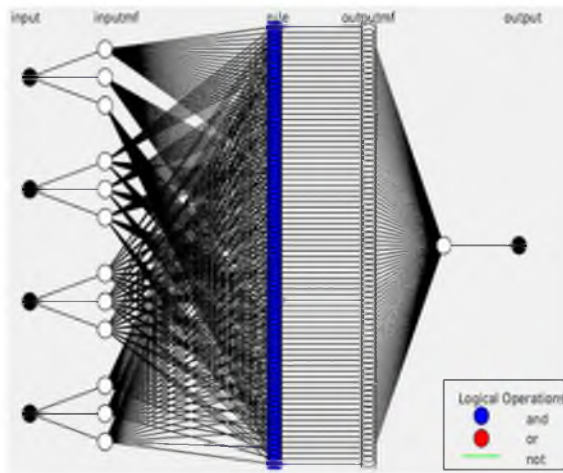


Рисунок 2.11 – Структура нейронечеткой сети

После обучения сети результаты расчетов должны иметь точностью не менее 1 %.

2.3 Результаты моделирования процесса строительства щебеночного покрытия лесовозной дороги

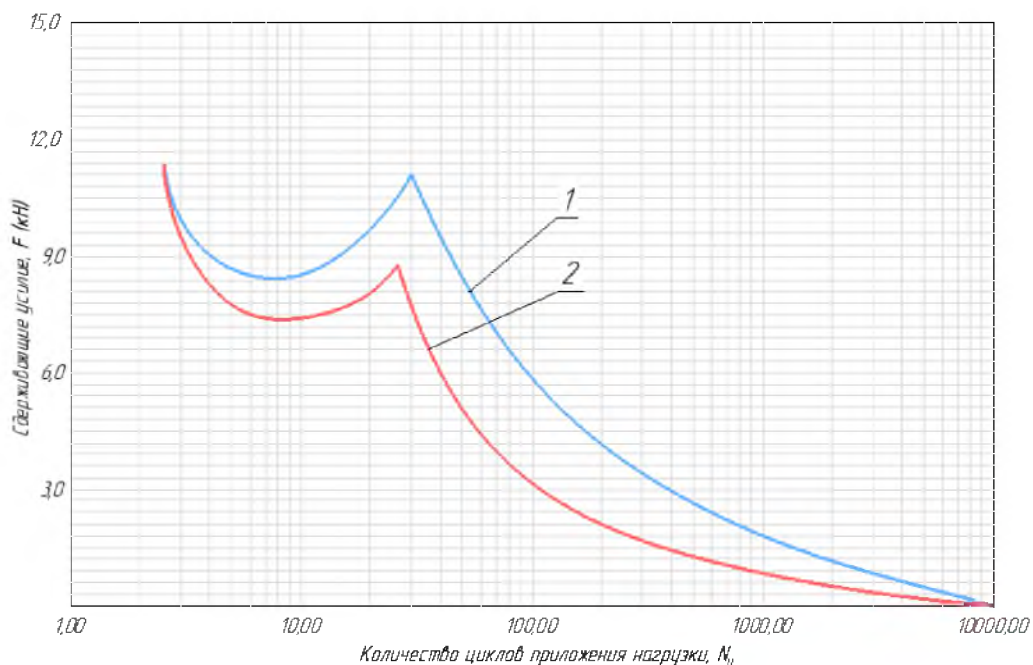
Процесс строительства покрытий переходного типа лесовозных дорог предполагает формирование уплотненного верхнего слоя дорожной одежды. На верхнее покрытие действует как статическая, так и динамическая нагрузка от уплотняющих машин и от движения построечного транспорта. Разработанная математическая модель позволила оценить изменения, происходящие в этих конструктивных слоях покрытий лесовозных дорог.

В результате внешних воздействий в точках контакта зерен каменного материала возникают усилия в виде удерживающих сил F между частицами. Как было показано выше мы рассматривали только безраспорные среды. При динамическом характере внешних воздействий размеры (радиус) частиц изменяются, происходит их измельчение.

В процессе измельчения частиц происходит уменьшение давления между зернами каменного материала до максимума, когда рост числа контактов замедляется и происходит перераспределение напряжений в покрытии. Следующее уплотнение приводит к росту сдерживающих усилий между зернами, вплоть до достижения оптимального гранулометрического состава. Но после достижения оптимального состава будет происходить последовательное снижение прочности щебеночного покрытия.

Следовательно, для оценки контактных усилий между частицами следует контролировать текущее значение среднего радиуса частиц.

Изменение удерживающих сил F происходит по-разному в различных диапазонах количества циклов нагружения N_C . На рисунке 2.12 показаны зависимости изменения удерживающих сил в покрытие лесовозной дороги от количества циклов нагружения для кондиционного (щебень фракции 20 ... 40) и некондиционного (ЩПС некондиционная, ООО «Уральский щебень», ООО «Покров-Уральский») каменного материала.



1 – кондиционный материал; 2 – некондиционный материал.

Рисунок 2.12 – Изменения удерживающих сил между частицами в покрытиях лесовозных дорог от количества циклов нагружения

На начальном этапе строительства происходит разравнивание и профилирование щебеночного материала. При уплотнении первые проходы катков производятся на низких скоростях и без вибрации. Происходит обжимка слоя и переупаковка частиц. В интервале от 0 ... 20 циклов нагружения будет выполняться интенсивная упаковка частиц и их частичное измельчение. Для указанного диапазона удерживающие силы описываются следующим уравнением:

$$F = 21,295NC^2 - 257,47 \cdot NC + 1532,9 \quad (2.31)$$

В этом диапазоне щебеночное покрытие имеют наибольшей структурной прочностью.

В процессе последующего уплотнения (диапазон от 20 ... 100 циклов нагружения) происходит дальнейшее измельчение каменного материала, и характер изменения удерживающих сил можно описать степенной функцией вида:

$$F = 4905,5 \cdot NC^{-0,614} \quad (2.32)$$

В этом диапазоне за счет образования мелких частиц начинает активно увеличиваться число контактов между зернами материала.

В диапазоне от 100 ... 1000 циклов нагружения формируется область с устойчивой структурной прочностью щебеночного покрытия, которую можно описать выражением вида:

$$F = 12785 \cdot NC^{-0,813} \quad (2.33)$$

Для диапазона от 1000 ... 10000 циклов нагружения наблюдается ослабления структурной прочности щебеночного покрытия, которую можно описать зависимостью:

$$F = 5E + 6 \cdot NC^{-1,687} \quad (2.34)$$

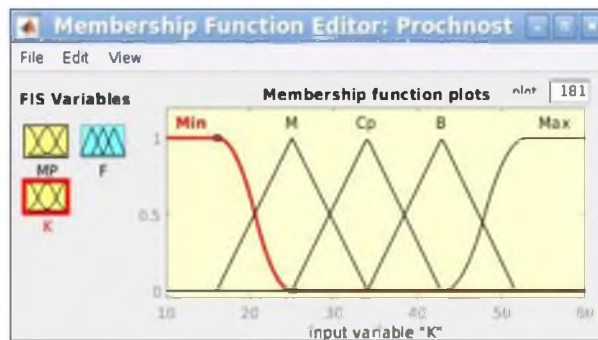
Усредненный размер частиц каменного материала при моделировании постоянно изменяется. Нами были рассмотрены выборки с размерами частиц от 2,5 ... 20 мм.

Изменения в зерновом составе влечет за собой изменения и в пустотности слоя. При моделировании использовались зависимости, полученные при лабораторных испытаниях различных каменных материалов (глава 3 настоящей работы). Так для щебеночно-песчаной смеси некондиционной, ООО «Уральский

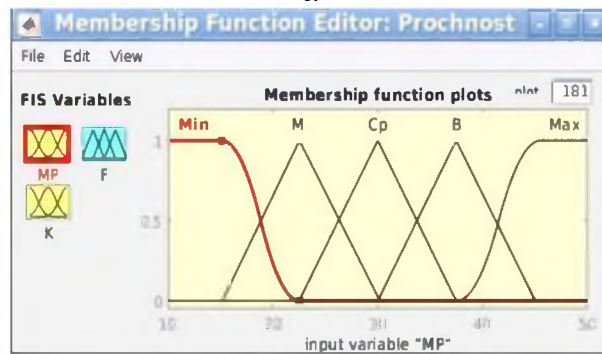
щебень», карьер Покров-Уральский межзерновая пустотность p , в диапазоне от 0 до 100 циклов нагружения описывается логарифмической зависимостью типа:

$$p = -3,014 \cdot \ln NC + 24,958. \quad (2.35)$$

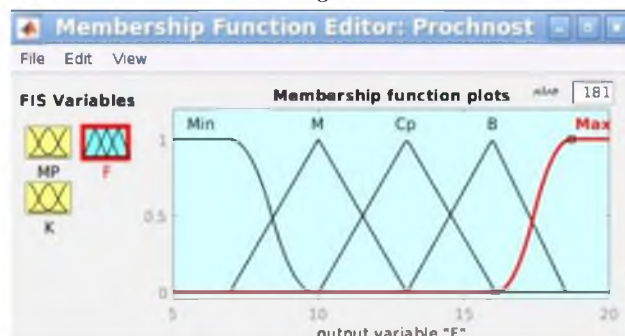
Решение поставленной задачи с учетом условий неопределенности проводилось с помощью основных методов приложения теории нечетких множеств нечеткой логики. Формализация нечетких функций в среде *Fuzzy Logic Toolbox* приведена рисунок 2.13.



a



б



в

a – «Крупность фракционного состава, K »;

б – «Количество циклов нагружения, NC »;

в – «Удерживающие усилия, F ».

Рисунок 2.13 – Задание нечетких функций в среде *Fuzzy Logic Toolbox*

Разработанная база правил и ее реализация в среде *Fuzzy Logic Toolbox* изображена на рисунок 2.14.

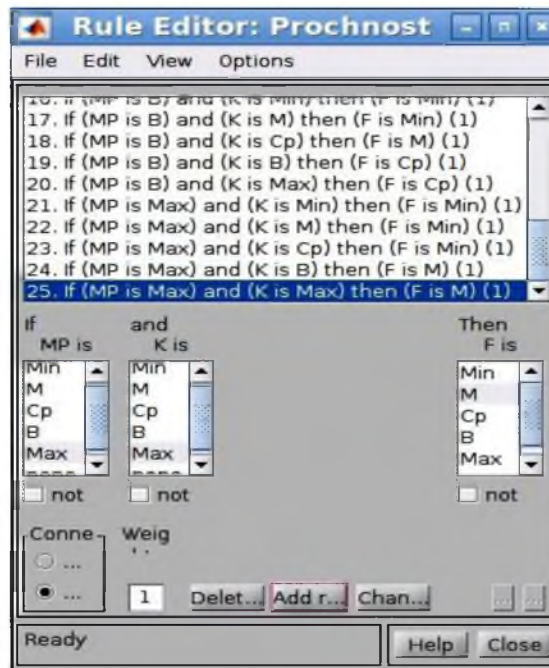


Рисунок 2.14 – Создание базы правил в среде *Fuzzy Logic Toolbox*

Процедура нечеткого вывода и приведение к четкости (дефаззификация) в среде *Fuzzy Logic Toolbox* показана на рисунке 2.15.

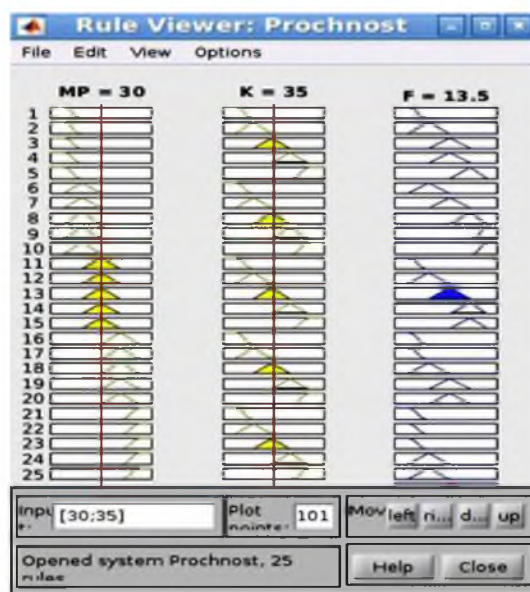


Рисунок 2.15 – Фрагмент процедуры нечеткого вывода в среде *Fuzzy Logic Toolbox*

Для оценки сдерживающего усилия, которое наиболее точно характеризует несущую способность покрытия, была получена соответствующая функция по изложенной выше методике.

График функции $F = f(K, NC)$ в зависимости от крупности фракционного состава и количества циклов нагружения показан на рисунке 2.16.

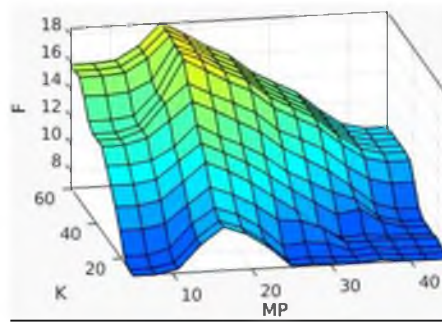


Рисунок 2.16 – График функции нечеткого вывода зависимости удерживающих усилий между частицами от размера частиц и циклов нагружения

Наличие разработанной адаптивной нейронечеткой продукционной сети типа *ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System)* позволило расширить область исследования повышения технологической эффективности строительства лесных дорог. Выбор функций принадлежности проводился по параметрам: количество циклов нагружения, удерживающие усилия, усредненный размер частиц, межзерновая пустотность. На рисунке 2.16 представлен фрагмент выбора функции принадлежности для количества циклов нагружения

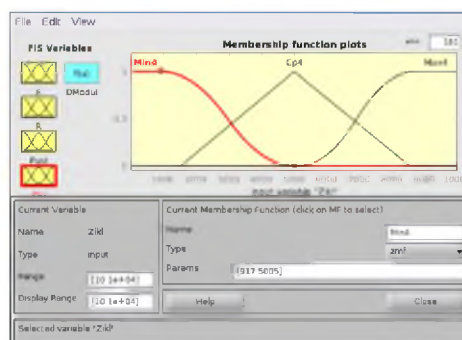


Рисунок 2.17 – Выбор функции принадлежности для оценки количества циклов нагружения

На рисунке 2.18 представлен нечеткий вывод в сети, полученный при обращении к процедуре «*Rule Viewer*» программы.

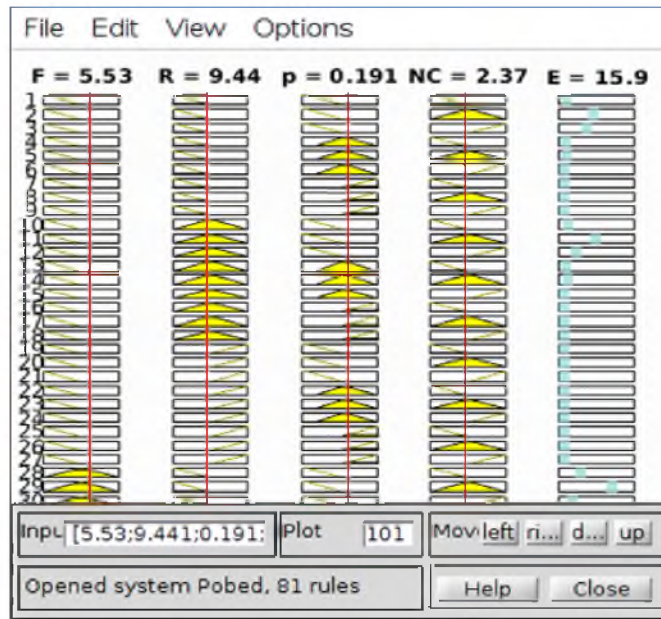


Рисунок 2.18 – Нечеткий вывод в сети

Результаты расчетов для тестовых примеров по нейросети сведены в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты расчетов для тестовых примеров по нейросети

№	F , кН	D , мм	p	NC , степень (циклов нагружения)	E_{vd} , МПа
1	5,53	9,44	0,191	2,37 (234)	15,90
2	6,68	14,8	0,145	3,23 (1700)	7,16
3	4,70	10,3	0,175	2,50 (316)	32,80
4	7,52	6,7	0,210	3,14 (1380)	2,03
5	2,38	15,3	0,165	2,37 (234)	8,49

На рисунке 2.19 представлен рабочий момент оценки поверхности отклика при обращении к процедуре «*Surface Viwer*» программы.

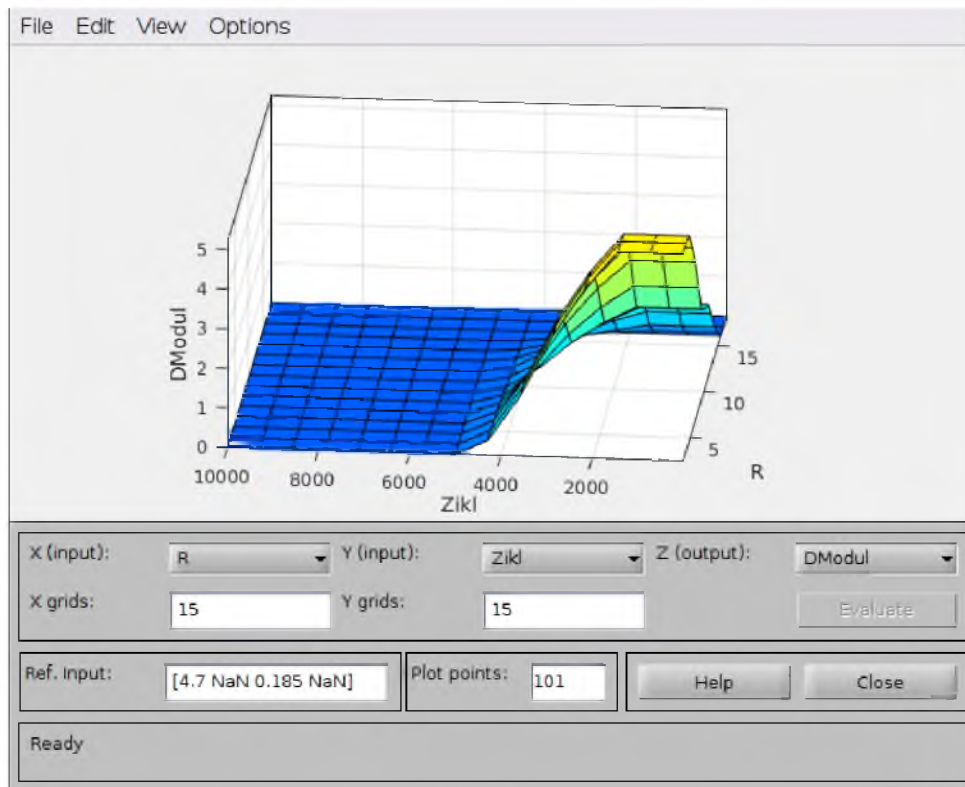
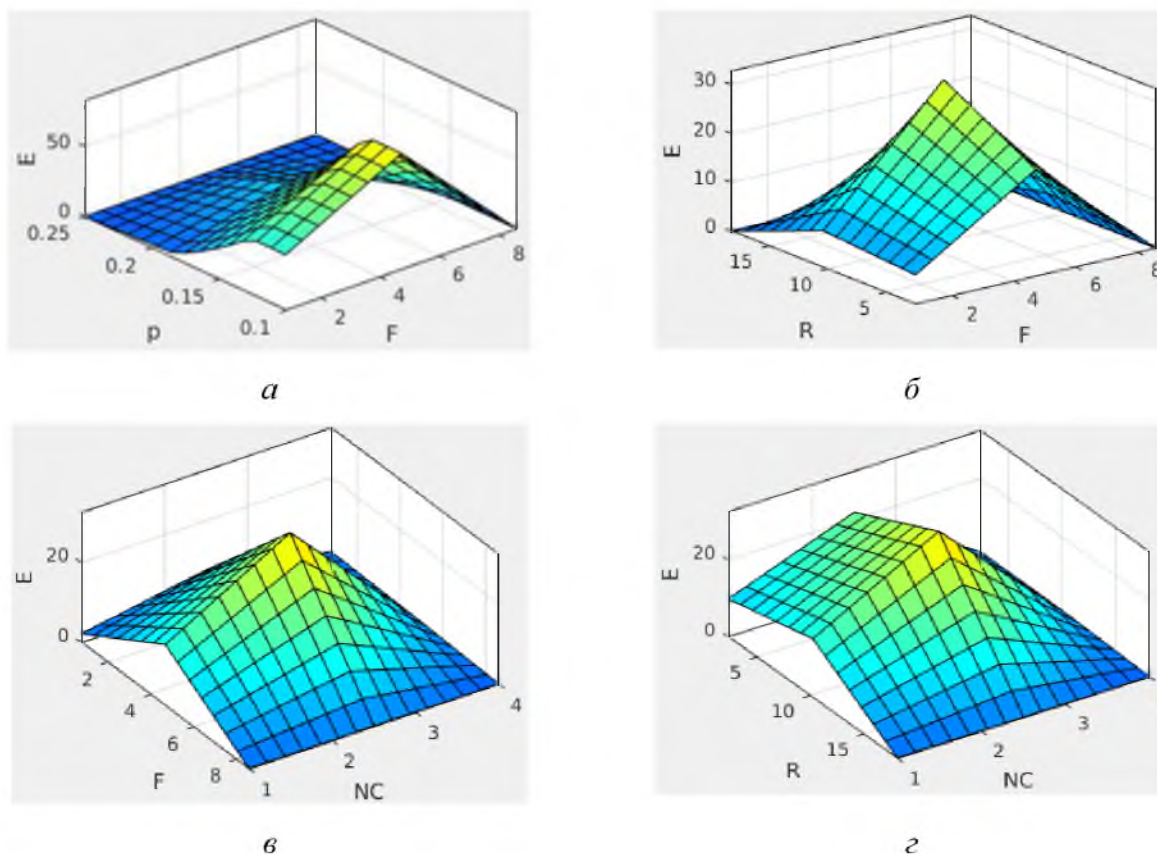


Рисунок 2.19 – Оценки поверхности отклика при обращении к процедуре «*Surface Viwer*»

Исходя из результатов расчетов, модель интеллектуальной системы является достаточно адекватной реальным объектам.

На рисунке 2.20 представлены результаты моделирования изменения технологических параметров щебеночных покрытий лесных дорог.

Изменения динамического модуля упругости в зависимости физико-механических свойств каменного материала позволил определить зоны оптимального уплотнения, исходя из наибольшей плотности смеси и ее зернового состава, при условии сохранности структуры дискретных, щебеночных слоев.



а) $E=f(p, F)$; б) $E=f(D, F)$; в) $E=f(NC, F)$; г) $E=f(D, NC)$.

Рисунок 2.20 – Зависимости изменения технологического параметра (динамический модуль упругости) в зависимости от циклов нагружения и физико-механических свойств щебеночного материала

Выводы по главе

1. Разработанные методики и математическая модель строительства лесовозных дорог с покрытиями из некондиционных щебеночных материалов, построенная на основе теории нечетких множеств и нечетких нейронных сетей, отличающиеся учетом неопределенности физико-механических характеристик некондиционных щебеночных материалов.
2. Разработаны теоретические основы расчета влияния зернового состава материала на прочность щебеночных покрытий лесовозных дорог, оцениваемая динамическим модулем упругости.

3. Установлено, что необходимо учитывать изменения числа контактов между частицами щебеночного материала, при его измельчении в процессе строительства и эксплуатации лесовозных дороги.

4. Установлено, что наибольшие удерживающие усилия в покрытиях лесовозных дорог из некондиционных щебеночных материалов достигаются при усредненном размере частиц 8,22 мм, а наименьшие, при преобладании частиц с усредненным размером частиц менее 2, 23 мм.

5. В процессе измельчения частиц происходит уменьшение давления в контактах между зернами каменного материала до предела, когда удерживающая сила замедляется и происходит перераспределение усилий в слое. Последующее уплотнение приводит к уменьшению удерживающих усилий между зернами вплоть до потери структурной устойчивости.

6. Установлено, что для получения прочного щебеночного покрытия лесовозной дороги из некондиционных материалов, необходимо приложить не менее 40-70 циклов нагрузки на уплотняемый слой материала.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЩЕБЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

3.1 Разработка методики проведения экспериментальных исследований по строительству щебеночных покрытий лесовозных дорог

Трудности, связанные с изменением параметров дорожных покрытий при строительстве, а также неопределенности физико-механических свойств щебеночного материала приводят к тому, что для оценивания взаимодействия дорожно-строительной техники с дорожными покрытиями нужно иметь набор опытно-экспериментальных показателей.

Целью исследования в производственных условиях построенных щебеночных покрытий лесовозных дорог из некондиционных материалов, является инструментальное измерение деформация и модулей упругости конструкций дорожных одежд и грунтов оснований.

При проведении исследований использованы следующие виды испытаний:

– измерение динамического модуля упругости конструктивных слоев дорожных одежд из щебенистых материалов с применением легкого прибора с падающим грузом ZFG 04.

Натурные исследования проводились при строительстве опытного участка ПК0+00 – ПК00+85, промышленная зона, Карпинский ЛПК филиал ООО «Ураллеспром» летом 2021 г. на отрезке протяженностью 85 м. Для испытаний было построено три опытных участка из различных щебеночных материалов.

В качестве уплотняющей машины использовался гладковальцовый каток Bomag BW 154 AD-4, с рабочей массой $Q = 9,8$ т, частота вибрации 40/55 Гц, возмущающая сила $P_{дин} = 89/63$ кН.

Измерения проводились согласно методике [94]:

Подготовка прибора к работе:

1. Для подготовки к испытанию необходимо уложить нагрузочную плиту на подлежащую испытанию поверхность, сдвигая или вращая плиту до тех пор, пока она не займет правильную позицию (для выравнивания небольших неровностей на поверхности можно нанести тонким слоем сухой песок, заполняющий полости только под штампом (плитой));

2. Далее динамометр и нагрузочная плита соединяется между собой с помощью кабеля, вставив оба его конца в соответствующие разъёмы на устройствах;

3. Падающий груз устанавливается на нагрузочную плиту. После этого необходимо отключить защитный предохранитель, потянув ручку предохранителя наружу.

Начало измерения.

1. Включаем прибор;

2. Для того, чтобы начать измерение нажимаем клавишу «ОК». На дисплее должно появиться текущие настройки измерения (диаметр нагрузочной плиты и масса падающего груза);

3. Далее на экране появится сообщение о сбрасывании груза. Кроме этого, должен прозвучать звуковой сигнал, сигнализирующий готовность аппарата.

4. Дальше необходимо поднять падающий груз до упора вверх и защелкнуть в устройстве захвата;

5. После того как направляющая штанга установлена полностью вертикально, необходимо отцепить падающий груз (нажав на ручку устройства захвата). После удачно проведенного 1-го измерения на дисплее должно появиться значение усадки (s_1);

6. Затем закрепляем груз заново в устройстве захвата и ждем звукового сигнала, который указывает на готовность аппарата. Выполнить сбрасывание 2-ой раз, на дисплее должно появиться значение усадки (s_2);

7. Повторяем процедуру 3-ий раз, на дисплее должно появиться значение усадки (s_3).

8. После чего на дисплее выводятся три значения осадки грунта. Система должна подтвердить завершение испытаний – двойным сигнальным гудком. Результаты испытаний автоматически записываются на карту памяти.

Количество контрольных точек на участках:

- участок №1, 7 точек;
- участок № 2, 7 точек;
- участок № 3, 7 точек.

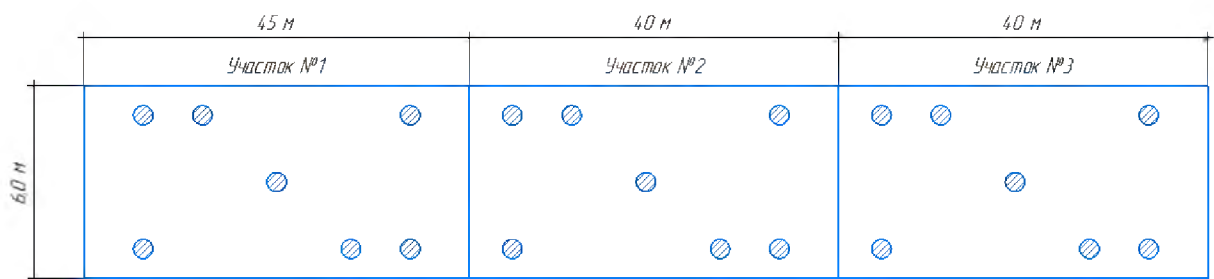


Рисунок 3.1 – Опытные участки и схема расположения контрольных точек для измерений транспортно-эксплуатационных параметров лесовозной дороги

Участок №1 – смесь щебеночно-песчаная некондиционная (ЩПСН), ООО «Уральский щебень», карьер п. Покров-Уральский.

Участок №2 – смесь вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов Богословского рудоуправления, месторождение Воронцовское.

Участок №3 – смесь вскрышных пород Волчанский балластный карьер.

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

Помимо опытно-производственных испытаний, на базе дорожно-строительной лаборатории ИЦ «ЛАДОР» были проведены лабораторные исследования некондиционных каменных материалов.

Были исследованы: Определение зернового состава (метод испытания по ГОСТ 8269.0-97 п. 4.3.2, ГОСТ 8735-88 п. 3) [23, 24]. Определение содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы методом визуальной разборки (метод испытания ГОСТ 8269.0-97 п. 4.7.1). Определение марки по дробимости (ГОСТ 8269.0-97 п. 4.8), Определение насыпной плотности и пустотности (ГОСТ 8269.0-97 п. 4.17), Определение пластичности ГОСТ 25607-2009 [19], п. 5.9, ГОСТ 5180-2015 п. 7, п. 8 [156], Определение устойчивости структуры щебня (гравия) против распадов (ГОСТ 8269.0-97 п. 4.23), Определение коэффициента фильтрации прибором ПКФ СоюзДорНИИ (ГОСТ 25607-2009 п. 5.11, ГОСТ 25584-2016 п. 4.5 [23, 155]).

Как показано в работах [89, 91] проблема изменения зернового состава дискретных материалов под влиянием внешних воздействий в настоящее время не имеет достаточно точного аналитического решения. На данный факт часто ссылаются производители, которые не имеют возможности контролировать степень уплотнения щебеночных оснований автомобильных дорог при их строительстве [53].

Испытания по изменению физико-механических свойств некондиционных щебеночно-песчаных смесей под воздействием внешнего нагружения были проведены в лабораторных условиях с использованием вальцового уплотнителя фирмы «*Matest*», в соответствии с требованиями основной нормативно-технической документации по строительству автомобильных дорог.

Вальцовый уплотнитель моделирует в лабораторных условиях взаимодействие металлического вальца катка с уплотняемым материалом. Так как нагрузка создается подвижным сектором, то возникают сдвиги в уплотняемом материале, что достаточно близко к реальному процессу уплотнения катком.

Цель испытаний состоит в анализе изменения зернового состава образцов материала в зависимости от количества приложений нагрузки.

Состав и порядок лабораторных испытаний:

1. Подготовка образца материала;
2. Создание многократно повторяющейся нагрузки на материал;

3. Определение зернового состава смеси после циклического воздействия;
4. Обработка полученных данных.

3.2 Лабораторные исследования уплотнения щебеночных некондиционных материалов

В опытах с нагружением образцов использовался вальцовый уплотнитель (роллерный компактор) В039 (рисунок 3.2), аттестованный на момент использования до декабря 2022 г. Основные технические характеристики вальцового уплотнителя В039 представлены в таблице 3.1.



а – вальцовый уплотнитель В039; *б* – экран установки.

Рисунок 3.2 – Вальцовый уплотнитель (роллерный компактор) В039

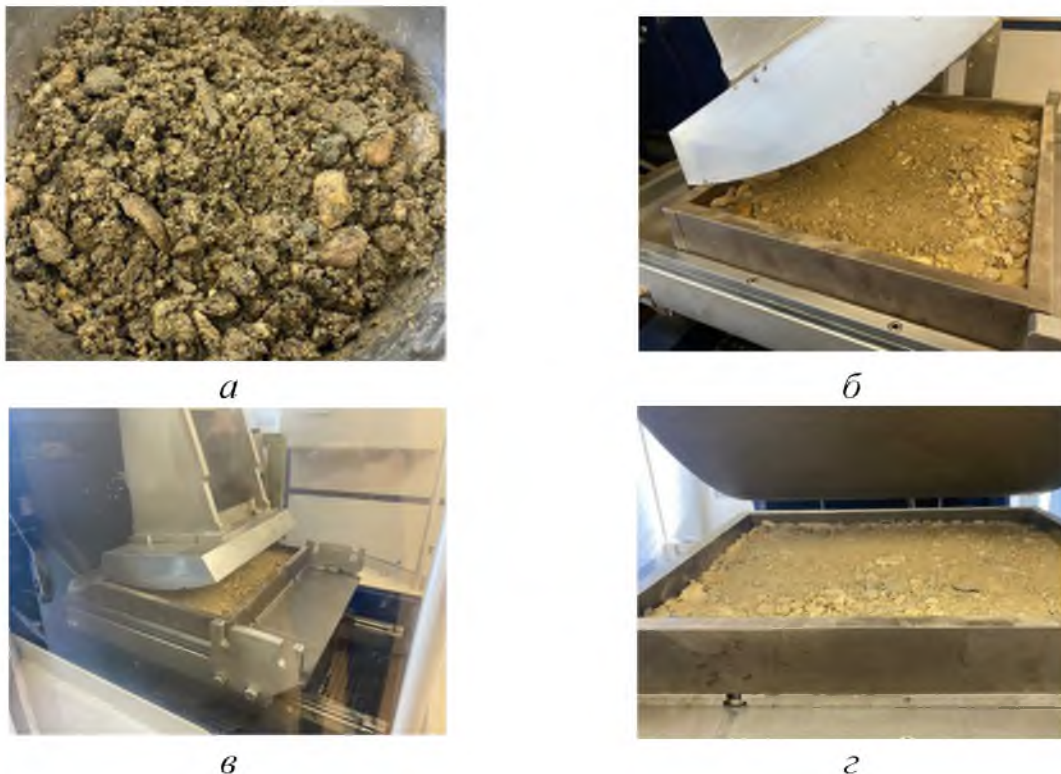
Таблица 3.1 – Основные технические характеристики вальцового уплотнителя В039

Вертикальное нагружение	до 40 кН
Регулировка скорости движения стола	от 3 до 12 м/мин
Электропитание	230 В / 50-60 Гц
Мощность	2,1 кВт (3,1 кВт с подогревом вальцов и стола)
Габариты (Д*Ш*В)	2200*1030*1880 мм (2410 мм с открытым кожухом)
Масса	1300 кг

Выбор степени уплотнения при испытании образцов щебеночного материала в вальцовом уплотнителе проводился с учетом суммарного воздействия динамической и статической нагрузки от виброуплотняющей техники.

По разработанной методике проводилось нагружение исходных материалов на секторном уплотнителе. В процессе испытаний, согласно плану, после каждого цикла приложения нагрузки проводились рассевы каменного материала и определение их зерновых составов. Секторный уплотнитель позволил оперативно создавать значительное количество циклов нагружения на исходный материал. В нашем случае мы ограничились значением 10000 циклов, что эквивалентно 50 проходам лесовозных автопоездов в сутки по лесной дороге в течение 15 лет.

Рабочий момент испытаний щебеночного материала на вальцовом уплотнителе представлен на рисунке 3.3.



а – подготовленный образец ЩПСН для испытания;
б – начальный этап уплотнения ЩПСН;
в – рабочий момент уплотнения ЩПСН;
г – уплотненный образец щебня ЩПСН.

Рисунок 3.3 – Испытания ЩПСН на вальцовом уплотнителе

Оценка обобщенного воздействия вибрационного катка на дорожное покрытие рассмотрена в главе 4.1.

Нагрузка, прикладываемая на опытный образец P_i учитывает как статическую, так и динамическую составляющую от вибровозбудителя катка. Для каждого последующего цикла нагружения i , обобщающая нагрузка соответствует следующему выражению:

$$P_i = P' \cdot \left(1 + \left(\frac{z_i}{n_{\text{ц}}} - 1 \right) \cdot d \right), \quad (3.1)$$

где d – коэффициент динамичности, $d = P_{\text{дин}} / P_{\text{ст}}$;

P' – обобщающая величина нагрузки на уплотняющий сектор, МПа;

z_i – величина уплотняющих воздействий сектора на материал, $z_i = 1, 2, \dots$
 $n_{\text{ц}}$,

$n_{\text{ц}}$ – количество циклов нагружения.

Межзерновая пустотность слоя щебеночного покрытия определялась на основании значений истинной плотности щебеночного материала и плотности слоя покрытия:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_{\text{обр}}}{\rho_{\text{ист}}} \right) \cdot 100, \quad (3.2)$$

где $\rho_{\text{обр}}$ – плотность слоя покрытия, г/см³;

$\rho_{\text{ист}}$ – истинная плотность каменного материала, г/см³.

Под межзерновой пустотностью будем понимать отношение суммарного объема межзерновых пустот в щебеночном материале ко всему объему, занимаемому этим материалом (ГОСТ 33047 [20]).

Межзерновая пустотность в процессе уплотнения щебеночного материала оценивается следующим выражением:

$$\Pi_i^c = \left(\frac{V_d (K_c - 1)}{1000} + 1 \right) \cdot \Pi_i, \quad (3.3)$$

где Π_i^C – текущая межзерновая пустотность при i -ом цикле нагружения слоя, %;

V_d – коэффициент формы влияния уплотняющего сектора на образец материала;

K_c – коэффициент объемной деформации слоя,

$$K_c = \frac{V_{обр}}{V_{бок}};$$

где $V_{обр}$ – начальный объем образца щебеночного материала, см³;

$V_{бок}$ – конечный объем образца щебеночного материала, см³;

Коэффициент влияния уплотняющего сектора на образец материала с учетом размеров длины контакта:

$$V_d = 1 - \left(\frac{D_c}{D_{обр}} \right)^2, \quad (3.4)$$

где D_c – диаметр уплотняющего сектора роллерного компактора, см;

$D_{обр}$ – средний расчетный диаметр образца уплотняемого материала, см

Основные физико-механические показатели исследуемого материала приведены в Приложении В, таблицы В1-В5:

– смесь щебеночно-песчаная некондиционная, ООО «Уральский щебень», карьер п. Покров-Уральский;

– смесь вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов Богословского рудоуправления, месторождение Воронцовское;

– смесь вскрышных пород Волчанский балластный карьер.

На рисунке 3.4 и в таблице 3.2 показаны изменения пустотности и параметры уравнений регрессии в зависимости от количества приложения нагрузки для щебеночного материала №1, №2 и №3. Изменение пустотности следует логарифмической зависимости и принимает вид $y = a \cdot \ln(x) + b$.

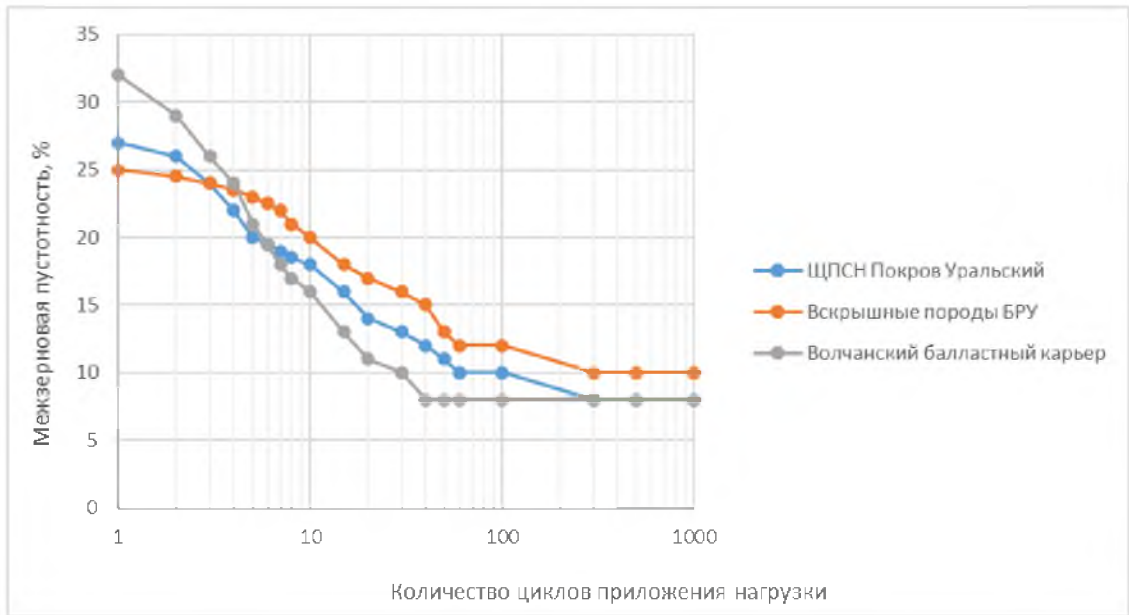


Рисунок 3.4 – Изменение пустотности щебеночного слоя в зависимости от количества циклов приложения нагрузки

Таблица 3.2 – Параметры уравнений изменения пустотности щебеночных покрытий в зависимости от количества циклов приложения нагрузки

Вид щебеночного покрытия	Изменение пустотности		
	параметр a	параметр b	R ²
ЩПСН некондиционная, ООО «Уральский щебень», Покров-Уральский	-3,014	24,958	0,89
Смесь вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов Богословского рудоуправления	-2,841	26,434	0,92
Смесь вскрышных пород Волчанский балластный карьер	-3,375	25,184	0,73

На рисунке 3.5 показаны значения уравнений регрессии изменения межзерновой пустотности различных щебеночных материалов в зависимости от количества приложения нагрузки

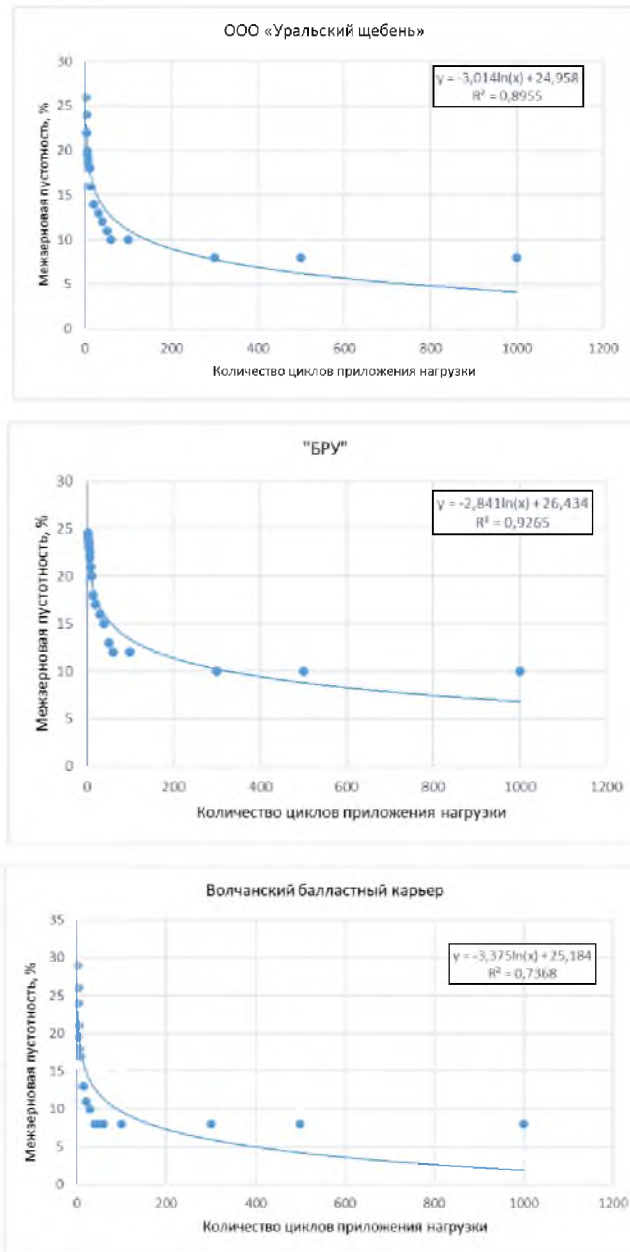


Рисунок 3.5 – Изменения межзерновой пустотности различных щебеночных материалов в зависимости от количества приложения нагрузки

Определение зернового состава щебеночного материала.

Зерновой состав щебеночного материала определяем путем отсева с помощью пробы на стандартном наборе сит.

В ходе проведения эксперимента использовались сита с отверстиями, соответствующими номинальным размерам зерен данной фракции и весы Электронные весы серии AJ-6200CE, I класса точности.

Для проверки соответствия зернового состава все образцы просеивались ручным способом через сита с отверстиями $D_{70}, D_{40}, D_{20}, D_{10}, D_{50}, D_{2,5}, D_{1,25}, D_{0,63}, D_{0,315}, D_{0,16}, D_{0,05}$ и поддон собранные последовательно в колонку, вместе с крышкой, начиная снизу с сита с отверстиями наименьшего размера.

Частные остатки на ситах взвешиваются и затем рассчитывается их процентное содержания от общей массы образца по следующей формуле:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (3.5)$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г;

m – масса всего образца, г.

Затем данные по частным остаткам на ситах переводится в полные остатки и полные проходы для построения кривых зернового состава полученной смеси (таблица 3.3, рисунок 3.6).

Таблица 3.3 – Исходный зерновой состав щебеночно-песчаной смеси, некондиционной, ООО «Уральский щебень», п. Покров-Уральский.

Размер отверстий сит, мм	Частный остаток, г	Частный остаток, %	Полный остаток, %	Полный проход, %
70	50	0,95	0,95	99,05
40	300	5,71	6,66	93,34
20	400	7,61	14,27	85,73
10	715,95	13,63	27,90	72,10
5	800	15,23	43,13	56,87
2,5	800	15,23	58,35	41,65
1,25	600	11,42	69,77	30,23
0,63	700	13,32	83,10	16,90
0,315	529,22	10,07	93,17	6,83
0,16	226,62	4,31	97,48	2,52
0,05	128,08	2,44	99,92	0,08
менее 0,05	4,13	0,08	100,00	
Итого	5254			

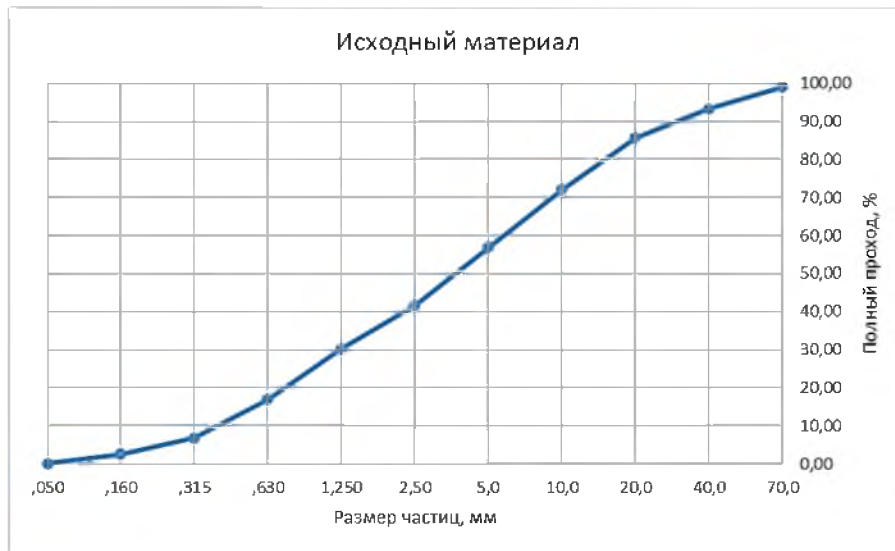


Рисунок 3.6 – Кривая зернового состава исходной щебеночно-песчаной смеси некондиционной, карьер п. Покров Уральский

Основные физико-механические показатели исследуемых материалов материала приведены в Приложении В, таблицы В1-В5.

В результате проведенного комплекса испытаний получены данные по изменению зерновых составов материала в зависимости от количества циклов приложения нагрузки. На рисунке 3.7 показаны зависимости изменения зерновых составов щебеночно-песчаной смеси, некондиционной, в зависимости от количества циклов приложения нагрузки.

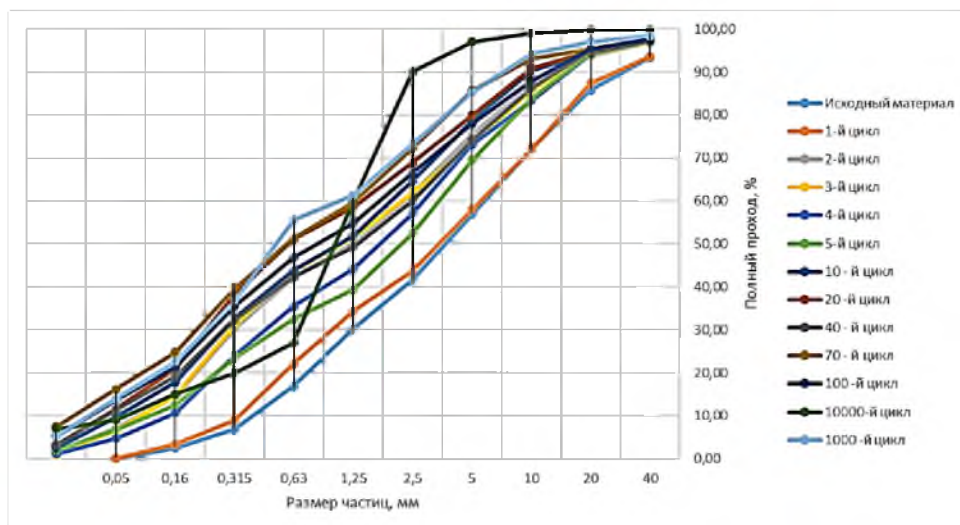


Рисунок 3.7 – Зерновой состав щебеночно-песчаной смеси, некондиционной, в зависимости от количества циклов приложения нагрузки

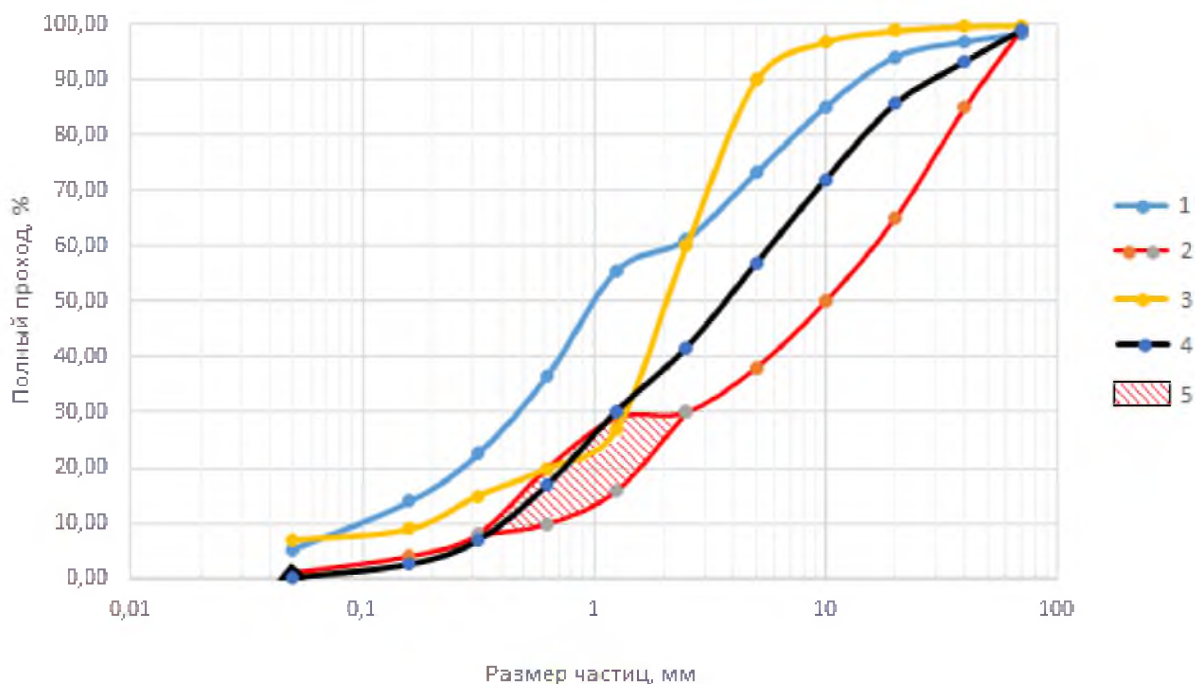
Из анализа зерновых составов следует, что в процессе уплотнения щебеночного слоя происходит интенсивное измельчение каменного материала. Однако зерна разных размеров измельчаются по-разному. Наибольшему изменению подвергаются частицы с размером от 5,0 до 70 мм. Именно они начинают увеличивать количество мелких частиц в смеси материала. Начиная с 100-го нагружения характер измельчения изменяется, что видимо связано с перераспределением напряжений от уплотнения в смеси и изменениями между каркасообразующими и заполняющими фракциями Приложение Г, таблицы Г.6-1.6 и рисунки Г.1-Г.2).

Полученные данные использовались для настройки неросети в математической модели уплотнения, разработанной в главе 2.

Полученный материал позволил получить зависимости изменения зерновых составов и оценить структурную устойчивость зернистых сред с нестабильными зерновыми составами.

На рисунке 3.8 Представлены кривые зерновых составов в зависимости от циклов приложения нагружения.

Анализ показал, что применение некондиционных каменных материалов при строительстве щебеночных покрытий лесовозных дорог имеют свои особенности. Было выяснено, что исходный состав смесей не удовлетворяет основным требованиям, предъявляемыми нормативно технической документации (НТД) к зерновым составам (ГОСТ 25607, СП 243.1326000.2015, СП 288.1325800.2016 [19, 109, 110]). В частности, кривая 3 (измельчение материала после 10000 циклов нагружения) проходит по области 5, ограниченного доступа, что говорит о структурной-неустойчивости слоя дискретного материала. Только значительное количество каркасообразующей фракции это частично компенсирует.



1 – зерновой состав после 40 – го цикла приложения нагрузки;

2 – Область ограниченного доступа

(область структурно-неустойчивых смесей фр. св. 0,315 до 2,5 мм);

3 – зерновой состав после 10000 – го цикла приложения нагрузки;

4 – исходный состав ЩПСН; 5 – Область ограниченного доступа.

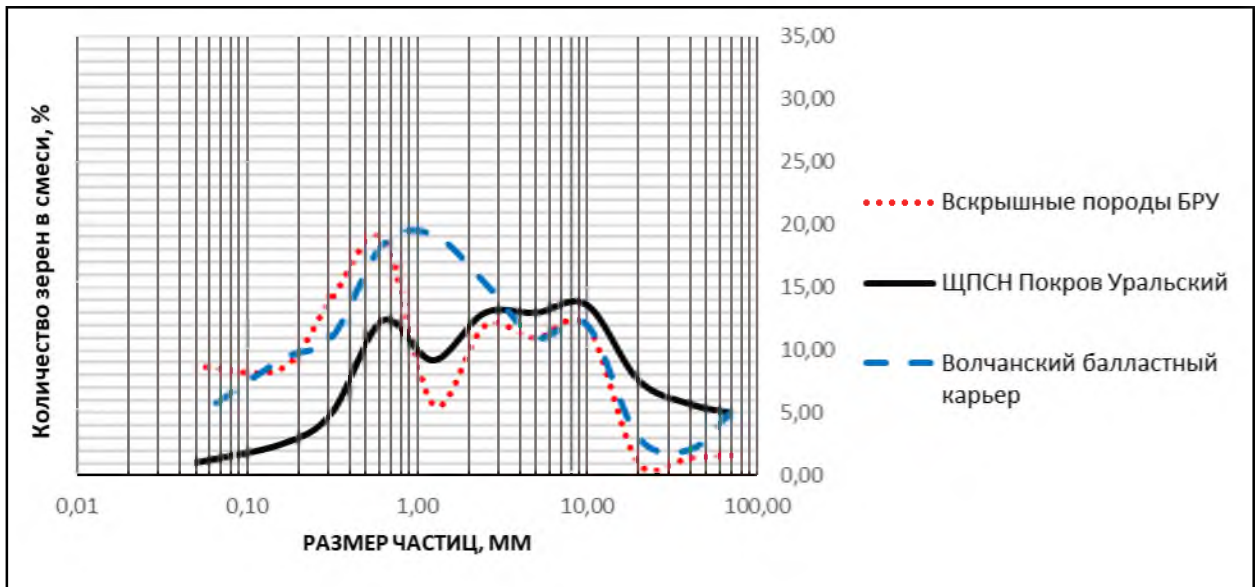
Рисунок 3.8 – Изменения зерновых составов щебеночно-песчаной смеси, некондиционной, в зависимости от количества циклов приложения нагрузки

В процессе уплотнения слоя из щебеночного материала происходит существенное изменение зернового состава. В опытах было зафиксировано уменьшение крупной, каркасообразующей фракции состава. Зерновой состав после уплотнения, на 40-м цикле, показал приемлемые показатели по структурной устойчивости, крива 4. Однако по мере увеличения внешнего воздействия количество мелкого заполнителя продолжает увеличиваться и достигает критических значений при значениях 10000 – ом цикле нагружения.

Как показано в главе 2 важным значением для создания удерживающих усилий между частицами является не только размер частиц, но и их процентное соотношение между собой.

Это известно, но для анализа количества размеров преобладающих частиц необходимо провести частотный анализ, т. е. количество частиц данного размера к общему количеству частиц в смеси.

На рисунке 3.9 представлен частотный анализ исходной смеси некондиционной ЩПС Покров-Уральский ООО «Уральский щебень», смесь вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов Богословского рудоуправления и смесь вскрышных пород Волчанский балластный карьер



1 – смесь вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов Богословского рудоуправления;

2 – некондиционной ЩПС Покров-Уральский ООО «Уральский щебень»;

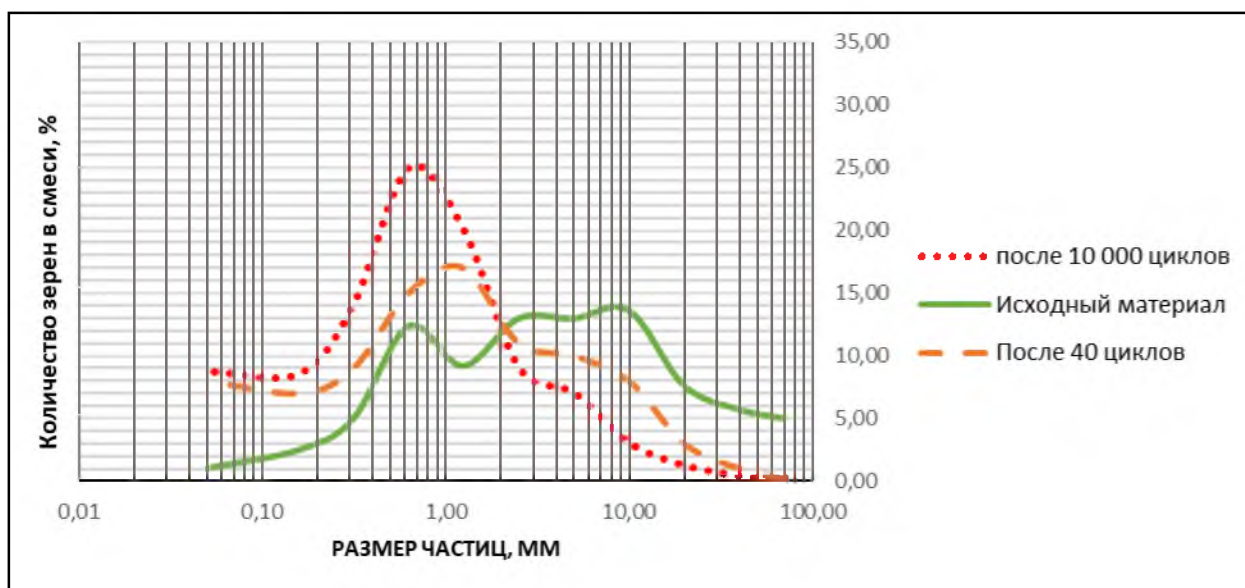
3 – смесь вскрышных пород Волчанский балластный карьер

Рисунок 3.9 – Частотный анализ зернового состава исходного некондиционного материала для строительства покрытий лесовозных дорог

Частотный анализ показывает значительное количество частиц заполняющей фракции и неоднородность крупного заполнителя. Особенно много части св. 2 до 7 мм в составе ЩПС Покров-Уральского карьера.

В лабораторных условиях были смоделированы уплотняющие воздействия на материал. На рисунке 3.10 представлен частотный анализ смеси

ЩПСН, некондиционной п. Покров-Уральский при различных величинах внешнего приложения нагружения.



1 – после 40 циклов; 2 – исходный материал; 3 – после 10000 циклов.

Рисунок 3.10 – Частотный анализ зернового состава некондиционной ЩПСН Покров-Уральский ООО «Уральский щебень» при строительстве покрытий лесовозных дорог

Полученные опытно-экспериментальные зависимости были применены при настройке нейронной сети в математической модели строительства щебеночного покрытия лесовозных дорог.

3.3 Производственные исследования строительства щебеночных покрытий лесовозных дорог

Согласно плану опытно-производственных испытаний было построено три опытных участка из различных некондиционных щебеночных материалов.

Натурные испытания по оценке динамического модуля деформации и определения остаточной пустотности щебеночного слоя опытного участка лесовозных дороги из местных щебеночных материалов проводились в период 30 июня по 10 июля 2021 г. (рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Обследование дорожных конструкций из некондиционных материалов динамическим прогибомером ZFG (координаты опытного участка 59.757660, 59.979640)

Измерение динамического модуля упругости конструктивных слоев дорожных одежд из щебенистых материалов проводилось с применением легкого прибора с падающим грузом ZFG 04 [94].

Одновременно с испытанием на прочность щебеночных слоев отбирались пробы зернистого материала, измерялась толщина конструктивных слоев и фиксировалось состояние дорожного покрытия.

Анализ результатов измерения динамического модуля щебеночных слоев покрытия показывает, что они варьируются в довольно широком интервале. На них оказывает существенное влияние как вид используемого материала, так и технология строительства дорожных покрытий.

Фактический динамический модуль упругости щебеночного покрытия лесной дороги можно оценить при помощи выражения:

$$\bar{E}_{vd,j} = \frac{\sum_{i=1}^k E_{vd,j,i}}{m_j}, \quad (3.6)$$

где $\bar{E}_{vd,j}$ – динамический модуль упругости в i – сечении дорожной конструкции в j – момент времени, МПа;

m_j – количество измерений в j – момент времени.

При обработке результатов линейных испытаний дорожных покрытий лесовозных дорог применяли следующую методику.

В случае однородного участка лесовозной дороги, если результаты испытания отличаются более чем в 2,5 раза, то следует проводить отбраковку. В наших исследованиях были использованы данные, представленные в таблицах распределения Стьюдента [94].

В процессе выборочных сравнительных испытаний полученные величины сравнивались с известным условием $\tau_{(5\%n)} \leq \tau \leq \tau_{(0,1\%n)}$.

В процессе отбраковки все результаты измерений были подразделены на три группы: $\tau_{(5\%n)} < \tau$; $\tau_{(5\%n)} \leq \tau \leq \tau_{(0,1\%n)}$; $\tau > \tau_{(0,1\%n)}$. Измерения, попавшие в начальную группу отбраковке, не являются значимыми.

Измерения, попавшие во вторую группу, можно не учитывать, если в пользу этого отбора имеются иные подходы и соображения. Все значения, попавшие в третью группу, однозначно отбраковываются.

Для повышения надежности полученных данных будем оценивать расчетный фактический динамический модуль упругости $E_{vd,p}$ щебеночного покрытия по следующему выражению:

$$E_{vd,p} = \bar{E}_{vd,j} (1 - tv_e), \quad (3.7)$$

где $\bar{E}_{vd,j}$ – средний фактический динамический модуль упругости слоя;

t – нормированное отклонение, которое имеет зависимость от заданного уровня надежности и количества измерений;

v_e – коэффициент вариации очищенного массива значений динамического модуля упругости.

В нашем случае, для оценки коэффициента вариации динамического модуля упругости примем выражение:

$$v_e = \frac{1}{\bar{E}_{vd,j}} \cdot \frac{\sum_{j=1}^m (E_{vd,p} - \bar{E}_{vd,j})^2}{m-1}, \quad (3.8)$$

В таблицах 3.4–3.5 представлены значения фактических расчетных значений динамического модуля упругости, приведенные к расчетному периоду года для покрытий лесовозных дорог.

Таблица 3.4 – Физико-механические характеристики щебеночных покрытий лесовозных дорог

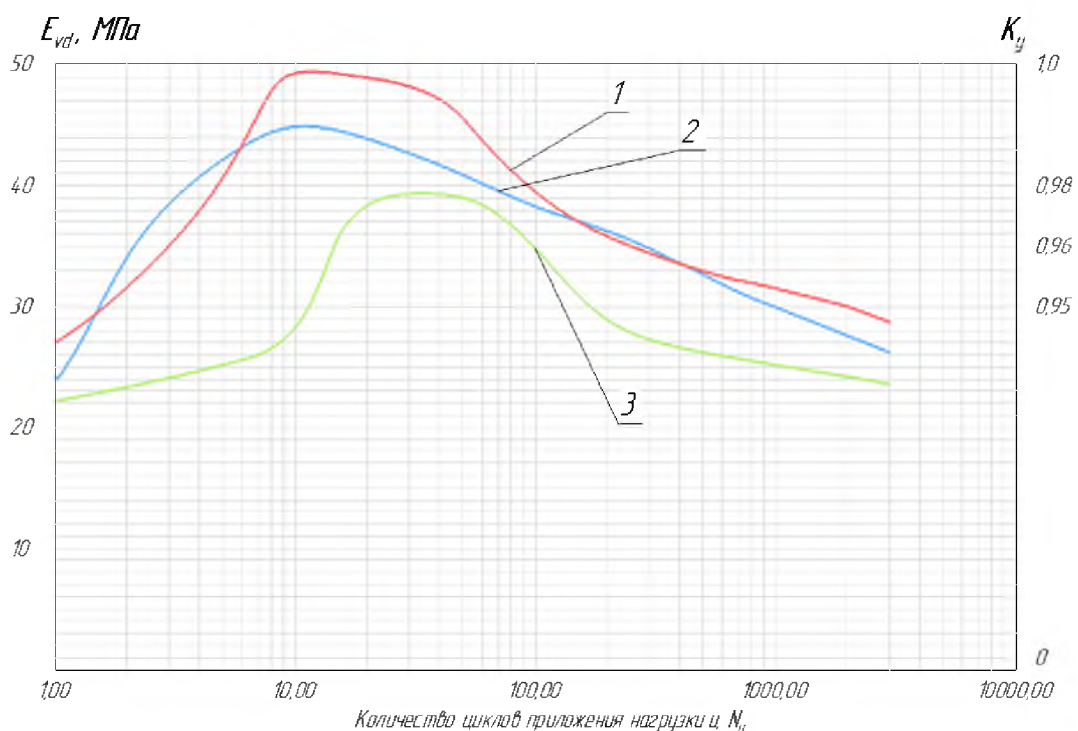
Номер участка	Фактический расчетный динамический модуль упругости $E_{vd,p}$, МПа	Среднеквадратичное отклонение, σ , МПа	Коэффициент вариации, K_v , %	Граница доверительного интервала, $\pm\mu_{ct}$
1. ЩПСН некондиционная, ООО «Уральский щебень», Покров-Уральский	49,7	0,4	5,1	0,0006
2. Смесь вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов Богословского рудоправления	46,2	0,6	5,3	0,0012
3. Смесь вскрышных пород Волчанский балластный карьер	39,8	0,7	5,4	0,0014

Таблица 3.5 – Результаты опытного строительства щебеночного покрытия лесовозных дорог из некондиционных материалов

Номер участка	Нормативный динамический модуль упругости, МПа	Фактический расчетный динамический модуль упругости $E_{vd,p}$, МПа
1. ЩПС некондиционная, ООО «Уральский щебень», Покров-Уральский	≥ 35	49,7
2. Смесь вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов Богословского рудоправления	≥ 35	42,2
3. Смесь вскрышных пород Волчанский балластный карьер	≥ 35	39,8

В процессе уплотнения лесовозных дорог происходит интенсивное накопление деформаций щебеночных покрытий. В работах [79, 98] рассмотрена зависимость между прочностными показателями дорожных конструкций и динамическим модулем упругости.

На рисунке 3.11 показаны зависимости изменения динамического модуля упругости и коэффициента уплотнения щебеночного покрытия в зависимости от количества циклов нагружения, а на рисунке 3.12 зависимости динамического модуля упругости покрытия от остаточной пустотности.



1 – Участок №1; 2 – Участок №2; 3 – Участок №3.

Рисунок 3.11 – Изменение динамического модуля упругости и коэффициента уплотнения щебеночного покрытия в зависимости от количества циклов нагружения

При строительстве щебеночного покрытия было выявлено, что прочность слоя наиболее интенсивно возрастает при начальных проходах катка (рисунок 3.11, кривая 1, 2, 3). Очевидно, что после окончания уплотнения (40-

70 циклов) будет происходить последующее доуплотнение под действием лесовозного подвижного состава. Динамический модуль упругости на данном участке практически не изменяется. В диапазоне от 100 ... 2000 циклов наблюдается устойчивое снижение прочности дорожного покрытия. Начиная с 100-го нагружения характер измельчения изменяется, что видимо связано с перераспределением напряжений от уплотнения в смеси и изменениями между каркасообразующими и заполняющими фракциями.

Результаты опытных испытаний приведены в Приложении Г, таблицы Г.4-Г6. По результатам опытных данных построен график зависимости динамического модуля упругости от остаточной пустотности щебеночного покрытия (рисунок 3.12).

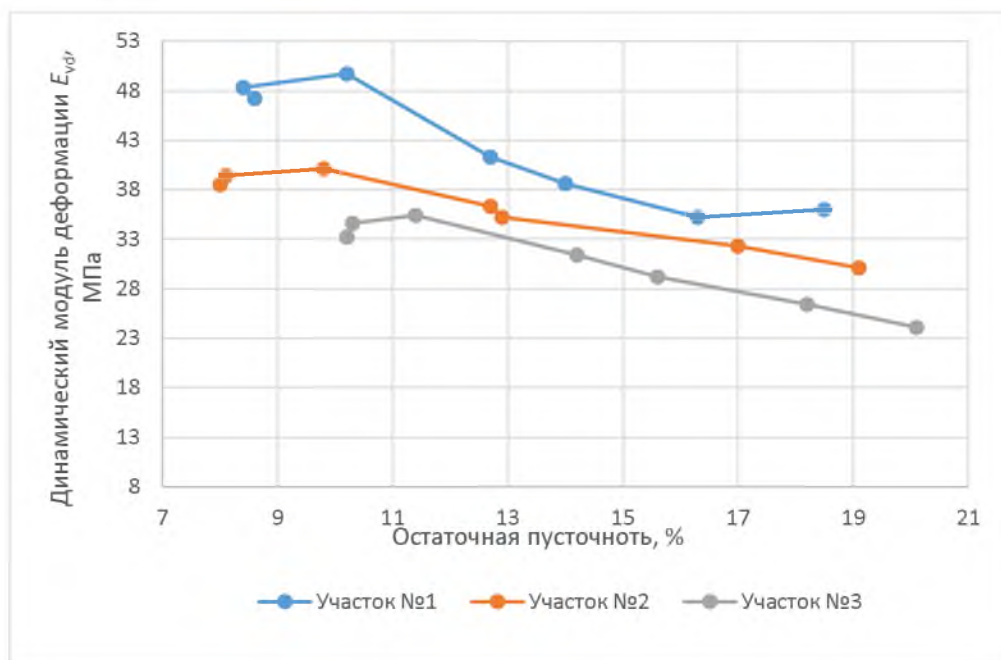


Рисунок 3.12 – Экспериментальная зависимость динамического модуля упругости покрытия от остаточной пустотности

Графики имеет линейный статистический характер и позволяет оценивать прочностные характеристики покрытия в зависимости от пустотности слоя.

Выводы по главе

1. Апробирована методика испытаний некондиционных материалов в лабораторных условиях для прогнозирования изменения физико-механических характеристик конструктивных слоев дорожных одежд.
2. Установлено, что исходный состав смесей не удовлетворяет основным требованиям, предъявляемыми нормативно технической документации (НТД) к дорожно-строительным материалам для покрытий дорог
3. В результате лабораторных исследований было выяснено, что в процессе уплотнения щебеночного слоя происходит интенсивное измельчение каменного материала. Наибольшему изменению подвергаются частицы с размером от 5,0 до 70 мм.
4. Было выяснено, что структурная устойчивость щебеночного материала с нестабильными зерновыми составами зависит от размеров частиц
5. Приемлемая устойчивость щебеночного слоя достигается, когда в диапазоне от 2,5 до 10 мм количество зерен в смеси не менее 27 %. Частотный анализ составов щебеночных смесей показал, что при достижении среднего номинального максимального размера в диапазоне от 5 до 10 мм прочность слоя достигает наибольших значений.
6. Область структурной-неустойчивости смеси достигается для размеров зерен от 0,315 до 2,5 мм в диапазоне полных проходов от 8,2 до 30,0 %.
7. Установлено, что для достижения минимального значения динамического модуля упругости не менее чем 49 МПа смесь из некондиционных материалов должна иметь гранулометрический состав следующего диапазона: фракция 70 мм – от 0 ... 5%; фракция 40 мм – от 5 ... 10 %; фракция 20 мм – от 5 ... 20 %; фракция 10 мм от 20 ... 55 %; фракция 5 мм – от 30 ... 75 %; фракция 2,5 мм – от 35 ... 85 %; фракция 0,63 мм – от 65 ... 95 %; фракция 0,16 мм – от 90 ... 100% ; фракция 0,05 мм – от 97 ... 100%; менее 0,05 мм – 100%.

8. В процессе строительства щебеночного покрытия было выявлено, что прочность слоя наиболее интенсивно возрастает при начальных проходах виброкатка.

9. Для достижения нормативных значений прочности покрытия из некондиционных материалов необходимо приложить от 6 до 8 проходов виброкатка по одному следу, что соответствовало диапазону от 40 до 70 циклов приложения нагрузки.

10. При строительстве лесовозных дорог из некондиционных материалов динамический модуль упругости щебеночного покрытия следует принимать равным 35 МПа и выше, при величине остаточной пустотности не более 18 %.

11. Установлено, что при достижении 10000 и более количества циклов приложения нагрузок происходит снижение структурной прочности дорожных одежд лесовозных дорог. Данный показатель степени воздействия на дорожное покрытие эквивалентен эксплуатации лесовозной дороги в течение 15 лет при интенсивности движения лесовозных автомобилей не более 168 авт./сутки.

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ ЩЕБЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ ИЗ НЕКОНДИЦИОННЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

4.1 Совершенствование технологии строительства щебеночных покрытий при строительстве лесовозных дорог

Современные технологии строительства покрытий дорожных одежд переходного и низших типов основаны на создании плотных слоев из щебеночных или гравийных материалов за счет последовательного уплотнения материала.

В процессе уплотнения происходит обжатие зернистой среды, переупаковка отдельных частиц и уменьшении пористости. Форма частиц дискретного тела может быть различной, а пустоты межзерновые могут быть заполнены воздухом или водой. Уплотняющая нагрузка на дискретный материал должна быть выше напряжений между отдельными частицами и способна деформировать слой. Из-за отсутствия в них структурных связей, деформации материала слоя значительны, а энергозатраты на уплотнение высокие.

Помимо физико-механических свойств применяемых каменных материалов и их технологических особенностей не менее важным является служит уплотняющая способность дорожно-строительных машин.

Существующие технологии создания прочных дорожных покрытий и конструктивных слоев основаны на использовании различных типов уплотняющих дорожно-строительных машин. Наибольшее распространение при строительстве лесовозных дорог получили виброкатки, а их основным функционально-технологическим параметром следует считать их уплотняющую способность.

Под уплотняющей способностью виброкатка следует понимать толщину слоя материала, которую виброкаток, своим силовым воздействием, способен

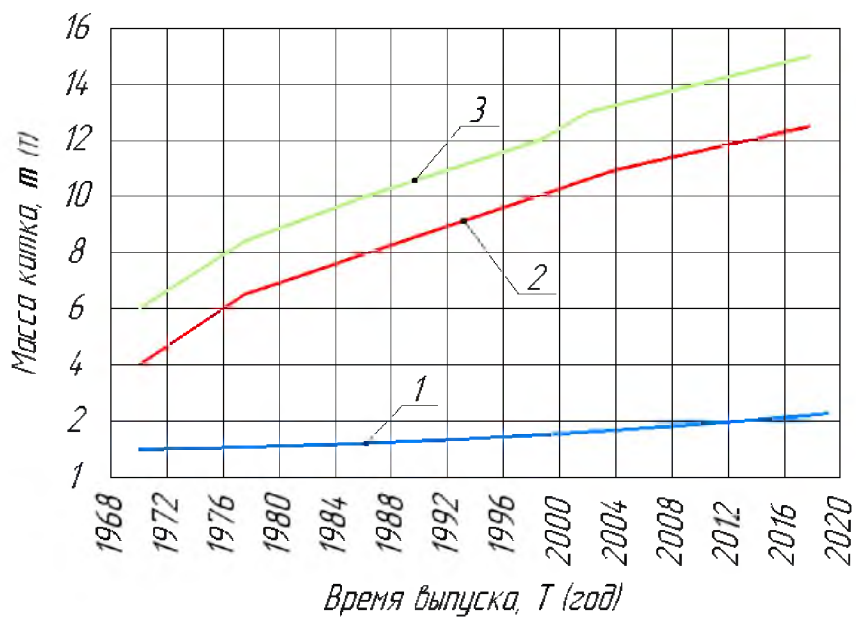
уплотнить до требуемых нормативных значений, при наименьшем количестве проходов и с оптимальной рабочей скоростью.

Обобщенные характеристики технических параметров катков вибрационных и комбинированных, используемых на территории Уральского округа показаны в таблице 4.1 и на рисунках 4.1-4.5.

Таблица 4.1 – Обобщенные технические параметры вибрационных и комбинированных катков применяемых для строительства лесовозных дорог на территории Уральского округа

Технические параметры катков					
Вибрационные катки			Комбинированные катки		
Масса катка, т	Мощность двигателя, кВт	Производительность, т/ч, (глубина активной зоны уплотнения h, см)	Масса катка, т	Мощность двигателя, кВт	Производительность, т/ч, (глубина активной зоны уплотнения h, см)
от 2,9 ... 3,5	29 ... 33	24 (4 см)	от 2,8 ... 3,0	22,5 ... 33,8	30 (9 см)
от 3,9 ... 4,2	34 ... 39	36 (9 см)	от 3,8 ... 4,0	34 ... 37	50 (9 см)
от 6,8 ... 7,2	58 ... 60	55 (9 см)	от 6,9 ... 7,2	44 ... 60	140 (12см)
от 7,8 ... 8,4	60 ... 72	150 (12см)	от 7,5 ... 7,9	56 ... 60	170 (12см)
от 8,8 ... 9,5	60 ... 82	180 (12 см)	от 8,8 ... 9,2	88 ... 98	210 (12 см)
от 9,9 ... 10,0	82 ... 98	220 (12 см)	от 9,7 ... 10,0	93 ... 110	230 (12 см)
от 10,5 ... 2,1	93 ... 108	240 (12см)	–	–	–

Анализ существующих типов вибрационных катков показал, что при равной массе катков, ширина валцов может быть различной. Следовательно, выбор катка только по его массе не всегда будет способствовать эффективному подбору типа катка.



1 – катки статического действия; 2 – катки вибрационного действия;
3 – катки комбинированные (по материалам В. С. Радовского)

Рисунок 4.1 – Изменения массы катков по годам выпуска

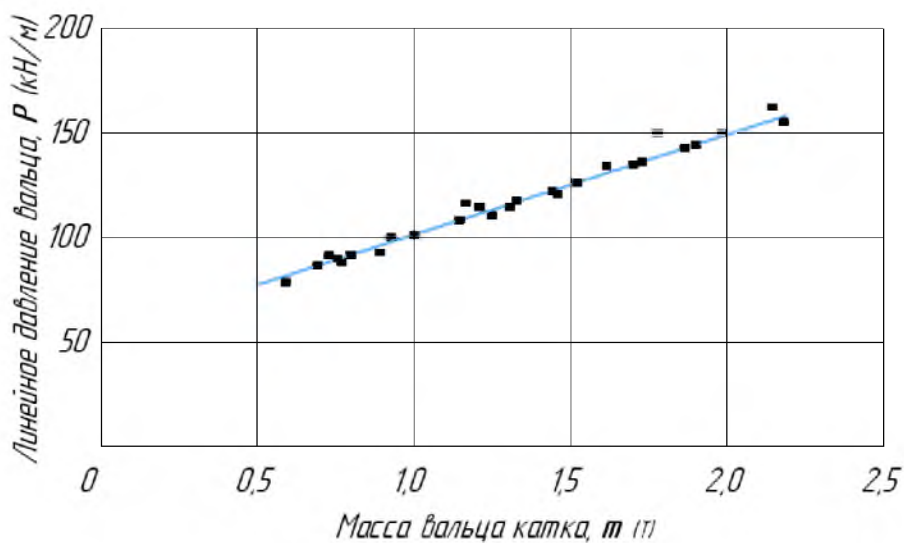


Рисунок 4.2 – Зависимости линейного давления вальца от массы вибромодуля (по материалам В. С. Радовского)

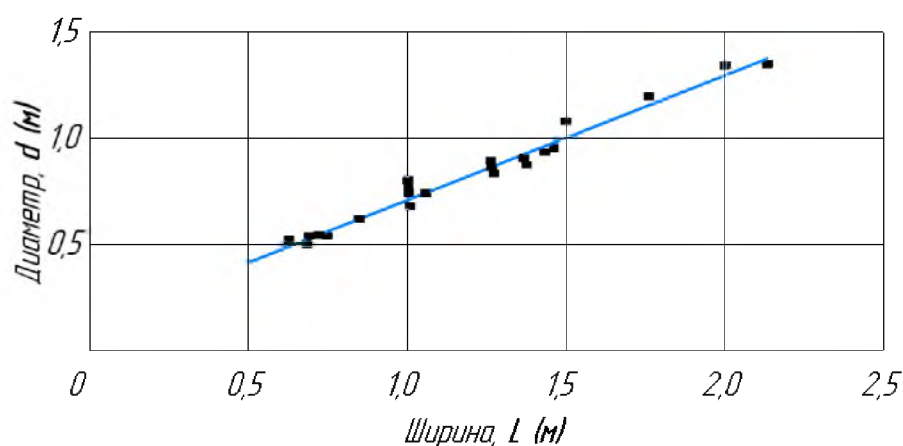


Рисунок 4.3 – Зависимости диаметра вальцов виброкатков от ширины вибромодулей (по материалам В. С. Радовского)

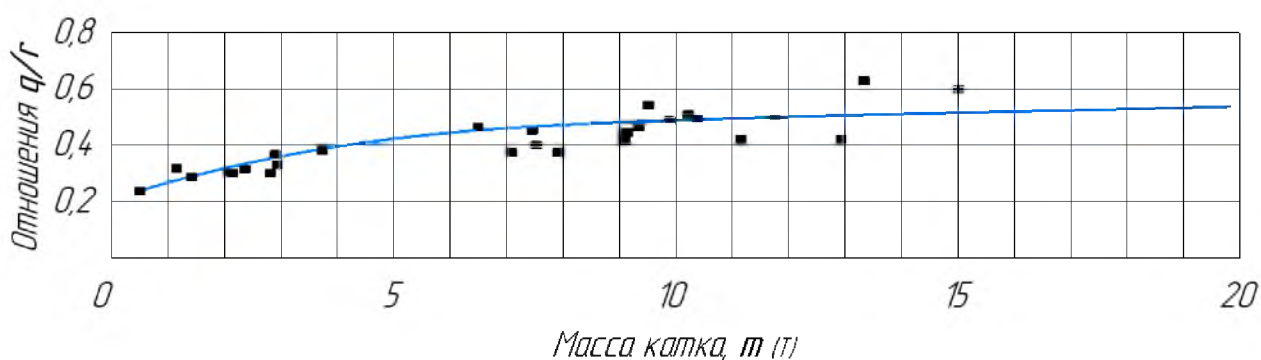
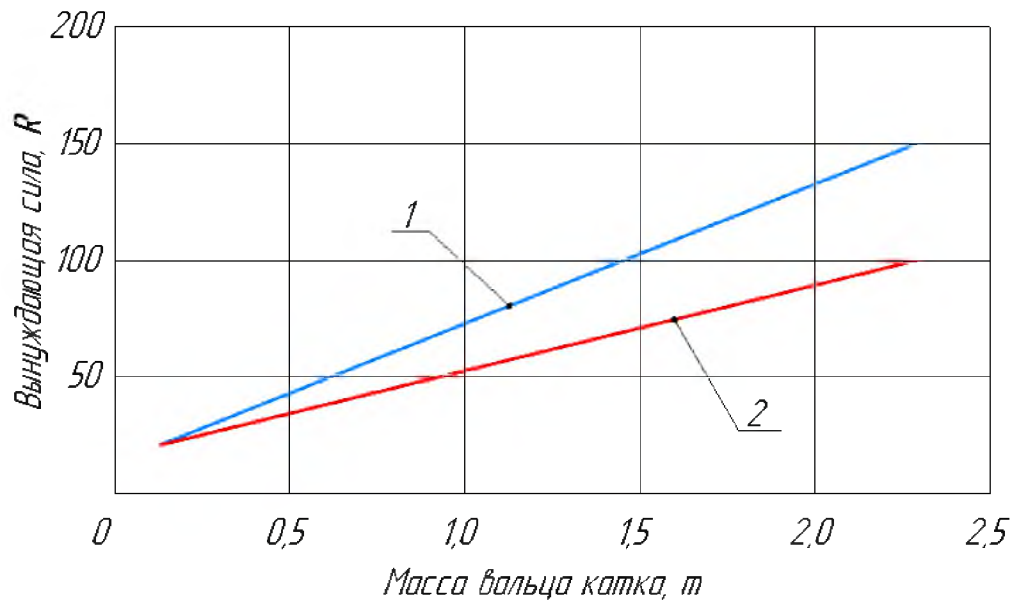


Рисунок 4.4 – Зависимости относительного уплотняющего воздействия от массы катков (по материалам В. С. Радовского)

Многочисленными исследованиями установлено, что уплотняющая способность вибрационного катка зависит от параметров вибромодуля.

В зависимости от свойств уплотняемого материала и режима работы виброкатка величина вынуждающей силы должна иметь различные значения. С целью повышения эффективности работы вибрационного катка, в случае увеличения его массы, увеличивают значение вынуждающей силы. В случае применения вибрации на всех вальцах катков тандемного типа, динамическая сила существенно зависит от общей массы катка (рисунок 4.5).



1 – ведомый валец; 2 – ведущий валец.

Рисунок 4.5 – Зависимость динамической силы от массы вальца для двухвальцовых катков (по материалам М. П. Костелькова)

Наблюдающаяся тенденция роста динамического усилия при увеличении массы виброкатка способствует интенсивному росту контактных напряжений, что приводит к чрезмерному измельчению материала и его разуплотнению. По этой причине с увеличением массы катка нужно уменьшать величину вынуждающей силы.

Рядом исследователей было установлено, что для эффективного уплотнения слоя материала необходимо выполнить следующие условие [53]:

$$\sigma \leq R_{сж} \quad (4.1)$$

где σ_0 – контактное давление под вальцом напряжение под вальцом катка, МПа;

$R_{сж}$ предел прочности материала на сжатие, МПа.

Известно, что наибольшее контактное давление под вальцом катка можно оценить по выражению [4.2]:

$$\sigma_0 = \frac{3}{2} p k \sqrt{\frac{E_0 \Delta_h}{h_0 \Delta_\varepsilon}}, \quad (4.2)$$

где E_0 – модуль деформации уплотняемого слоя, МПа;

Δ_h – элементарный слой уплотняемого материала, м;

Δ_h – слой материала до уплотнения, м;

Δ_ε – единичное значение модуля деформации в слое, МПа;

P_k – уплотняющая способность катка, МПа.

$$P_k = \sqrt[3]{\frac{P_0^2 \Delta_\varepsilon}{B^2 D \Delta_h}}, \quad (4.3)$$

где P_0 – уплотняющее усилие от катка, кН;

B – ширина вальца катка, м;

D – диаметр вальца катка, м.

В процессе работы вибрационным катком дорожным на уплотняемую поверхность действует обобщающая сила, состоящая из статической составляющей, от веса катка, и динамической составляющей, от вибровозбудителей:

$$P_0 = P_{ст} + P_{дин}, \quad (4.4)$$

где $P_{ст}$ – статическая нагрузка от веса катка, кН,

$P_{дин}$ – динамическая нагрузка от вибратора, кН.

На процесс уплотнения дорожного покрытия влияет как амплитуда силового воздействия, так и время приложения уплотняющей нагрузки в пятне контакта [118].

Как показано в работе [118] уплотняющее воздействие, с учетом пятна контакта и деформации уплотняемого материала, можно определить как

$$t_{возд} = (0,5 \dots 1,0) \cdot T, \quad (4.5)$$

где T – период колебания вибровозбудителей, с.

В процессе работы вибрационного катка время воздействия в пятне контакта на уплотняемый материал находится в зависимости:

$$t_{конт} = S_{кон} / v_{рх}, \quad (4.6)$$

где $t_{конт}$ – время воздействия вальца на материал, с;

$S_{кон}$ – длина пятна контакта вальца с материалом, м;

$v_{рх}$ – рабочая скорость виброкатка, м/с.

При уплотнении любых дорожно-строительных материалов необходимо учитывать размер пятна контакта вальца с уплотняемым материалом. Как показано в работе [87] величина контакта будет соизмерима с размерами наибольшего элемента материала.

В случае применения некондиционных каменных материалов при строительстве лесовозных дорог, наибольший размер может быть от 80 ... 40 мм. Исходя из этих соотношений примем величину пятна контакта вибровальца с покрытием в начале уплотнения равной 50 мм, а в конце уплотнения величину контакта равной 10 мм.

Учитывая, что время воздействия на материал равно времени контакта с вальцом, количество циклов нагружения в пятне контакта составит

$$NC = t_{\text{конт}} / T, \quad (4.7)$$

В этом случае интенсивность воздействия на уплотняемый слой материала от вальца составит:

$$I_e = NC \cdot P_0, \quad (4.8)$$

Количество циклов приложения нагрузки на первых проходах катка максимально и снижаются со значения 3,6 на первом до 1,0 на пятом проходе.

Мы можем наблюдать ситуацию, когда в процессе уплотнения величина контакта вальца с материалом уменьшается, при этом происходит увеличение контактного давления, а время воздействия на него уменьшается. На интенсивность воздействия так же оказывает влияние и скорость движения катка. Это обстоятельство учитывается в рекомендациях по уплотнению дорожных конструкций. Как показано в своде правил [113] последние проходы катков необходимо осуществлять на пониженных скоростях.

В таблице 4.2 приведены расчетные значения времени воздействия на щебеночный материал, толщиной 15 см, двухвальцового виброкатка массой 9,8 тонн.

Таблица 4.2 – Расчетные значения уплотняющей нагрузки на щебеночное покрытие, толщиной 15 см в зависимости от количества проходов виброкатка двухвального массой 9,8 тонн по одному следу

Параметры	Количество проходов виброкатка по слою толщиной 15 см											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Статическая линейная нагрузка на валец, кгс/см	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6
Ширина вальца, м	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07
Скорость уплотнения $v_{пл}$, км/ч	1,5	1,75	2	2,79	3,57	4,36	5,14	5,93	6,71	7,5	3,57	3,57
Пятно контакта $S_{пят}$, см	5,0	4,56	4,11	3,67	3,22	2,78	2,33	1,89	1,44	1,0	1,0	1,0
Количество циклов нагружения в пятне контакта, n_c	3,6	2,8	2,2	1,4	1,0	0,7	0,5	0,3	0,2	0,14	0,12	0,10
Время воздействия вальца на материал $t_{впл}$, с	0,120	0,094	0,074	0,047	0,032	0,023	0,016	0,011	0,008	0,005	0,005	0,005
Уплотняющая нагрузка P , Мпа	5,5	5,7	5,9	6,2	6,6	7,1	7,8	8,8	10,4	13,5	14,1	14,6
Вынуждающая сила $P_{вын}$, кН	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
Динамическое воздействие, кгс/см ²	20,00	21,95	24,32	27,27	31,03	36,00	42,86	52,94	69,23	78,5	80,2	81,1
Интенсивность воздействия I_v , кН	72,0	61,7	54,0	38,8	30,2	24,8	21,0	18,2	16,1	14,4	13,2	12,7
Уплотняющая способность катка, МПа	0,129	0,132	0,134	0,145	0,153	0,162	0,175	0,179	0,181	0,183	0,184	0,185
Количество циклов нагружения N_c	4	10	16	22	30	38	49	57	64	72	81	87
Индекс уплотняющей способности катка, J_c	18	6,17	3,37	1,76	1,01	0,65	0,43	0,32	0,25	0,2	0,16	0,15

Было выявлено, что степень воздействия на уплотняемый слой, с увеличением количества циклов приложения нагрузки уменьшается несмотря на то, что нормальное давление под вальцом увеличивается.

В таблице 4.3 показаны зависимости контактных усилий между частицами материала от зернового состава и от приложенной нагрузки для различных видов уплотняющих машин.

Таблица 4.3 – Контактные усилия между частицами щебеночного покрытия, в зависимости от его зернового состава и от приложенной нагрузки

Вид производства работ	Марка катка	Масса катка, т	Давление в пятне контакта, с учетом динамической нагрузки, МПа	Контактные усилия на материал, МПа			
				Размер частиц уплотняемого материала, мм			
				До 70	До 40	До 10	До 5
Начало уплотнения	Вomag, BW 154 AD-4	9,8	9,8	49,3	28,6	11,3	2,8
	Раскат Ду-99	10,5	9,9	55,2	31,0	13,8	3,4
	Вomag BW 213 DH-4	12,7	11,8	62,2	40,6	18,1	4,5
	Раскат ДУ-85	13,0	12,5	67,2	42,3	19,9	4,9
	Дупарас СА 3000	13,8	13,3	72,3	43,1	20,1	5,0
	Вomag BW 214 DH-4	14,3	14,4	81,3	45,7	20,3	5,1
	Раскат RV-15DT	15,0	15,9	83,7	47,3	21,7	5,3
Окончание уплотнения	Вomag, BW 154 AD-4	9,8	4,7	26,4	14,9	6,6	1,5
	Раскат Ду-99	10,5	4,9	30,1	17,0	7,5	1,9
	Вomag BW 213 DH-4	12,7	5,1	31,1	17,9	8,0	2,1
	Раскат ДУ-85	13,0	5,3	32,2	18,1	8,3	2,2
	Дупарас СА 3000	13,8	5,8	35,2	19,5	8,9	2,4
	Вomag BW 214 DH-4	14,3	6,3	37,2	20,9	9,3	2,6
	Раскат RV-15DT	15,0	6,8	38,4	21,9	10,1	2,9

На рисунке 4.6 показана зависимость относительной деформации от количества приложений нагрузок для низкопрочных известняковых щебней, полученных при опытно-экспериментальных исследованиях.

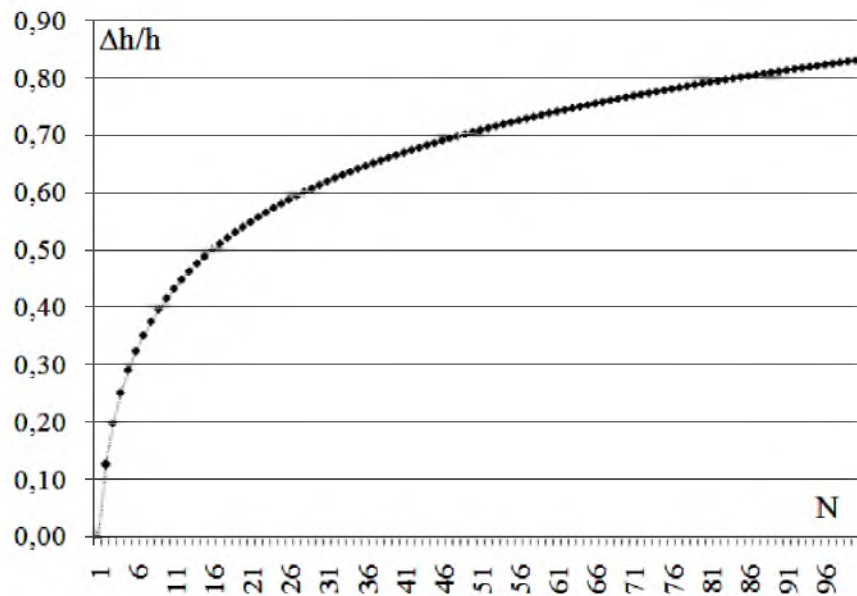
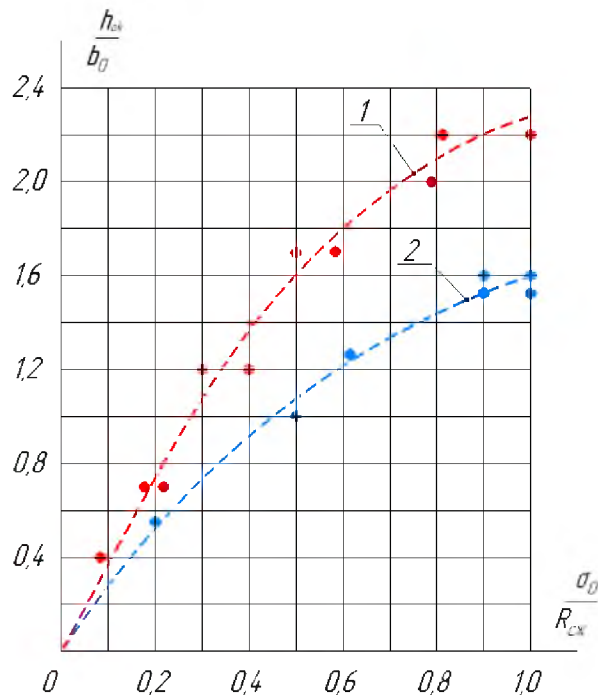


Рисунок 4.6 – Зависимость относительной деформации от количества приложений нагрузений для низкопрочного известнякового щебня фракции 10-20 (по материалам *Кручинина И. Н.*)

Введем понятие оптимального слоя уплотнения. На основе основных положений механики грунтов известно, что глубина воздействия на слой покрытия катками характеризуется глубиной активной зоны. В ее пределах происходит от 80 ... 90% всех невосстанавливающихся прогибов. Глубина активной зоны зависит от вида уплотняемого материала и геометрической формы деформаторов [32].

На основании обобщенных данных, полученных Н. Я. Хархута можно построить зависимости толщины активной зоны уплотнения от уровня контактных давлений на площадке нагружения. В относительных единицах эти зависимости представлены на рисунок 4.7.



1 – статическое воздействие;

2 – динамическое воздействие (по материалам *Н. Я. Хархута*)

Рисунок 4.7 – Зависимости глубины активной зоны уплотнения от контактных давлений:

Как видно, глубина активной зоны действия контактных давлений вальца напрямую зависит от силового воздействия катка, от вида и размера площади передачи давления.

При первых проходах катка по рыхлому слою покрытия его осадка является наибольшей, и следовательно, при неизменном диаметре вальца площадь передачи давления оказывается тоже наибольшей. В этом случае и глубина активной зоны тоже становится большой. По мере уплотнения слоя площадь передачи давления изменяется (длина контакта) и толщина оптимальной зоны уплотнения уменьшается. В этом случае есть вероятность, что при достаточно больших отсыпаемых слоях возникнет недоуплотнение нижней части дорожного покрытия.

В общем виде глубина активной зоны уплотнения определится как:

$$h_{акт} = \propto D_{кон} k_{увл} \left(1 - e^{-\beta \frac{\sigma_0}{R_{сж}}} \right), \quad (4.9)$$

где α – коэффициент длительности приложения нагрузок, для катков $\alpha = 1,7 \dots 1,9$;

$D_{кон}$ – наименьшее значение контакта вальца, м;

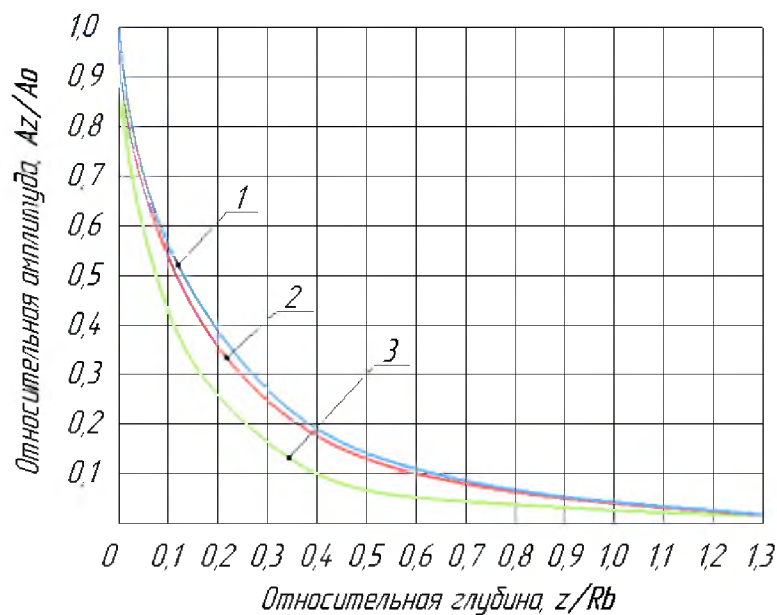
$k_{увл}$ – коэффициент увлажнения смеси;

β – коэффициент, зависящий от типа материала, для несвязного материала $\beta = 2,3$;

σ_0 – контактное давление под вальцом катка, МПа;

$R_{сжс}$ – предел прочности материала на сжатие, МПа.

На рисунок 4.8 представлено изменение затухания по глубине амплитуды колебаний у виброкатков в относительных единицах [50].



1 – 1,5 км/ч; 2 – 2,5 км/ч; 3 – 5 км/ч; $R_в$ – радиус вальца
(по материалам Костелькова В.Н.).

Рисунок 4.8 – Затухание по глубине амплитуды колебаний при различных скоростях виброкатка

Учитывая вышеперечисленные особенности применения дорожно-строительных машин уплотняющего действия, введем функционально-технологический параметр катка для выполнения уплотнения дискретных материалов.

Индекс уплотняющей способности катка, как параметр, характеризующий накопление деформации в слое при уплотнении его катком, можно определить как:

$$J_K = f(I_\sigma, NC, E_0, h_{\text{слоя}}), \quad (4.10)$$

где I_σ – интенсивность воздействия от катка на уплотняемый материала;

NC – количество циклов нагружения на покрытие от вальца;

E_0 – модуль деформации уплотняемого слоя, МПа;

$h_{\text{слоя}}$ – толщина уплотняемого слоя, м;

Этот параметр характеризует уплотняющие возможности катка на заданном виде материала и позволяет подбирать технологию уплотнения. Для нашего случая индекс уплотняющей способности катка J_k можно определить по выражению:

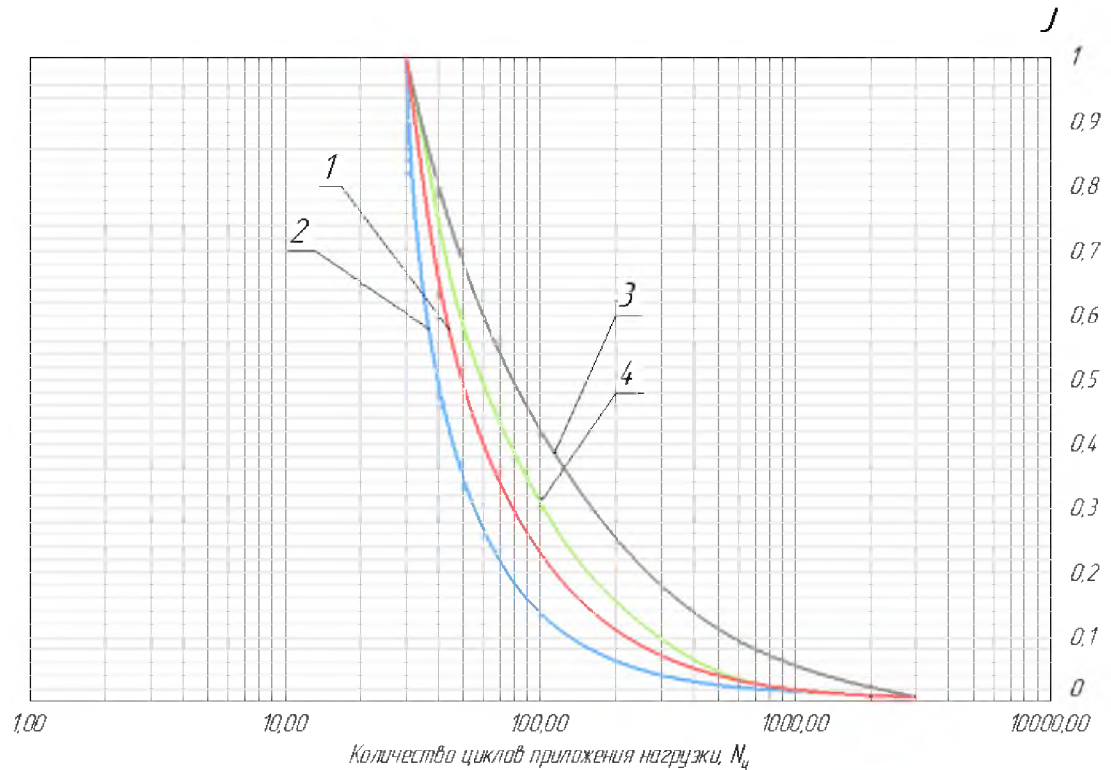
$$J_k = k_{\text{техн}} \frac{I_B}{NC}, \quad (4.11)$$

где $k_{\text{техн}}$ – коэффициент технологичности, учитывающий вид материала и толщину уплотняемого слоя, $k = 1,1 \dots 2,2$ (таблица 4.4)

Таблица 4.4 – Значения коэффициента технологичности, учитывающий вид материала и толщину уплотняемого слоя

Толщина уплотняемого слоя, см	Коэффициент технологичности дорожно-строительного материала, $k_{\text{техн}}$				
	ЩПСН некондиционная, ООО «Уральский щебень», Покров-Уральский	Смесь вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов Богословского рудоуправления	Волчанский балластный карьер	Щебень фракционированный, прочный	Щебень известняковый
8	1,6	1,7	1,5	1,8	2,2
10	1,6	1,7	1,5	1,7	2,1
12	1,5	1,6	1,4	1,6	1,8
15	1,4	1,5	1,3	1,5	1,6
20	1,4	1,4	1,3	1,3	1,4
25	1,3	1,4	1,3	1,2	1,3
30	1,3	1,4	1,3	1,1	1,2

На рисунке 4.9 показаны зависимости изменения индекса уплотняющей способности катка гладковальцового Bomag, BW 154 AD-4 с рабочей массой $Q = 9,8$ т и Дунарас СА 3000 с рабочей массой $Q = 13,8$ т при уплотнении слоя ЩПСН различной толщины.



1, 2 – Дунарас СА 3000, при $h = 15$ см, при $h = 25$ см;

3, 4 – Bomag BW 154, при $h = 12$ см; при $h = 25$ см;

Рисунок 4.9 – Индекс уплотняющей способности виброкатков

4.2 Разработка рекомендаций на выполнение работ по устройству щебеночных покрытий лесовозных дорог

Разработанные рекомендации распространяется на выполнение работ, направленных на строительство щебеночных и грунтогравийных покрытий дорожных одежд лесовозных дорог постоянного действия III_{ЛВ}, IV_{ЛВ} и I_{ЛХ}, II_{ЛХ} категорий из местных некондиционных каменных дорожно-строительных материалов и отходов горно-обогатительных, горно-перерабатывающих и горно-добывающих предприятий Свердловской области.

Под щебеночным покрытием лесовозных дорог понимается дорожная одежда переходного типа, состоящая из одного или нескольких слоев и обеспечивающая перераспределение и снижение напряжений на расположенные ниже дополнительные слои или грунт земляного полотна.

Под грунтогравийным покрытием лесовозных дорог понимается дорожная одежда низшего типа, расположенная непосредственно на земляном полотне.

Для устройства дорожных покрытий предусматривается использование местных строительных материалов Северных районов Свердловской области: щебеночно-песчаная смесь некондиционная (ЩПСН), ООО «Уральский щебень», п. Покров-Уральский; смесь вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов Богословского рудоуправления, месторождение Воронцовское; вскрышные породы Волчанского балластного карьера.

При проектировании, строительстве и реконструкции дорожных покрытий лесовозных дорог наряду с разработанными требованиями следует соблюдать основные положения, изложенные в СП 34.13330.2012, СП 78.13330.2012, СП 288.1325800.2016, СП 37.13330.2012 и СП 243.1326000.2015.

Требования к материалам.

Для устройства дорожных покрытий лесовозных дорог применяют местные некондиционные каменные дорожно-строительные материалы и отходы горно-обогатительных, горно-перерабатывающих и горнодобывающих предприятий. В случае несоответствия каменных материалов требованиям смеси готовятся на дробильно-сортировочных установках или путем смешения разных фракций.

Физико-механические свойства и зерновой состав смесей должен соответствовать требованиям, представленным в Приложение Д (Технологический регламент на выполнение работ по устройству щебеночных покрытий лесовозных дорог из некондиционных щебеночных материалов в условиях Свердловской области и Северного Урала) таблицы 4.1. и 4.2.

Требования по форме зерен, по прочности, истираемости и морозостойкости к щебню входящему в состав щебеночно песчаных смесей не предъявляются.

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

Требования к уплотняющей технике.

Для оптимизации процесса строительства подбор уплотняющей техники производится исходя из определения рациональных параметров вибрационного катка на стадии уплотнения и его выбора из ряда машин, способных наиболее эффективно выполнить поставленную задачу. Для выявления технико-экономической целесообразности применения виброкатков нами был введен индекс уплотняющей способности катков J_k как функционально-технологический параметр.

Анализ технических характеристик уплотняющей техники, применяемой в дорожном строительстве на территории Уральского региона, позволил обобщить их основные параметры. Выборка по предприятиям АО «Трест Уралтрансспецстрой», АО «Свердловскавтодор», АО «Магистраль 2» и АО «ТД Урало-сибирская компания», АО «Жасмин», ООО «ГУДСР» приведены в таблице 4.5.

Также в таблице 4.5 приведены основные технико-экономические показатели виброкатков, применяемых на территории Уральского региона.

Основным параметром выбора типоразмера виброкатка является его производительность, однако она очень редко указывается в технических параметрах виброкатков, так как зависит от вида уплотняемых материалов и толщины уплотняемого слоя.

Таблица 4.5 – Основные технические характеристики вибрационных катков дорожных наиболее применяемых в Уральском регионе

Наименование характеристики	Диапазон выборки	Среднее значение параметра
Рабочий вес (эксплуатационная масса), кг	от 10500 до 16700	14500
Центробежная сила на вибровозбудителе (вынуждающая сила) P_n , кН	от 65 до 300	207
Статическая линейная нагрузка на валец $P_{ст}$, кгс/см	от 24 до 36	34,6
Рабочая скорость V , км/ч	от 2,8 до 14	1,5; 7,5
Амплитуда колебаний вибратора, мм	от 0,3 до 2,0	1,61
Частота колебаний вибратора ν , Гц	от 24 до 36	30
Длина пятна контакта l , см	от 1,0 до 5,0	3,0
Ширина вальца b , м	от 1,7 до 2,37	2,07
Диаметр вальца D , м	От 0,9 до 1,2	1,0
Уплотняющая способность катка, МПа	от 0,129 до 0,202	0,176
Интенсивность воздействия катка I_B , кН	От 12,2 до 85,5	48,8

Данные таблицы и графиков показывают, что с увеличением массы катка приблизительно одинаково увеличивается и его производительность. Увеличивается и толщина уплотняемого слоя. Однако при этом возрастает мощность двигателя виброкатка, а соответственно и стоимость укатки материала.

Использование функционально-технологического параметра при производстве работ позволяет подобрать нужный типоразмер катка для уплотнения покрытия лесной дорги.

В таблице 4.5 приведены функционально-технологические параметры катков по их индексу уплотняющей способности. Исследования показали, что уплотнение конструктивного слоя дорожной одежды может быть завершено при достижении уплотняющего воздействия от катка $J_k = 0,38$ и менее.

4.3 Технология устройства дорожных одежд лесовозных дорог из щебеночных материалов

Технологический процесс устройства слоев дорожной одежды из щебеночных материалов включает:

– вывозку материала на подготовленное в соответствии с требованиями СП 78.133330. 2012 земляное полотно или на нижележащий 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 нижележащему слою;

– увлажнение материала до оптимальной влажности;

– разравнивание материала, профилирование и придание поперечного профиля покрытию дорожной одежды;

– уплотнение щебеночного слоя дорожной одежды виброкатками;

– контроль степени измельчения каменных материалов в дорожном покрытии;

– уход за покрытием дорожной одежды.

Последовательность выполнения работ приведена на рисунке 4.10.

Пример технологической последовательности устройства покрытия из некондиционных щебеночно-песчаных смесей приведен в Приложение Д (Технологический регламент на выполнение работ по устройству щебеночных покрытий лесовозных дорог из некондиционных щебеночных материалов в условиях Свердловской области и Северного Урала).



Рисунок 4.10 – Последовательность работ при строительстве лесовозных дорог

Щебеночные некондиционные 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:

$$V = L \cdot B \cdot h \cdot k_{\text{зан}}, \quad (4.12)$$

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 ЩПСН принимают равным 1,25-1,35 и уточняют по результатам пробной укатки.

При распределении щебеночных материалов следует учитывать запас на усадку при уплотнении:

– для некондиционных песчано-гравийных смесей фракций 0 ... 70 мм марки по прочности 400 и более от 30 ... 50%;

– для гравийно-грунтовых покрытий и шлака от 35 ... 60%.

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:

$$П = \frac{QK_3K_u 60}{q\left(\frac{QK_3 60}{qbv} + \frac{2l60}{v_{\text{тр.ср.}}} + t_{\text{н}} + t_{\text{п.з.}}\right)}, \quad (4.13)$$

где Q – вместимость цистерны для воды, л;

q – плотность или удельный расход воды при увлажнении, л/м²;

$b_{\text{м}}$ – ширина обрабатываемой полосы при увлажнении, м;

$v_{\text{м}}$ – скорость машины во время поливки, м/ч;

$v_{\text{тр.ср.}}$ – средняя скорость машины при движении к местам наполнения цистерны и работы, м/ч;

l – расстояние до места наполнения цистерны от места работы, км;

$t_{\text{н}}$ – время наполнения цистерны, мин;

$t_{\text{п.з.}}$ – подготовительно-заключительные работы;

K_3 – коэффициент наполнения цистерны, $K_3=0,9 \dots 0,95$;

$K_{и}$ – коэффициент использования рабочего времени, $K_{и}=0,85$.

Отклонение влажности от оптимальной допускается не более 1% в меньшую сторону и 2 % в большую.

Планировку материала следует производить с помощью автогрейдера непосредственного после распределения и увлажнения материала, а затем немедленно следует приступать к уплотнению. Производительность автогрейдера на планировочных работах определяется расчетом по выражению

$$\Pi = \frac{3600 K_B L (B \sin \phi - a_n)}{\left(\frac{L}{V_{p.x.}} + t_n\right) m}, \quad (4.14)$$

где Π – эксплуатационная производительность, $m^2/ч$;

L – длина планируемого участка (захватки), м;

B – ширина отвала, м;

ϕ – угол захвата, град;

$a_{п}$ – ширина полосы перекрытия, $a_{п} = 0,15 \dots 0,20$ м;

$v_{рх}$ – рабочая скорость перемещения машины, м/с;

$t_{п}$ – продолжительность разворота, $t_{п} = 10 \dots 20$ с;

m – число проходов по одному месту, $m = 1 \dots 2$.

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 ($m^2/ч$),

$$\Pi_3 = \frac{1000(B_B - a_B)v_k k_B}{z}, \quad (4.15)$$

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;

κ_B – коэффициент использования машины во времени, $\kappa_B = 0,8-0,9$;

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 %о 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 (рисунок 10).

Щебеночный слой фракции 0 ... 70 мм следует уплотнять за несколько этапов:

Первый этап уплотнения.

Производится прикатка или предварительное уплотнение. Происходит обжимка зернистого материала и выравнивание поверхности слоя виброкатком. Вибромодуль не включается. Основная задача на этом этапе состоит в

некотором начальном подравнивании еще рыхлого после укладки и планировки слоя щебеночного материала и предварительном его обжатием. 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.

Второй этап уплотнения и измельчения.

По мере сближения крупных щебенки между собой и формирования каркасной структуры, за счет включения максимального режима вибрации катка 2 ... 4 проходов по одному следу на скорости 3,0 ... 3,5 км/час) происходит дробление и переупаковка щебенки материала.

Прикатывание производится до устойчивого положения отдельных щебенки 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 покрытия лесной дороги.

Третий этап уплотнения.

Окончательное доуплотнение и формирование прочного дорожного покрытия за счет силового сближения зерен материала и создания контактов между щебенками. Заполнение мелкозернового межзернового пространства.

Виброкаток совершает от 2 ... 4 проходов по одному следу на скорости от 2,5 до 3,0 км/час. Каждый новый проход виброкатка катка должен перекрывать предыдущую полосу на 30 ... 40 см. Уплотнение производится от краев к середине основания. Общее количество приложения циклов нагружения на материал должно составлять не менее 50...70.

Наименьший индекс уплотняющей способности катка (степень воздействия катка на слой определенной толщины и типа материала) $J_k = 0,38$ и не более.

Признаками окончания уплотнения служат:

– отсутствие подвижности зерен каменного 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 покрытия с появлением большого количества деформаций покрытия производится досыпка и укрепление верхнего слоя покрытия.

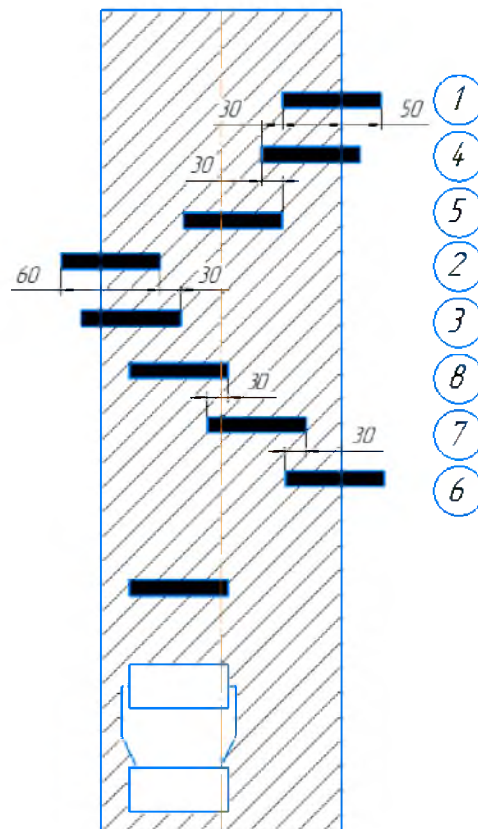


Рисунок 4.11 – Последовательность прохода катков по слою, уложенному на всю ширину покрытия из щебеночных материалов

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 помо-

щью автогрейдера производится исправление неровностей. При необходимости впадины на поверхности основания заполняют новой щебеночной смесью оптимальной влажности и уплотняют виброкатками.

Однако при проведении строительных 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 примесей существенно меняет не только структурные связи, но и технологии строительства.

Особенности устройства щебеночных покрытий при отрицательных температурах:

1. Устройство щебеночных покрытий при отрицательных температурах следует производить по земляному полотну или нижележащему слою, полностью законченному и принятому;

2. К щебеночным покрытиям, построенным при отрицательных температурах, следует предъявлять те же требования, что и к слоям, уложенным при положительных температурах;

3. Работы по устройству щебеночных покрытий 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 ЩПСН при отрицательных температурах следует производить согласно таблице 4.7. Растворы солей следует готовить в отдельных емкостях. Плотность водного раствора хлористого кальция должна быть не более $1,29 \text{ г/см}^3$ (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 4.7 – 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 щебенистый 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 дорожного покрытия, устроенного в зимнее время, следует производить после просыхания земляного полотна.

Контроль качества:

1. Входной контроль качества поступающих каменных материалов должна проводить лаборатория организации осуществляющей строительство дорожной одежды.

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

Приемочный контроль качества слоя основания осуществляет мастер (прораб) при участии представителя Заказчика.

2. Каменные 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** (Приложение Д, таблицы 4.1).

Результаты входного контроля качества поступающих материалов следует фиксировать в журналах испытаний (рекомендуемая форма представлена в (Приложение Д, таблица 4.2).

3. При операционном контроле следует контролировать качество распределения материала, влажность слоя, зерновой состав, качество уплотнения.

4. 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 ... 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.

5. Контроль за увлажнением следует осуществлять после каждого полива визуально. Все щебенки по толщине слоя должны быть влажными. В процессе уплотнения материал должен быть влажным.

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

7. В процессе уплотнения смеси качество уплотнения следует контролировать визуально по отсутствию волны перед катком или следа от катка.

Качество уплотнения оценивается зерновым составом или измерением динамического модуля упругости. Измерение динамического модуля упругости производится на расстоянии 1 м от кромки слоя.

Динамический модуль упругости покрытия на поверхности слоя, должны быть не ниже расчетных значений, принятых при проектировании. Меньшие величины модуля упругости могут быть получены при неудовлетворительном качестве ведении работ.

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.

6.7. 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.

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 ЩПСН) 1 экскаватор-8,1 ч, 13 автомобилей самосвалов в течение 8,2 часа вывозят ЩПСН 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 ЩПСН 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 слоя и измельчение материала.

Один автогрейдер в течение 3,6 часа разравнивает оставшуюся ЩПСН и затем производит окончательную планировку основания; два катка в течение 6,9 часа производят укатку покрытия.

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.

4.4 Оценка эффективности строительства лесовозных дорог

В основе экономического обоснования проектных решений по строительству покрытий лесовозных дорог показаны расчеты по предлагаемым к внедрению вариантам. Сравнимые варианты сопоставляются прежде всего по уровню эксплуатационных затрат (себестоимости производства продукции) и капитальных вложений.

Для сравнения вариантов необходимо обеспечить их сопоставимость: расчет ведется на один и тот же объем производства; при его различных величинах сравнение выполняется на единицу производимой продукции; используются различные каменные материалы. Данные по оценке сопоставимости вариантов показаны в таблице 4.8:

- базовый вариант – щебеночное дорожное покрытие из смеси щебеночно-песчаной некондиционной ООО «Уральский щебень», карьер Покров-Уральский;

- грунтогравийное дорожное покрытие из смеси вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов Богословского рудоуправления;

- щебеночное дорожное покрытие из щебня фракции 40 ... 70 из изверженных пород (диориты), устраиваемое по способу заклинки;

- щебеночное дорожное покрытие из щебня фракции 40 ... 80 из изверженной породы Уральского горно-обогатительного комбината (гран-диориты), устраиваемое по способу заклинки.

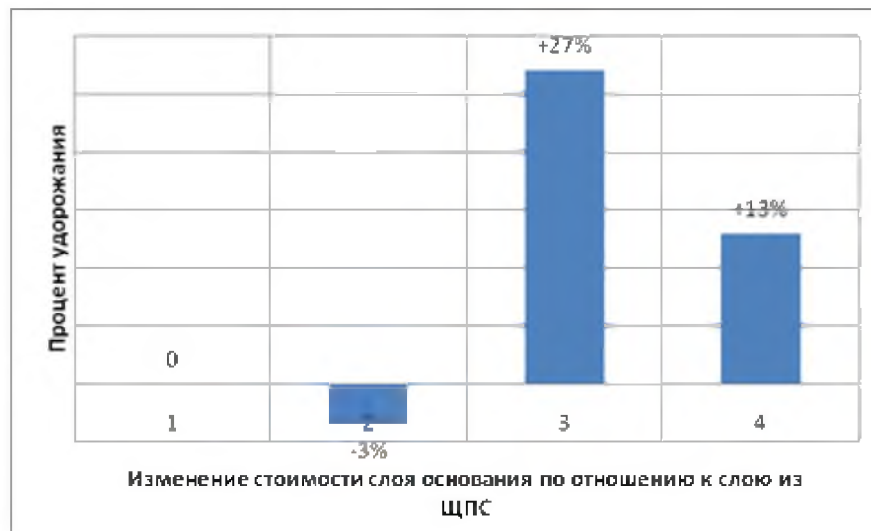
Оценка экономической эффективности устройства щебеночных покрытий лесовозных дорог с использованием различных материалов по уровню эксплуатационных затрат приведена в Таблице 4.8.

На рисунке 4.12 показана графическая зависимость удорожания строительства щебеночного покрытия лесовозных дорог по сравнению с ЩПСН принятым за базовый.

Таблица 4.8 – Оценка экономической эффективности устройства щебеночных покрытий лесовозных дорог с использованием различных материалов по уровню эксплуатационных затрат

№ захватки	Наименование технологической операции	Наименование техники	Потребность в технике на 400 метров захватки								стоимость 1 машиночаса, руб.	Стоимость устройства основания из ЩПСН	Удорожание стоимости устройства слоя покрытия в сравнении с ЩПСН, руб.		
			ЩПСН		Смесь вскрышных и вмещающих пород		фр. 5-20, 40-70 гранит		фр. 5-20, 40-80 диорит				Смесь вскрышных и вмещающих	фр. 5-20, 40-70 гранит	фр. 5-20, 40-80 диорит
			кол-во техники	Маш. часы	кол-во техники	Маш. часы	кол-во техники	Маш. часы	кол-во техники	Маш. часы					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Погрузка и транспортировка материала	экскаватор	1	8,1	1	8,1	1	8,1	1	8,1	1 184	9 592	+0	+0	+0
		КАМАЗы	13	106,6	14	114,8	14	114,8	14	114,8	638	68 030	+5 233	+5 233	+5 233
2	Разравнивание материала по грунтовой поверхности, увлажнение слоя	автогрейдер	1	7,2	1	7,2	1	7,2	1	7,2	795	5 721	+0	+0	+0
		поливомоечн. машины	2	10,48	2	10,48	2	10,48	2	10,48	679	7 115	+0	+0	+0
3	Разравнивание и планировка материала по грунтовой поверхности, уплотнение слоя	автогрейдер	1	3,6	1	3,6	1	3,6	1	3,6	795	2 862	+0	+0	+0
		щебне-распределитель	0	0	1	3,7	1	3,7	1	3,7	1 180	0	+4 368	+4 368	+4 368
		каток	2	13,8	2	13,8	2	14,4	2	14,4	994	13 718	+0	+0 596	+0 596

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Итого стоимость устройства слоя покрытия										107 040	+9 601	+10 197	+10 197
	Итого стоимость материалов										525 600	-31 500	+161 004	+72 037
	Себестоимость										632 640	-21 899	+171 201	+82 234
	Процент удорожания										0	-3%	+27%	+13%



- 1 – дорожное покрытие из смеси щебеночно-песчаной некондиционной;
- 2 – грунтогравийное дорожное покрытие из вскрышных и вмещающих пород;
- 3 – дорожное покрытие из щебня фракции 40-70 из изверженной породы;
- 4 – дорожное покрытие из щебня фракции 40-80 (ультраосновные породы серпентинита) устраиваемая по способу заклинки.

Рисунок 4.12 – Сравнительные эксплуатационные затраты на строительство щебеночных покрытий лесовозных дорог

В результате технико-экономического анализа установлено, что наименьшей стоимостью строительства дорожных покрытий лесовозных дорог обладает грунтогравийное покрытие из вскрышных и вмещающих пород, однако его прочностные параметры существенно уступают базовому варианту из ЩПСН (динамический модуль упругости 42,2 и 49,7 МПа соответственно). Наиболее затратным вариантом оказалась конструкция дорожного покрытия из щебня фракции 40 ... 70 из изверженной породы, устраиваемая по способу заклинки (удорожание на 27%). При этом полученный модуль упругости покрытия оказался ниже нормативного, что характерно для трудноуплотняемого, высокопрочного щебня. Для достижения нормативных значений производитель работ вынужден применять более мощные уплотняющие средства.

Дорожное покрытие из щебня фракции 40-80 из изверженной породы Уральского горно-обогатительного комбината, устраиваемое по способу заклинки тоже показал увеличение эксплуатационных затрат в сравнении с базовым вариантом.

Выводы по главе

1. Проведенный комплекс экспериментальных исследований показал, что некондиционные каменные материалы могут быть использованы для строительства щебеночных покрытий лесовозных дорог. Их преимущества: технологичность местного каменного материала; устойчивость к эксплуатационным нагрузкам лесовозных дорог при низкой интенсивности движения; невысокая стоимость.

2. Расчетами установлено, что при строительстве покрытий лесовозных дорог из некондиционных щебеночных материалов, для повышения технологической эффективности строительства необходимо реализовать от 40 до 70 циклов приложения нагрузки на слой покрытия, что соответствует технологическим значениям от 8 до 10 проходов вибрационного катка по одному следу.

3. За основной критерий, при выборе уплотняющей техники и технологических операций, принят функционально-технологический показатель индекса уплотняющей способности виброкатка.

4. Установлено, что совмещение двух технологических операций уплотнения и измельчения, при строительстве щебеночных покрытий лесовозных дорог, возможно реализовать при индексе уплотняющей способности вибрационных катков в диапазоне от 0,38 МПа и ниже. В случае несоответствия функционально-технологических параметров вибрационного катка толщина уплотняемого слоя изменяется.

5. В процессе строительства необходимо контролировать степень измельчения и зернового состава щебеночных материалов. На сите 5 мм частные

остатки должны соответствовать диапазону от 24 до 35%, на сите 10 мм диапазону от 12 до 18 %.

6. В процессе строительства и дальнейшей эксплуатации щебеночных покрытий лесовозных дорог из некондиционных материалов, под действием внешних нагрузок происходит их доуплотнение и измельчение каменного материала. Установлено, что при достижении 10000 и более количества циклов приложения нагружений происходит снижение структурной прочности дорожных одежд лесовозных дорог. Данный показатель степени воздействия на дорожное покрытие эквивалентно эксплуатации лесовозной дороги в течение 15 лет при интенсивности не более 168 авт./сутки.

7. При строительстве лесовозных дорог из некондиционных материалов динамический модуль упругости щебеночного покрытия следует принимать равным 35 МПа и выше, при величине остаточной пустотности не более 18 %

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Установлено, что существующие технологии строительства лесовозных дорог с покрытиями из щебеночных материалов применяются только с использованием качественных кондиционных каменных материалов, а изменения их физико-механических свойств в процессе строительства не рассматривались.

2. Разработанные методики и математическая модель строительства лесовозных дорог с покрытиями из некондиционных щебеночных материалов, построенная на основе теории нечетких множеств и нечетких нейронных сетей, отличающиеся учетом неопределенности физико-механических характеристик некондиционных щебеночных материалов.

3. Расчеты показали, что наибольшие удерживающие усилия в щебеночных покрытиях лесовозных дорог достигаются при усредненном размере частиц 8,22 мм, а наименьшие, при преобладании частиц с усредненным размером частиц менее 2,23 мм.

4. Частотный анализ зерновых составов покрытий лесовозных дорог из некондиционных щебеночных материалов, показал, что при достижении среднего номинального максимального размера в диапазоне от 5 до 10 мм прочность слоя достигает наибольших значений.

5. На основе теоретических и экспериментальных исследований определены диапазоны рациональных зерновых составов покрытий лесовозных дорог из некондиционных щебеночных материалов. Установлено, что на сите 5 мм частные остатки должны соответствовать диапазону от 24 до 35%, на сите 10 мм диапазону от 12 до 18 %.

6. Установлено, что совмещение двух технологических операций уплотнения и измельчения, при строительстве щебеночных покрытий лесовозных дорог, возможно реализовать при индексе уплотняющей способности вибрационных катков в диапазоне от 0,38 МПа и ниже. В случае

несоответствия функционально-технологических параметров вибрационного катка толщина уплотняемого слоя изменяется.

7. Расчетами установлено, что при строительстве покрытий лесовозных дорог из некондиционных щебеночных материалов, для повышения технологической эффективности строительства необходимо реализовать от 40 до 70 циклов приложения нагрузки на слой покрытия, что соответствует технологическим значениям от 8 до 10 проходов вибрационного катка по одному следу.

8. При строительстве лесовозных дорог из некондиционных материалов динамический модуль упругости щебеночного покрытия следует принимать равным 35 МПа и выше, при величине остаточной пустотности не более 18 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. 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.
3. Алябьев, В. И. Сухопутный транспорт леса: учебник для вузов / В.И. Алябьев [и др.]. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 416 с.
4. Арефьев, С. А. Экспериментальная оценка зависимости качества дорожных одежд от уплотнения их карьерными автосамосвалами // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. 2015. №2 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnaya-otsenka-zavisimosti-kachestva-dorozhnyh-odezhd-ot-uplotneniya-ih-kariernymi-avtosamosvalami>
5. Архипова, Н. П. Общая характеристика природы Урала и Свердловской области. Природа Свердловской области / Н. П. Архипова. – Свердловск, 1958. – 59 с.
6. Афанасьев, И. А. Зимнее содержание лесовозных автомобильных дорог Уральского региона: научное издание / И. А. Афанасьев, И. Н. Кручинин. – Пермь: Изд-во Перм.гос.техн.ун-та, 2006. – 135 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. 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.
9. Белоусов, Б. В. Материалы для долговечных и экономичных оснований дорожных одежд. / Б. В. Белоусов: Монография, – Омск: Издательство СиБАДИ, 2000. – 126 с.
10. Вайнштейн, Е. В. Исследование изменения вертикальных перемещений от нагрузки лесовозных автопоездов в конструкции дорожной одежды и земляного полотна методом конечных элементов [Электронный ресурс] / Е. В. Вайнштейн, М. Г. Салихов, В. М. Вайнштейн, П. А. Нехорошков // Современные проблемы науки и образования: научный журнал. – 2012. – № 6. Режим доступа: URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=7646>
11. Васильев А. П. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). / М.: Информавтодор, 2005. – 236 с.
12. Васильев, Ю. М. Методические рекомендации по повышению качества дорожных оснований из щебня различных пород / СоюздорНИИ. – М.: Минтрансстрой, 1980. – 48 с.
13. ВСН 01-82 Инструкция по проектированию лесозаготовительных предприятий / Введ. 1982-11-21. – М.: ГП Информавтодор, 1983. – 184 с.
14. ВСН 24-88 Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог / Введ. – 1989.01.01 – М.: Транспорт, 1989. – 198 с.
15. Вырко, Н. П. Сухопутный транспорт леса: учебник для студентов вузов / Н. П. Вырко. – Минск: Высш. шк., 1987. – 437 с.
16. Глушко, И. М. Дорожно-строительные материалы: учебник для студентов вузов / И. М. Глушко, И. В. Королев [и др.] – М.: Транспорт, 1991. – 178 с.
17. Горелышев, Н. В. Асфальтобетон и другие битумноминеральные материалы: Учебное пособие. М.: Можайск – Терра, 1995, 176 с.

18. Городецкий, А. Е. Нечеткое математическое моделирование плохо формализуемых процессов и систем: монография / А. Е. Городецкий, И. Л. Тарасова. – Санкт-Петербург: Политехнический университет, 2010. – 334 с.

19. ГОСТ 25607.2009 Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Введ. 2011-01-01. – М.: Стандартиформ, 2010. – 124 с.

20. ГОСТ 33047-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение насыпной плотности и пустотности. Введ. 2016.04.01. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200015514>

21. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Введ. 2016-04-01. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200141112>

22. ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. Введён 1995-01-01. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000314>

23. ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. Введ. 1989-07-01. – М.: ГУП ЦПП, 1989. – 79 с.

24. ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний. Введ. 1989-07-01. – М.: ГУП ЦПП, 1989. – 79 с.

25. ГОСТ Р 52398-2005 Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования. Введ. 2006-01-01. – М.: Стандартиформ, 2006. – 12 с.

26. ГОСТ Р 57972-2017 «Объекты противопожарного обустройства лесов. Общие требования». [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200157751>

27. 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>
28. ГОСТ Р 58948-2020 Дороги автомобильные общего пользования. Дороги автомобильные зимние и ледовые переправы. Технические правила устройства и содержания. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174655>
29. 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)
30. Грушко, И. М. Дорожно-строительные материалы / И. М. Грушко, И. В. Королёв, И. М. Борщ, Г. М. Мищенко – М: Транспорт, 1991 – 357 с.
31. Дагаев Б. И. Основания дорожных одежд из малопрочных известняков / Б. И. Дагаев // – М.: Транспорт, 1988. – 89 с.
32. Джонс, М. Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М. Тим Джонс: пер. с англ. Осипов А. И. – М.: ДМК Пресс, 2018.-312 с. ISBN 978-5-97060-579-0.
33. Дороги и транспорт лесной промышленности: справ. пособие. / И. И. Леонович [и др.] – Минск: Высш. шк., 1979. – 416 с.
34. Духовный, И. З. Применение местных малопрочных каменных материалов в строительстве автомобильных дорог // Вопросы производства и применения местных каменных материалов из естественных горных пород и отходов промышленности при строительстве дорожных одежд: труды Союздорнии. М.: 1981. – С. 120-123.
35. Ельдештейн, Ю. М. Зависимость затрат на строительство лесовозный дорог от объемов вывозки / О. В. Болотов, Ю. М Ельдештейн, Р. А. Черных. – Вестник КрасГАУ, т 4, Красноярск, КрасГАУ, 2008. – С. 5-7.

36. Земельный кодекс РФ / текст с изм. и доп. на 10 мая 2011 г. М.: ЭКСМО, 2011. – 160 с.
37. 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.
38. Ильин, Б. А. Прочностные расчеты ездовых поверхностей первичных путей лесотранспорта / Б. А. Ильин // Лесосечные и лесоскладские работы и сухопутный транспорт леса: научные труды / ЛТА, 1976. – Вып. 5. – С. 61–63.
39. Исаев, В. С. Каменные материалы и слои дорожных одежд из них // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2006. – № 4. – С. 26–28.
40. Кандауров, И. И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве / И. И. Кандауров. – Л.: СИ, 1988. – 281 с.
41. Кейльман, В. А. Местные материалы и активаторы в дорожном строительстве юга РСФСР. Ростов-на-Дону: Ростов, инж.-строит. ин-т., 1962.-210 с.
42. Кейльман, В. А. Предложения по комплексному использованию местных известняков и отходов промышленности при устройстве дорожных одежд в IV климатической зоне. Ростов-на-Дону: Ростов, инж.-строит. ин-т., 1974.-150 с.
43. Кирьянов, Д. В. Mathcad 15 / Mathcad Prime 1.0 / Д. В. Кирьянов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.
44. Кирюхин, Г. Н. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона / Г. Н. Кирюхин, Е. А. Смирнов. М.: ООО «Издательство Элит». – 2009. – 176 с.
45. Кирюхин, Г. Н. Проектирование составов асфальтобетона: пособие для персонала лабораторий и технологов дорожной отрасли / Г. Н. Кирюхин, Е. А. Смирнов. М.: Порт приписки. – 2021. 212 с.
46. Клейн Г. К. Строительная механика сыпучих тел. – М.: Стройиздат, 1977. – 156 с.

47. Концепция стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года. Утверждена приказом Минпромторга России и Минсельхоза России от «30» октября 2008г. № 248/482. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/573658653>

48. Костельков, М. П. Методы и средства контроля качества уплотнения дорожного земляного полотна, щебеночного основания и асфальтобетонного покрытия / М. П. Костельков, Ю. Е. Никольский, Ю. Э. Райский // Дор. техника – 2003: кат.-справ.: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.library.stroit.ru/v-series/j-2/p-1.html>.

49. 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.

50. 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>

51. Кручинин И. Н., Дедюхин А. Ю., Дмитриев В. Н., Кошкаров Е. В. Дорожная одежда / Патент на полезную модель № 111543. – Зарегистрировано в Гос. реестре РФ 20.12.2011. Опубл. 20.12.2011. – Бюл. № 35.

52. Кручинин, И. Н. Техничко-экономическое обоснование применения малопрочных осадочных пород при строительстве автомобильных дорог / И. Н. Кручинин, В. А. Ращектаев, С. Г. Кривошеев // Сб. науч. тр. ОАО «ГИПРОДОРНИИ». – Екатеринбург, 2012. – Вып. 3 (62). – С.72–77.

53. Кручинин, И. Н. Исследование применения местных каменных материалов для создания щебеночных оснований автомобильных дорог / И. Н. Кручинин, А. Ю. Дедюхин // Транспорт Урала. – 2011. – № 1(28). – С. 39–41.

54. Кручинин, И. Н. Исследования применения местных каменных материалов для создания щебеночных оснований автомобильных дорог / И. Н. Кручинин, А. Ю. Дедюхин // Транспорт Урала. Научно-технический журнал. – Екатеринбург, 2011. – №1 (28). – С. 39–41.

55. Кручинин, И. Н. Обоснование применения каменных материалов при строительстве оснований и покрытий лесовозных автомобильных дорог / И. Н. Кручинин // Лесотехнический журнал. – 2016 – № 2 (22). – С. 84-90.

56. Кручинин, И. Н. Оценка устойчивости оснований низкокатегорийных лесовозных дорог в условиях Свердловской области / И. Н. Кручинин // Лесотехнические университеты в реализации концепции возрождения инженерного образования: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: матер. X Междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Урал, гос. лесотехн. ун-т, 2015. – С. 57–60.

57. 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.

58. Кручинин, И. Н. Повышение транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог при освоении лесосырьевых баз многолесных регионов [Текст]: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.21.01 / И. Н. Кручинин. – Воронеж, 2017. – 32 с.

59. Кручинин, И. Н. Повышения технологической эффективности строительства лесовозных автомобильных дорог из низкопрочных каменных материалов / И. Н. Кручинин, В. А. Ращектаев // Лесотехнический журнал. – 2018 – № 2 (30). – С. 168-176.

60. Кручинин, И. Н. Технико-экономическое обоснование применения малопрочных осадочных пород при строительстве автомобильных дорог / И. Н. Кручинин, А. Ю. Дедюхин, Н. А. Ушакова // Сб. науч. тр. ОАО «ГИПРОДОРНИИ». – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2010. Вып. 1.– С. 191–199.

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

62. Курьянов, В. К. Повышение эксплуатационно-экологического уровня лесовозного автомобильного транспорта: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. К. Курьянов. – М., 1993. – 39 с.

63. 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.

64. Лель, Ю. И., Арефьев, С. А., Глебов, А. В., Ильбульдин, Д. Х. Вопросы оценки качества карьерных автодорог. [Электронный ресурс] // <https://cyberleninka.ru>. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/kvoprosuotsenki-kachestva-kariernyh-avtodorog>.

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

66. 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/

67. 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

68. Малянова, Л. И. Изучение влияния модифицированной добавки на некоторые свойства асфальтобетона с отсевами дробления известняков для покрытий лесовозных дорог / Л. И. Малянова, М. Г. Салихов // «Вестник МарГТУ». Серия «Лес. Экология. Природопользование». – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2013. – №1. – С.64-70.

69. Мелеванский В. В. Дорожные основания и покрытия из малопрочных известняков. – М.: Транспорт, 1971. – 94 с.

70. Методические рекомендации по проектированию временных автомобильных дорог на строительных площадках. ЗАО «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ». – Утверждён Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – М. – 109 с.

71. Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. – М.: Наука, 1971. – 576 с.

72. 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.

73. 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. Неволлина, В. Н. Дмитриева; 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. – 291 с.

74. 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.

75. 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>

76. ОДН 218.1.052-02 Проектирование нежестких дорожных одежд / Союздорнии. – Введ. с 2002-01-01. – М.: Информавтодор. 2002.

77. ОДН 218.1.052-2002 Оценка прочности нежестких дорожных одежд. - Введ. 2002-11-19. - М.: ГП "Информавтодор", 2003- II, 27 с.

78. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Разработка стандарта организации на устройство щебеночных оснований автомобильных дорог с применением осадочных пород, добываемых (производимых) ООО

«Комбинат строительных материалов» /: 1456-НИОКР // ОАО «ГИПРОДОРНИИ». Уральский филиал «УралГИПРОДОРНИИ». Екатеринбург, 2011. – 158 с.

79. Охотин В. В. Лабораторные опыты по составлению дорожных грунтовых смесей по принципу наименьшей плотности. М.: Транспечать, НКПС, 1929, 32 с.].

80. Патент на изобретение 111543 РФ, МПК⁷ Е 01 С 7/00. Дорожная одежда / И. Н. Кручинин, А.Ю. Дедюхин, В. Н. Дмитриев, Е. В. Кошкаров; заявитель и патентообладатель Кручинин Игорь Николаевич, RU. – № 2011126381/03; заявл. 27.06.2011; опубл.20.12.2011, Бюл. № 35–1с.: ил.

81. Патент на изобретение 148339 РФ, МПК⁷ Е 01 С 7/00. Дорожная одежда / В.А. Ращектаев, И. Н. Кручинин, С.А. Чудинов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО УГЛТУ, RU. – № 2014108134/03; заявл. 03.03.2014; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 35 – 1с.: ил.

82. Пермяков, В. Б. Организация эффективной эксплуатации транспортно-технологических машин и методология формирования ресурсосберегающих комплектов машин в дорожном строительстве: учебно-методическое пособие / В. Б. Пермяков. – Омск: СибАДИ, 2019. – 159 с.

83. ПНСТ 265-2018 Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд. – Введ. 2018-05-15. – М.: Стандартинформ, 2018. – 73 с.

84. Побединский, В. В. Нейронечеткая сеть для оценки технологических решений устройства лесных дорог / В. В. Побединский, С. И. Булдаков, А. В. Берстнев, Е. С. Анастас // Лесотехнический журнал. 2020. №3 (39). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neyronechetkaya-set-dlya-otsenki-tehnologicheskikh-resheniy-ustroystva-lesnyh-dorog>

85. 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

86. 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>

87. 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.

88. Ращектаев, В. А. Исследование контактных усилий частиц каменных материалов при уплотнении оснований и покрытий лесовозных автомобильных дорог / В. А. Ращектаев, И. Н. Кручинин, С.А. Чудинов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 85.

89. Ращектаев, В. А. Исследование свойств щебеночно-песчаных смесей металлургических шлаков для устройства монолитных оснований дорожных одежд / В. А. Ращектаев, С. А. Чудинов // Современные проблемы науки и образования: научный журнал. – 2014. – № 4. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: www.science-education.ru/118-14056

90. Ращектаев, В. А. Моделирование процесса уплотнения оснований дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог из слабых материалов / В. А. Ращектаев, И. Н. Кручинин // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук: научный журнал. – Сыктывкар, 2014. – Вып. 2(18). – С. 80–82.

91. Ращектаев, В. А. Повышение качества оснований дорожных одежд из дискретных каменных материалов / Ращектаев В. А., Кручинин И. Н. // Достижения вузовской науки. 2013. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-kachestva-osnovaniy-dorozhnyh-odezhd-iz-diskretnyh-kamennyh-materialov>

92. Руденский, А. В. Дорожные асфальтобетонные покрытия / А. В. Руденский. – М.: Транспорт, 1992. – 213 с.

93. Руководство по строительству оснований и покрытий автомобильных дорог из щебеночных и гравийных материалов / М.: Союздорнии, 1999. – 89 с.

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

95. Савельев, В. В. Обоснование типа и конструкций одежд лесовозных автомобильных дорог: Дис... докт. техн. наук. / МарГТУ, науч. консультант Ю. А. Ширнин. – Йошкар-Ола, 2006. – 516 с.: ил.

96. Савельев, С. В. Инновационная уплотняющая техника и рекомендации по её использованию для ресурсосберегающих технологий дорожного строительства: монография / С. В. Савельев. – Омск: СибАДИ, 2019. – 193 с.

97. Салихов, М. Г. Обоснование применения в щебеночно-мастичных асфальтобетонах отсевов дробления малопрочных известняков / М. Г. Салихов, В. М. Вайнштейн, Е. В. Вайнштейн // Современные наукоемкие технологии: научный журнал. – 2008. – № 4. – С. 88–90.

98. Салль, А. О. Возможности и пути повышения качества щебеночных оснований [Электронный ресурс] А. О. Салль //Издательство «НОРМА». [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://library.stroit.ru/articles/sheben/>

99. Салминен, Э. О. Зависимость стоимости строительства дороги от лесорастительных условий / Э. О. Салминен [и др.]. // Лесосечные, лесоскладские работы и сухопутный транспорт леса: межвуз. сб. науч. трудов / Л.: ЛТА, 1993. – С. 92–97.

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

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

102. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2014615551. Российская Федерация. Программа для расчета изменения физико-механических характеристик легкоуплотняемых каменных материалов «Сmpaction of crushed rocks» / В. А. Ращектаев, И. Н. Кручинин; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО Уральский государственный лесотехнический университет. – №2014613274; заявл. 11.04.2014; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 28.05.2014.

103. Седов, Л. И. Механика сплошной среды / Л. И. Седов – М.: Наука, 1970. – 232 с.

104. Сильянов В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог / В. В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1984. – 287с.

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

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

107. Смирнов, А. В. Колебания и волны в дорожных конструкциях: научное издание / А. В. Смирнов. – Омск: СибАДИ, 2006. – 107 с.

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

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

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

111. 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>
112. СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги». Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* М.: ФАУ «ФЦС». – 2013. – 107 с..
113. СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85. * М.: ФАУ «ФЦС». – 2013. – 67 с.
114. Степанец, В. Г. Производственная база дорожного строительства: учебное пособие / В. Г. Степанец. – Омск: СибАДИ, 2014. – 200 с.
115. 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>
116. 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>
117. 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>
118. Сушков, С. И. Обоснование требований к гранулометрическому составу материала дренирующего слоя лесовозной дороги / С. И. Сушков, О. Н. Бурмистрова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции / гл. ред. В. М. Бугаков ; Фед. гос.

бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Воронеж. гос. лесотехн. акад.». – Воронеж, 2014. – № 3, ч. 2 (8- 2). – С. 222-225.

119. Сушков, С. И. Принципы решения задач управления в многоуровневых транспортно-производственных системах лесного комплекса / С. И. Сушков, О. Н. Бурмистрова, Ю. Н. Пильник // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11. – Ч. 2. – С. 317-321.

120. Тейлор, Дж. Введение в теорию ошибок / Дж. Тейлор. Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 272 с.

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

122. 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_rossijskoj_federacii_na_period_do_2030_goda_0.pdf

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

124. Указания по строительству, ремонту и содержанию гравийных покрытий. – М.: Транспорт, 1990. – 33 с.

125. Ульянов, В. И. Математическое обоснование получения упорядоченных структур на основе частиц сферической формы / В. И. Ульянов, А. М. Лавров, О. Н. Клочков, В. В. Чистяков // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. – Естественные науки. – 2007. № 2. – С. 78–92.

126. Хархута, Н. Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н. Я. Хархута, Ю. М. Васильев. М.: Транспорт. Москва. 1975. – 285 с.

127. Хохлов, А. И. Применение интеллектуальных систем в строительстве лесовозных дорог / А. И. Хохлов, Е. С. Анастас, С. И. Булдаков // Научное

творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов / Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет; [отв. за выпуск Л. В. Малутина]. – Екатеринбург, 2021. – С. 146–148.

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

129. Шаламанов, В. А. Предпосылки разработки методики проектирования зерновых составов щебеночно-песчаных смесей для устройства покрытий и оснований карьерных дорог / В. А. Шаламанов, О. П. Афиногенов, С. Н. Шабает // Вестник КузГТУ. – 2006. – №4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predposylki-razrabotki-metodiki-proektirovaniya-zernovyh-sostavov-schebenochno-peschanyh-smesey-dlya-ustroystva-pokrytiy-i-osnovaniy>

130. 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.

131. Cumberland, D. et al. A statistical model for the random packing of real powder particles / D. J. Cumberland, R.J. Crawford, D. Sprevak // European Polymer Journal. –1989. – Volume 25, Issue 11. – P. 1173–1182.

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

133. Hagerty, M. et al. Onedimensional high-pressure compression of granular media / M. M. Hagerty, D. R. Hite, C. R. Ullrich, & Hag // Journal of Geotechnical Engineering. – 1993. – V 1.- № 119. – P. 1–18.

134. 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.

135. Joao, S. et al. 2015 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. – Vol. 16. Issue 3. –P.268–286.

136. 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.

137. John Patrick De Bono 2013 Discrete element modelling of cemented sand and particle crushing at high pressures // PhD Thesis, The University of Nottingham, 2013. – 229 p.

138. Krupowicz, Wioleta & Sobolewska-Mikulska, Katarzyna & Burinskienė—, Marija. 2017 Modern Trends in Road Network Development in Rural Areas. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 12. 48-56. 10.3846/bjrbe. 2017.06.

139. 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.

140. Leinss, C. Untersuchungen zur Frage der nutzungstechnischen Folgen nach Faell-und Rueckeschaeden bei Fichte. *Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Wuerttemberg 7800 Freiburg im Bresgau / C. Leinss // Abteilung Arbeitswirtschaft und Forstbenutzung*, Mai. –1991. – Nr. 45. –170 p. (in German).

141. MATLAB® & Simulink® Release Notes for R2014a. - URL: <http://www.mathworks.com>.

142. Murphy, W. F. Effects of Microstructure and Pore Fluids on the Acoustic Properties of Granular Sedimentary Materials / Ph.D. dissertation, Stanford University. – 1982. – 255 p.

143. Nakata, Y. et.al. Microscopic particle crushing of sand subjected to high pressure one-dimensional compression / Y. Nakata, M. Hyodo // *Soils and Foundations*. –2001. –V. 1. – № 41. – P. 69–82.

144. 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>.

145. Piegat A. *Fuzzy Modeling and Control: with 96 tables/ Andrzej Piegat*. –Heidelberg; New York: Physic-Verl, 2001. – 760 c.

146. Pirnazarov, A. and Sellgren, U. Reduced testing and modelling of the bearing capacity of rooted soil for wheeled forestry machines / A.Pirnazarov, U. Sellgren // *Journal of Terramechanics*, August – 2015. – Volume 60. / Electronic recourse / – mode access: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2015.05.002>.

147. Pobedinsky V. V., Gazizov A. M., Sannikov S. P., Pobedinskiy A. A. Dielectric Permeability of Forestry Depending on Environmental Parameters in Radio Frequency Monitoring. [*Vestnik Mordovskogo universiteta = Mordovia University Bulletin*]. 2018; 28(2): 148–163. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201802.148-163>.

148. 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.

149. Sweere, G. T. H. *Unbound granular bases for roads / PhD Dissertation*, Delft University of Technology, the Netherlands. – 1990. – 127 p.

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

151. Thom, N. H. and Brown S.F. The effect of grading and density on the mechanical properties of a crushed dolomitic limestone / N. H. Thom, S.F. Brown // *Proceedings / 14th ARRB Conference*, 28 August – 2 September 1988 Canberra, Australian Capital Territory. – 1988. – P. 94–100.

152. 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.

153. Valsta, L. Sequester or Harvest – the Optimal Use of Managed Forests to Mitigate Climate Change / L. Valsta // REPORTS 46 University of Helsinki Department of Forest Economics / Electronic recourse / – Electronic data. – Helsinki, University of Helsinki. – 2007. – mode access: <http://www.mm.helsinki.fi/MMEKN/english/research/FECM/Report-46-Valsta.pdf>

154. Wasterlund, I. D. Damages on ground roots / I. Wasterlund // Swedish University of Agricultural Sciences, Garpenberg. – 1986. – Rep. –№ 52. – P. 56–63.

155. 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.

156. Wildland Fire and Fuels Research and Development Strategic Plan: Meeting the Needs of the Present, Anticipating the Needs of the Future / Electronic recourse / – Electronic data. – Washington, U. S. Department of Agriculture, Forest Service, 2006. – mode access: <http://www.fs.fed.us/research/pdf/2006-10-20-wildland-book.pdf>

157. 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 лесная инфраструктура Свердловской области

Таблица А.1 – Лесовозные автомобильные дороги Свердловской области

Лесное предприятие	Объем вывозки, тыс. м ³	Общая протяженность дорог, км		в том числе		
		Регионального значения	Федерального значения	Лесные		
АО «Лялялес»	220,9	км	571	106	105	360
		%	100,0	18,6	18,4	63,0
АО «Тугулымский ЛПХ»	53	км	372	132,0	57,0	183,0
		%	100,0	35,5	15,3	49,2
АО «Асбестовский ЛПХ»	17,6	км	109	32,0	37,0	40,0
		%	100,0	29,4	33,9	36,7
АО «Режевской ЛПХ»	26,8	км	238	83,0	26,0	129,0
		%	100,0	34,9	10,9	54,2
АО «Саргалес»	15,1	км	124	46,0	38,0	40,0
		%	100,0	37,1	30,6	32,3
АО «Ревдинский ЛПХ»	22,4	км	124	38,0	34,0	52,0
		%	100,0	30,6	27,4	41,9
АО «Талицкий ЛПК»	28,6	км	168	68,0	9,0	91,0
		%	100,0	40,5	5,4	54,2
АО «Леспромхоз «Афанасьевский»	20,1	км	161	24,0	48,0	89,0
		%	100,0	14,9	29,8	55,3
АО «Красноуфимский ЛПХ»	73,8	км	213	49,0	92,0	72,0
		%	100,0	23,0	43,2	33,8
АО ЛПО «Лобва»	173,3	км	281	35,0	169,0	77,0
		%	100,0	12,5	60,1	27,4
АО «Сотрино»	9,8	км	175	9,0	32,0	134,0
		%	100,0	5,1	18,3	76,6
АО «Шамаралес»	23,8	км	110	8,0	6,0	96,0
		%	100,0	7,3	5,5	87,3
АО «Лесное -1»	23,5	км	80	18,0	0,0	62,0
		%	100,0	22,5	0,0	77,5
АО «Оусский ЛПХ»	79,8	км	270	0,0	46,0	224,0
		%	100,0	0,0	17,0	83,0
АО «Леспромхоз Карабашский»	20,9	км	118	0,0	32,0	86,0
		%	100,0	0,0	27,1	72,9
Итого	809,4	км	3114	648,0	731,0	1735,0
		%	100,0	20,8	23,5	55,7

Таблица А.2 – Структура среднего расстояния транспортировки лесных грузов по сети лесовозных дорог Свердловской области

Лесное предприятие	Объем вывозки, тыс. м ³	Среднее расстояние вывозки древесины		в том числе		
				Регионального значения	Федерального значения	лесные
АО «Лялялес»	220,9	км	82,9	48,5	15,1	19,3
		%	100,0	58,5	18,2	23,3
АО «Тугулымский ЛПХ»	53	км	40,7	19,7	11,1	9,9
		%	100,0	48,4	27,3	24,3
АО «Асбестовский ЛПХ»	17,6	км	25,4	12,8	5,2	7,4
		%	100,0	50,4	20,5	29,1
АО «Режевской ЛПХ»	26,8	км	32,6	18,4	4,6	9,6
		%	100,0	56,4	14,1	29,4
АО «Саргалес»	15,1	км	40,6	20,9	7,1	12,6
		%	100,0	51,5	17,5	31,0
АО «Ревдинский ЛПХ»	22,4	км	30,8	19,9	0,7	10,2
		%	100,0	64,6	2,3	33,1
АО «Талыцкий ЛПК»	28,6	км	30,2	17,3	1,6	11,3
		%	100,0	57,3	5,3	37,4
АО «Леспромхоз Афанасьевский»	20,1	км	21,2	2,0	11,2	8,0
		%	100,0	9,4	52,8	37,7
АО «Красноуфимский ЛПХ»	73,8	км	68,1	21,3	21,3	25,5
		%	100,0	31,3	31,3	37,4
АО ЛПО «Лобва»	173,3	км	26,8	9,1	7,3	10,4
		%	100,0	34,0	27,2	38,8
АО «Сотрино»	9,8	км	32,7	2,8	13,2	16,7
		%	100,0	8,6	40,4	51,1
АО «Шамаралес»	23,8	км	15,1	1,2	0,6	13,3
		%	100,0	7,9	4,0	88,1
АО «Лесное -1»	23,5	км	19,7	7,2	0,0	12,5
		%	100,0	36,5	0,0	63,5
АО «Оусский ЛПХ»	79,8	км	22	0,0	2,9	19,1
		%	100,0	0,0	13,2	86,8
АО «Леспромхоз Карабашский»	20,9	км	19,3	0,0	2,5	16,8
		%	100,0	0,0	13,0	87,0
В целом	809,4	км	46,2	21,2	9,6	15,3
		%	100,0	45,9	20,9	33,2

Таблица А.3 – Транспортная инфраструктура региональной сети автомобильных дорог Свердловской области (по данным ГКУ СО «УАД», по данным 2019 г.)

Покрытие	Единицы измерения	Всего	в том числе		
			Федеральные	Территориальные	Ведомственные
Всего автомобильных дорог	км	21662,2	680,2	10465,1	10516,9
	%	100	3,1	48,3	48,6
Твердое покрытие	км	13017,8	680,2	9833,5	2504,1
	%	100	5,3	75,5	19,2
из них: облегченного типа	км	9189,9	679,7	7557,2	953
	%	100	7,4	82,2	10,4
Переходного типа	км	3828,4	0,5	2276,2	1551,7
	%	100	0,01	59,49	40,5
Низшие (грунтовые улучшенные)	км	8643,8	-	631,6	8012,2
	%	100	-	7,3	92,7

Таблица А.3 – Лесные автомобильные дороги лесопромышленных предприятий Свердловской области, не включенные в сеть дорог общего пользования

Название предприятий	Наименование автодорог между населенными пунктами, используемых для вывозки лесоматериалов	Вид покрытия	Протяженность, км
АО «Леспромхоз Карабашский»	Карабашка-Тавда	грунтовое улучшенное	12
АО ПО «Свердлес»	Колпаковка-Унь	гравийное	25
	Вогул-Козьял	грунтовое улучшенное	12
АО «Туринский ЦБЗ»	Липовка-Увельки	асфальтобетонное	7,5
АО «Тагиллес»	Синегорск-Дальний	грунтовое улучшенное	15
	Висимо-Утка-Таны	грунтовое улучшенное	8
АО «Оусский ЛПХ»	Оус-Ивдель	автозимник	60

Таблица А.4 – Обеспеченность лесотранспортными путями Свердловской области на период действия лесного плана на период с 2019 до 2028 годы

Номер строки	Наименование лесничества, лесопарка	Протяженность дорог (за 2017 год) (км)					Плотность дорог (за 2017 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.	Веркотурское	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.	Купчинское	229	396	1193	2341	4159	8,0	229	415	1231	2341	4216	8,0
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	6,2	145	124	254	2119	2642	6,2
22.	Синячинское	9	212	461	2600	3282	6,8	9	212	461	2600	3282	6,8
23.	Согринское	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.	Сысертское	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.	Гавдинское	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.	Тугульмское	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.5 – Оценка объемов финансирования мероприятий, предусмотренных лесным планом Свердловской области из различных источников за период действия лесного плана Свердловской области на 2009-2019 годы

Наименование лесохозяйственных мероприятий	Источник средств	Единица измерения	Объем финансирования за 2017 год	Плановые показатели										Общая сумма на плановый период
				2019 год	2020 год	2021 год	2022 год	2023 год	2024 год	2025 год	2026 год	2027 год	2028 год	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Леса, расположенные на землях лесного фонда														
Создание лесных дорог, предназначенных для охраны лесов от	средства лиц, использующих леса	ТЫС. руб.	–	1086,7	1130,2	1175,4	1218,9	1264,0	1310,8	1359,3	1394,6	1430,9	1468,1	12 838,9
Реконструкция лесных дорог, предназначенных для охраны лесов от пожаров		ТЫС. руб.	–	823,9	856,7	891,1	924,0	958,2	993,7	1030,5	1057,3	1084,8	1113,0	9733,2
Эксплуатация лесных дорог, предназначенных для охраны лесов от пожаров		ТЫС. руб.	–	503,9	524,0	545,0	565,2	586,1	607,8	630,3	646,7	663,5	680,8	5953,3
Леса, расположенные на землях обороны и безопасности														
Создание лесных дорог, предназначенных для охраны лесов от пожаров	средства федерального бюджета	ТЫС. руб.	–	105,1	109,4	113,7	117,9	122,3	126,8	131,5	134,9	138,5	142,3	1242,4
Эксплуатация лесных дорог, предназначенных для охраны лесов от		ТЫС. руб.	–	8,9	9,2	9,7	10,0	10,3	10,7	11,2	11,4	11,7	12,0	105,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Городские леса														
Реконструкция лесных дорог, предназначенных для охраны лесов от	средства местных бюджетов	ТЫС. руб.	–	183,3	183,3	183,3	190,1	197,2	204,5	212,0	217,5	223,3	229,1	2023,6
Эксплуатация лесных дорог, предназначенных для		ТЫС. руб.	–	91,7	91,7	91,7	95,2	98,6	102,2	106,0	108,8	111,6	114,5	1012,0
Леса, расположенные на землях особо охраняемых природных территорий														
Реконструкция лесных дорог, предназначенных для охраны лесов от пожаров	средства федерального бюджета	ТЫС. руб.	–	1428,4	1485,5	1544,9	1602,1	1661,4	1722,9	1786,6	1833,1	1880,8	1929,7	16 875,4
Эксплуатация лесных дорог, предназначенных для охраны лесов от пожаров		ТЫС. руб.	–	714,3	742,9	772,6	801,2	830,8	861,5	893,4	916,6	940,4	964,9	8438,6
Прочистка просек, уход за противопожарными разрывами		ТЫС. руб.	–	976,2	1015,3	1055,9	1095,0	1135,5	1177,5	1221,1	1252,8	1285,4	1318,8	11 533,5
Прочистка противопожарных минерализованных полос и их обновление		ТЫС. руб.	–	411,2	427,7	444,8	461,3	478,4	496,1	514,5	527,9	541,6	555,7	4859,2

Таблица А.6 – Программы и проекты, реализуемые в области лесных отношений на территории Свердловской области

Номер строки	Наименование проекта (программы)	Период реализации проекта	Перечень муниципальных образований, расположенных на территории Свердловской области, на территориях которых реализуется проект (программа)	Основные территориальные единицы управления в области лесных отношений Свердловской области (лесничества), на территориях которых реализуется проект (программа)
1	2	3	4	5
1	Модернизация завода с собственным лесозаготовительным циклом путем создания дополнительных мощностей по глубокой переработке в городе Алапаевске Свердловской области (общество с ограниченной ответственностью (далее – ООО) «Лестех», приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 15.06.2019 № 2319 «О включении инвестиционного проекта в перечень приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов»)	2019–2027 годы	Муниципальное образование Алапаевское (п.г.т. Верхняя Сивячиха)	Алапаевское лесничество; Байкаловское лесничество; Билимбаевское лесничество; Веркотурское лесничество; Кушвинское лесничество; Режевское лесничество; Шалинское лесничество
2	Открытие нового лесоперерабатывающего производства в поселке Лобва Новолялинского городского округа (ООО «Лесной Урал Лобва», приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 07.11.2016 № 3915 «О включении инвестиционного проекта в перечень приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов»)	2016–2019 годы	Новолялинский городской округ (пос. Лобва)	Новолялинское лесничество
3	Создание нового лесоперерабатывающего завода по глубокой переработке древесины и инновационным способам утилизации отходов на территории Свердловской области (ООО «СибирьЭкоСтрой», приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 11.07.2017 № 2235 «О включении инвестиционного проекта в перечень приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов»)	2017–2020 годы	Североуральский городской округ (г. Североуральск)	Издальское лесничество; Карпинское лесничество

1	2	3	4	5
4	Создание нового лесоперерабатывающего завода по производству шпона с собственным циклом лесозаготовки на территории Свердловской области (ООО «ТУРА-ЛЕС», приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 11.07.2017 № 2236 «О включении инвестиционного проекта в перечень приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов»)	2017–2020 годы	Городской округ Верхняя Тура (г. Верхняя Тура)	Верхотурское лесничество; Купшинское лесничество; Нижне-Тагильское лесничество; Новолялинское лесничество; Сотринское лесничество; Талицкое лесничество
5	Модернизация лесоперерабатывающего завода по глубокой переработке древесины на территории Свердловской области (ООО «Сосва-Лес», приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 06.03.2018 № 660 «О включении инвестиционного проекта в перечень приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов»)	2018–2021 годы	Серовский городской округ (г. Серов)	Гаринское лесничество; Карпинское лесничество; Серовское лесничество; Сотринское лесничество
6	Создание высокотехнологичного деревообрабатывающего производства на территории Свердловской области (ООО «Синергия», приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 06.03.2018 № 659 «О включении инвестиционного проекта в перечень приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов» (далее – приказ Минпромторга России от 06.03.2018 № 659))	2018–2021 годы	Городской округ Верхняя Тура (г. Верхняя Тура)	Алапаевское лесничество; Верхотурское лесничество; Егоршинское лесничество; Карпинское лесничество; Нижне-Тагильское лесничество; Невянское лесничество; Новолялинское лесничество; Серовское лесничество; Шалинское лесничество
7	Создание нового лесоперерабатывающего завода по производству шпона с собственным циклом лесозаготовки на территории Свердловской области (ООО «Уральская лесопромышленная компания», приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 01.12.2017 № 4312 «О включении инвестиционного проекта в перечень приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов»)	2017–2021 годы	Асбестовский городской округ (г. Асбест)	Байкаловское лесничество; Березовское лесничество; Режевское лесничество; Туринское лесничество

1	2	3	4	5
8	Строительство лесного селекционно-семеноводческого центра – комплекса по выращиванию посадочного материала с закрытой корневой системой (в рамках инвестиционного проекта ООО «Синергия», приказ Минпромторга России от 06.03.2018 № 659)	2019–2021 годы	г. Екатеринбург, пос. Садовый	–
9	Региональный проект «Сохранение лесов Свердловской области» в рамках национального проекта «Экология» (протокол заседания Совета при Губернаторе Свердловской области по приоритетным стратегическим проектам Свердловской области от 17.12.2018 № 18)	2019–2024 годы	земли государственного лесного фонда на территории Свердловской области	во всех основных территориальных единицах управления в области лесных отношений Свердловской области (лесничествах)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Щебёночные, песчаные карьеры и объекты размещения отходов горнорудной промышленности на территории Свердловской области

Таблица Б.1 – Щебёночные карьеры Свердловской области (на период 2021 г)

Фракция	Прочность	Лещадность (группа)	Насыпная плотность	Цена (за тонну)
1	2	3	4	5
Первоуральское рудоуправление, ст. Первоуральск СВ ЖД				
0-5	1200	3	1,65	141,60
0-10	1200	3	1,67	151,20
5-20	1200	3	1,64	380,00
20-40	1200	3	1,64	288,00
40-70	1200	3	1,67	288,00
60-150	1200	3	1,70	320,00
Богословское Рудоуправление, ст. Воронцовка СВ ЖД				
0-5	1200	–	1,6	103,84
5-20	1200	–	1,6	254,88
20-40	1200	–	1,6	132,16
Баженовское месторождение, ст. Асбест СВ ЖД				
5-10	1400	1 (9,8%)	1,39	–
5-20	1400	1 (7,2%)	1,4	–
10-15	1400	1 (5,06%)	1,4	–
10-20	1400	1 (8,8%)	1,4	–
15-20	1400	1 (9,8%)	1,4	–
20-40	1400	2 (10-15,7%)	1,41	–
25-60	-	-	-	–
40-80	1400	2 (10-15,8%)	1,42	–
60-150	1400	2 (10-17,38%)	1,49	–
4-8	1400	1 (7,2%)	1,4	–
8-16	1400	1	1,4	–
16-31.5	1400	1	1,4	–
31.5-63	1400	1	1,4	–
Сыростанский щебзавод, ст. Сыростан ЮжУр ЖД				
0-10	1200	1 (7,14%)	1,42	–
5-20	1200	2 (18%)	1,30	312,00
20-40	1200	2 (18%)	1,41	232,00
40-70	1200	2 (18%)	1,41	232,00
Режевской камне-дробильный завод, ст. Стриганово СВ ЖД				
0-10	–	–	1,42	188,80
5-20	1000	2 (10-15%)	1,34	328,00
20-40	1000	2 (10-15%)	1,36	253,60
40-70	1000	2 (10-15%)	1,36-1,37	253,60

1	2	3	4	5
70-120	1000	2 (10-17,2%)	1,34	253,60
Никитинское месторождение, ст. Бойцы СВ ЖД				
0-10	1000	2	1,5	-
0-40	1000	2	1,5	-
5-20	1000	2	1,5	302,08
20-40	1000	2	1,5	302,08
40-70	1000	2	1,5	330,40
Нижне Тагильский Металлургический Комбинат, ст. Смычка СВ ЖД(шлак)				
10-20	800	-	1,3	136,80
20-40	800	-	1,24	136,80
40-70	800	-	1,24	136,80
Тимофеевское месторождение, ст.Дубровка-Челябинская Юж-Ур ЖД				
4-8	1400	1	-	-
4-5,6	1400	1	-	-
5,6-8	1400	1	-	-
5-10	1400	1	1,4	-
5-20	1400	1	1,4	-
5-20	1400	2	1,4	-
8-16	1400	1	-	-
8-11,2	1400	1	-	-
10-15	1400	1	1,4	-
11,2-16	1400	1	-	-
15-20	1400	1	1,4	-
16-22,4	1400	1	-	-
16-31,5	1400	1	-	-
20-40	1400	2	1,4	-
22,4-31,5	1400	1	-	-
31,5-45	1400	1	-	-
31,5-63	1400	1	-	-
40-70	1400	2	1,48	-
45-63	1400	1	-	-
70-120	-	-	-	-
63-90	1400	1	-	-
100-250	-	-	-	-
150-300	-	-	-	-
Синарский щебеночный карьер, ст. Вололазово Юж-Ур ЖД				
5-20	1200	2 (10-15%)	1,26	354,40
20-40	1200	1 (13%)	1,29	275,20
40-70	1200	1 (11%)	1,39	275,20
Сосновское месторождение, ст. Угрюм Юж-Ур ЖД				
5-20	1200	2 (10-14,2%)	1,32	312,00
20-40	1200	1 (8,2%)	1,32	232,00
40-70	1200	1 (7%)	1,32	232,00
Отсев 0-10	1400	3 (30%)	1,49	165,60
Песок мытый 2 кл.	-	-	1,26	256,00
5-20 в МКР	1200	2 (10-14,2%)	1,32	864,00
20-40 в МКР	1200	1 (8,2%)	1,32	784,00
40-70 в МКР	1200	1 (7%)	1,32	784,00

1	2	3	4	5
Отсев 0-10 в МКР	1400	3 (30%)	1,49	668,00
Песок 0-0,63 в МКР	-	-	-	1440,00
Песок 0,63-2 в МКР	-	-	-	1520,00
Песок природный 2 кл. в МКР	-	-	1,26	784,00
Медведевское месторождение, ст. Аносово Юж-Ур ЖД				
3-10	-	-	1,42	по запросу
5-10	1200-1400	-	1,42	464,00
5-15	1200-1400	-	1,42	464,00
5-20	1200-1400	2 (18,34%)	1,43	464,00
20-40	1200-1400	-	1,5	264,00
40-70	1200-1400	2 (18,91%)	1,53	264,00
70-120	1200-1400	-	1,60	-
90-160	1200-1400	-	1,63	-
100-350	1200-1400	-	1,65	288,00
Гайский Диабазовый карьер, ст. Гай Юж-Ур ЖД				
5-20	1400	4	1,38	236,00
20-40	1400	3	1,4	226,56
40-70	1400	3	1,4	169,92
Абзаковское месторождение, ст. Супрак Юж-Ур ЖД				
0-5	1400	1 (9,85%)	1,65	-
5-20	1400	1 (10,5%)	1,4	316,8
20-40	1400	2 (16,26%)	1,4	268
40-70	1400	-	-	268
Усть-Катавский гранитный карьер, ст. Кропачева Юж-Ур ЖД				
0-5	1200	1 (6%)	1,55	136,00
5-20	1200	1 (6%)	1,4	328,00
20-40	1100	1 (3,5%)	1,36	208,00
40-70	1100	1 (3,5%)	1,36	216,00
70-120	1200	1 (3,5%)	1,36	224,00
Тайгинское месторождение, ст. Кышты Юж-Ур ЖД				
0-5	-	-	1,56	40
5-20	1200	1 (8,1%)	1,36	320
5-20	1200	2 (14,8%)	1,37	328
20-40	1200	1 (9,2%)	1,28	232
40-70	1200	1 (9,6%)	1,29	232
Дружининский карьер, ст. Дружинино СВ ЖД				
0-5	-	-	1,52	-
0-10	1200	1 (13%)	1,47	-
5-20	1200	1 (8,1%)	1,47	360
20-40	1000	2 (20,1%)	1,32	264
40-70	600	1 (9,8%)	1,39	264
Аргашский порфириновый карьер, ст. Новогорная Юж-Ур ЖД				
0-10	1400	-	1,52	224,00
5-20	1400	2 (10-15%)	1,56	360,00
20-40	1400	2 (10-15%)	1,42	-
40-70	1400	2 (10-15%)	1,43	224,00
70-120	-	-	-	200,00
3-10	-	-	-	-

1	2	3	4	5
Каталинское месторождение, ст. Каргалы-1 Юж-Ур ЖД				
0-5	-	-	-	-
5-10	1400	1 (4,6%)	1,47	384,00
5-15	1400	1 (8,2%)	1,47	384,00
5-20	1400	1 (9,7%)	1,47	420,00
5-20	1400	2	1,47	304,00
10-15	1400	1 (7,6%)	1,46	464,00
10-20	1400	1 (6,1%)	1,46	416,00
20-40	1400	1 (7,38%)	1,47	264,00
Саткинское месторождение, ст. Сатка Юж-Ур ЖД				
5-10	-	1 (8,5%)	1,46	-
5-20	1200	1 (7,8%)	1,45	334,40
10-20	-	1 (7%)	1,48	-
20-40	1200	2 (19,8%)	1,7	-
20-70	1200	1 (9,4%)	1,38	-
25-60	1200	1 (13,7%)	1,38	-
Гумбейское месторождение, ст. Гумбейка Юж-Ур ЖД				
0-5	1400	1 (2,8%)	1,63	-
0-10	1400	-	1,56	-
0,16-3(5)	1400	-	1,56	-
3-(8)10	1400	1 (3%)	1,42	-
5-20	1400	1 (6,7%)	1,4	-
20-40	1400	2 (15%)	1,37	-
25-60	1400	1 (10,7%)	1,4	-
40-70	1400	2 (17%)	1,4	-
Высокогорский ГОК, ст. Благодать СВ ЖД				
0-5	-	-	1,82	84,96
0-10	-	-	1,9	-
3-10	1200	1 (6,9%)	1,57	-
5-15	1000	1 (9,2%)	1,65	349,28
5-20	1200	1 (6%)	1,41	-
20-40	1000	1 (9%)	-	-
Кушвинский щебзавод, ст. Благодать СВ ЖД				
5-20	1200	1 (12,8%)	1,471	292,00
20-40	1200	1	1,45	278,40
40-70	-	-	-	309,60
Камнедробильный завод ст. Билимбай СВ ЖД				
0-10	1000	1 (6,2%)	1,51	-
5-20	1200	1 (5,6%)	1,43	360
5-20	1200	2 (15%)	1,42	360
20-40	(800)1000	3 (24,8%)	1,43	288
40-70	(800)1000	3 (23,9%)	1,43	288
Отсев 0-5	-	-	-	200
ПЦС 0-5	1000	1 (6,2%)	1,51	-
ПЦС 0-20	-	-	-	112
ПЦС 0-40	800	3 (26%)	1,5	284
ПЦС 0-80	800	3 (25%)	1,51	284

1	2	3	4	5
Гусевгорское месторождение ст. Качканар СВ ЖД				
5-20	1400	1 (12%)	1,61	207,2
20-40	-	-	-	-
40-70	-	-	-	-
5-20	1000	1 (14,89%)	1,43	264
20-40	-	-	-	336
40-70	-	-	-	336
Нижнесергинский метизно-металлургический завод, ст. Ревля СВ ЖД(шлак)				
0-5	1000-1200	-	-	4
10-20	800	10%	-	80
20-40	800 (1000-1200)	10% (20%)	-	136
40-70	1000-1200	5%	-	160
70-120	1000-1200	5%	-	-
Исетский щебёночный завод, ст. Исеть СВ ЖД				
0-5	-	-	-	-
5-25	1000	3 (31,5%)	1,38	289,6
Северский трубный завод, ст. Полевской СВ ЖД(шлак)				
Песок 0-5	-	-	-	124,6
5-20	1200	-	1,56	162,4
20-40	1200	-	1,37	210,5
40-70	1200	-	1,36	194,5
0-5	-	-	-	169,6
0-40	-	-	-	169,6
5-20	-	-	-	188,8
Чусовской металлургический завод				
Песок 0-5	-	-	-	163,312
5-20 шлак	-	-	-	266,2
20-40 шлак	1000, 1200	-	-	188,8
20-70 шлак	-	-	-	207,7
40-70 шлак	1000, 1200	-	-	207,7
Щебень >70 мм	-	-	-	165,2
Отходы 0-20, 5-60	-	-	-	70,8
5-20 горный	1000, 1200	-	-	396,5
20-40 горный	1000, 1200	-	-	264,32
40-70 горный	1000, 1200	-	-	304,9
Щебень >70 мм горн.	-	-	-	108,56
Отсев 0-10 горн.	-	-	-	188,8
ПГС	-	-	-	349,3
Отходы 0-30 горн.	-	-	-	61,36
Зюрянское 2 песчано-гравийное месторождение, ст. Зюрья Горьков. ЖД				
5-20	-	-	1,57	280
Кузнечное месторождение, ст. Кузнечное Октябр. ЖД				
5-20	1200	2 (23,3%)	-	-

Таблица Б.2 – Характеристика песчаных карьеров Свердловской области

Карьер Месторождение	Технические характеристики			Примечание
	Модуль крупности (или размер песчинок)	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	Радиоактивно сть, Бк/кг	
Кыштымский челябинский	–	–	–	–
Березовский	1,17 (мелкий)	до 10,4	240,14	отходы золотодобывающей промышленности
Становской	2,2 (средний)	0,27%	59 (±19)	отходы золотодобывающей промышленности
Невьянский	2,3-3,1 (средний и крупный)	0,5-2,8%	–	отходы золотодобывающей промышленности
Гора Хрустальная	0,8 (мелкий)	–	19,9 Бк/кг	перемолотый минерал кварц
Михайловский	2,09-2,64 (средний, закрупненный)	1,3-4,6%	41,2 Бк/кг	–
Каменск- Уральский	2,3 (средний)	2%	46,3 Бк/кг	–
	2,4 (средний)	1,3%	39,6 Бк/кг	–
Камышловский	2,36 (средний)	0,9%	61,6 Бк/кг	–

Таблица Б.3 – Объекты горнодобывающей промышленности Свердловской области

Номер строки	Наименование объекта горнодобывающей промышленности	Характеристика объекта горнодобывающей промышленности
1	2	3
1	Отвал пустых пород Левижинского рудника	5867,43 тыс. тонн, отходы добывающей промышленности (S-13.2%, Cu-0.16%, Zn-0.12%)
2	Отвал вскрышных пород Валуевского карьера	17 330 тыс. тонн, прочие отходы добывающей промышленности
3	Отвал вмещающих пород	21 881,5 тыс. тонн, щебень
4	Отвал вскрышных и вмещающих пород (Шахта Чалар)	2000 куб. м (Cu-0.437%, Zn-1.208%, Ag-28.52 г/тонн, Au-1.54 г/тонн)
5	Отвал вскрышных и вмещающих пород (Шахта Северо-Ольховская)	112,6 тыс. тонн (Cu-0.33%, Ag-12.3 г/тонн, Au-0.4 г/тонн)
6	Отвал вскрышных и вмещающих пород (Шахта Южно-Ольховская)	91,1 тыс. тонн (Cu-0.49%, Ag-25 г/тонн, Au-0.2 г/тонн)
7	Внешний отвал вскрышных пород (разрез «Волчанский»)	1545,77 тыс. тонн, прочие отходы добывающей промышленности
8	Отвал вскрышных пород № 1 (Сухореченский карьер)	6893 тыс. тонн, отходы при добыче нерудных полезных ископаемых (V класс опасности)

1	2	3
9	Отвал вскрышных пород № 2 (Сухореченский карьер)	11 193,3 тыс. тонн, отходы известняка, доломита и мела в кусковой форме (V класс опасности)
10	Отвал вскрышных пород № 3 (Галкинский карьер)	7562,8 тыс. тонн, отходы известняка и доломита, отходы при добыче нерудных полезных ископаемых (V класс опасности)
11	Отвал вскрышных пород № 4 (Галкинский карьер)	1104,976 тыс. тонн, отходы известняка и доломита, отходы при добыче нерудных полезных ископаемых (V класс опасности)

Таблица Б.4 – Объекты горно-обогатительного производства Свердловской области

Номер строки	Наименование объекта обогатительного производства	Характеристика объекта обогатительного производства
1	Хвостохранилище сухих хвостов на болоте Саднинское (Кушвинский городской округ)	49 684,572 тыс. тонн, минеральные шламы IV класса опасности (Fe-11%, Cu-0.125%)
2	Хвостохранилище (Сухореченский карьер)	1075 тыс. тонн, отходы известняка, доломита и мела в кусковой форме

Таблица Б.5 – Объекты отколов металлургического производства Свердловской области

Номер строки	Наименование объекта металлургического производства	Характеристика
1	Отвал огнеупоров (акционерное общество «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат»)	2531,03 тыс. тонн, бой от печей металлургических процессов (IV класс опасности)
2	Шлакоотвал	32,813 тыс. тонн, металлургические шлаки, съемы, пыль (IV класс опасности)
3	Шлакоотвал № 2	7,328 тыс. тонн, шлак печей переплава алюминиевого производства (IV класс опасности)
4	Шлакоохранилище доменных шлаков (общество с ограниченной ответственностью (далее – ООО) «Староуткинский металлургический завод»)	41,2 тыс. тонн

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)

Некондиционные щебеночные материалы для лесовозных дорог
Свердловской области

Таблица В.1 – Физико-механические свойства смеси щебеночно-песчаной некондиционной, ООО «Уральский щебень», п. Покров-Уральский

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	ГОСТ на методы испытаний	Результаты испытаний	Требования ГОСТ 8267-93
1	Насыпная плотность	кг/м ³	8269.0-97	1360	не нормируется
2	Показатели дробимости щебня при сжатии в водонасыщенном состоянии: потери марка щебня по дробимости	% по массе	8269.0-97	23,3 400	св. 20 до 28 включ. 400
3	Содержание пылевидных и глинистых частиц	% по массе	8269.0-97	12,9	не более 3
4	Содержание глины в комках	% по массе	8269.0-97	2,1	не более 0,25
5	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы	% по массе	8269.0-97	41,8	От 25 до 35 включ. 4 гр.
6	Истираемость: потери марка щебня по истираемости	% по массе	8269.0-97	29,9 И-2	Св. 25 до 35 И – 2
7	Содержание в щебне зерен слабых пород	% по массе	8269.0-97	25,2	не более 15
8	Устойчивость структуры щебня против распада, потери	% по массе	8269.0-97	16,8	не более 7
9	Морозостойкость в растворе сернокислого натрия (ускоренный метод): число циклов потери марка щебня по морозостойкости	% по массе	8269.0-97	10 4,66 F 100	10 не более 5 F 100

Таблица В.2 – Физико-механические свойства смеси вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов Богословского рудоуправления, месторождение Боронцовское

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	ГОСТ на методы испытаний	Результаты испытаний	Требования ГОСТ 8267-93
1	Насыпная плотность	кг/м ³	8269.0-97	1380	не нормируется
2	Показатели дробимости щебня при сжатии: потери марка щебня по дробимости	% по массе	8269.0-97	20,8 400	св. 20 до 28 включ. 400
3	Содержание пылевидных и глинистых частиц	% по массе	8269.0-97	11,9	не более 3
4	Содержание глины в комках	% по массе	8269.0-97	3,2	не более 0,25
5	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы	% по массе	8269.0-97	46,6	От 25 до 35 включ. 4 гр.
6	Истираемость: потери марка щебня по истираемости	% по массе	8269.0-97	26,7 И-2	Св. 25 до 35 И – 2
7	Содержание в щебне зерен слабых пород	% по массе	8269.0-97	27,4	не более 15
8	Устойчивость структуры щебня против распада, потери	% по массе	8269.0-97	11,2	не более 7
9	Морозостойкость в растворе сернистого натрия (ускоренный метод): число циклов потери марка щебня по морозостойкости	% по массе	8269.0-97	10 4,87 F 100	10 не более 5 F 100

Таблица В.3 – Зерновой состав смеси щебеночно-песчаной некондиционной,

ООО «Уральский щебень», п. Покров-Уральский

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	Полные остатки на ситах, % по массе	Требования СП 243. 1326000.2015, табл. 35
70	3,18	0
40	6,53	10-20
20	13,65	20-40
10	30,69	25-65
5	46,57	40-75
2,5	59,64	60-85
0,63	78,93	70-90
0,16	96,93	90-95
0,05	99,98	97-100
менее 0,05	100,00	100,00

Таблица В.4 – Зерновой состав смеси вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов Богословского рудоуправления, месторождение Воронцовское

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	Полные остатки на ситах, % по массе	Требования СП 243. 1326000.2015, табл. 35
70	7,11	0
40	8,23	0-5
20	13,65	0-10
10	30,69	10-40
5	46,57	30-70
2,5	59,64	45-80
0,63	85,21	60-85
0,16	93,25	75-92
0,05	99,98	97-100
менее 0,05	100,00	100

Таблица В.5 – Физико-механические свойства смеси вскрышных пород Волчанский балластный карьер, внешний отвал (разрез «Волчанский»)

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	ГОСТ по методы испытаний	Результаты испытаний	Требования ГОСТ 8267-93
1	Насыпная плотность	кг/м ³	8269.0-97	1320	не нормируется
2	Показатели дробности щебня при сжатии: потери марка щебня по дробности	% по массе	8269.0-97	24,3 400	св. 20 до 28 включ. 400
3	Содержание пылевидных и глинистых частиц	% по массе	8269.0-97	14,5	не более 3
4	Содержание глины в комках	% по массе	8269.0-97	4,1	не более 0,25
5	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы	% по массе	8269.0-97	45,3	От 25 до 35 включ. 4 гр.
6	Истираемость: потери марка щебня по истираемости	% по массе	8269.0-97	26,7 И-2	Св. 25 до 35 И – 2
7	Содержание в щебне зерен слабых пород	% по массе	8269.0-97	29,2	не более 15
8	Устойчивость структуры щебня против распада, потери	% по массе	8269.0-97	13,2	не более 7
9	Морозостойкость в растворе сернокислого натрия (ускоренный метод): число циклов потери марка щебня по морозостойкости	% по массе	8269.0-97	12 4,21 F 100	10 не более 3 F 100

Таблица В.6 – Зерновой состав смеси вскрышных пород Волчанский балластный карьер, внешний отвал вскрышных пород (разрез «Волчанский»)

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	Полные остатки на ситах, % по массе	Требования СП 243.1326000.2015, табл. 35
70	5,24	0
40	10,2	0-5
20	16,6	0-10
10	42,2	10-40
5	45,5	30-70
2,5	49,8	45-80
0,63	87,7	60-85
0,16	97,3	75-92
0,05	100,0	97-100
менее 0,05	100,0	100

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г.1 – Ведомость испытаний щебеночного покрытия из ЩПСН некондиционной, ООО «Уральский щебень», Покров-Уральский электронным динамическим плотномером ZFG-3000-10 GPS на участке №1

Номер прохода катка, $N_{катка}$	Количество циклов нагружения покрытия, $N_{ц}$	Показания прибора, МПа		Фактический коэффициент уплотнения, K_y
		Требуемый динамический модуль упругости $E_{уд}$, MN/m^2 (МПа)	Показания прибора, МПа	
1	2	≥ 35	26,2	$\geq 0,95$
2	10	≥ 35	30,2	$\geq 0,96$
3	16	≥ 35	35,3	$\geq 0,97$
4	22	≥ 35	41,3	$\geq 0,98$
5	38	≥ 35	47,4	$\geq 0,98$
6	41	≥ 35	48,3	$\geq 0,98$
7	50	≥ 35	49,9	$\geq 0,98$
8	56	≥ 35	49,7	$\geq 0,98$
9	64	≥ 35	49	$\geq 0,98$
10	73	≥ 35	48,4	$\geq 0,98$
12	95	≥ 35	46,2	$\geq 0,98$
14	110	≥ 35	45,8	$\geq 0,98$
20	142	≥ 35	45,1	$\geq 0,98$
40	322	≥ 35	42,3	$\geq 0,98$
80	644	≥ 35	34,2	$\geq 0,97$
100	1016	≥ 35	32,1	$\geq 0,96$
140	1533	≥ 35	30,6	$\geq 0,96$
168	2000	≥ 35	29,7	$\geq 0,96$

Таблица Г.2 – Ведомость испытаний конструктивного слоя из смеси вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов Богословского рудоуправления электронным динамическим плотномером ZFG-3000-10 GPS на участке №2

Номер прохода катка, $P_{катка}$	Количество циклов нагружения покрытия, N_c	Показания прибора, МПа		Фактический коэффициент уплотнения, K_{ρ}
		Требуемый динамический модуль упругости E_{VD} , (MN/m ²) МПа	Показания прибора, МПа	
1	2	≥ 35	25,5	$\geq 0,95$
2	10	≥ 35	32,2	$\geq 0,96$
3	16	≥ 35	35	$\geq 0,97$
4	22	≥ 35	37,3	$\geq 0,98$
5	38	≥ 35	40,1	$\geq 0,98$
6	41	≥ 35	40,1	$\geq 0,98$
7	50	≥ 35	40,2	$\geq 0,98$
8	56	≥ 35	39,4	$\geq 0,98$
9	64	≥ 35	37,8	$\geq 0,98$
10	73	≥ 35	35,1	$\geq 0,98$
12	95	≥ 35	33,4	$\geq 0,98$
14	110	≥ 35	33,1	$\geq 0,97$
20	142	≥ 35	32,3	$\geq 0,97$
40	322	≥ 35	30,1	$\geq 0,97$
80	644	≥ 35	30,2	$\geq 0,96$
100	1016	≥ 35	30,5	$\geq 0,96$
140	1533	≥ 35	29,5	$\geq 0,95$
168	2000	≥ 35	28,4	$\geq 0,95$

Таблица Г.3 – Ведомость испытаний конструктивного слоя из смеси вскрышных пород Волчанский балластный карьер электронным динамическим плотномером ZFG-3000-10 GPS на участке №3

Номер прохода катка, $N_{катка}$	Количество циклов нагружения покрытия, $N_{ц}$	Показания прибора, МПа		Фактический коэффициент уплотнения, K_c
		Требуемый динамический модуль упругости $E_{уд}$, (MN/m ²) МПа	Показания прибора, МПа	
1	2	≥ 35	22,1	$\geq 0,95$
2	10	≥ 35	28,9	$\geq 0,96$
3	16	≥ 35	34,1	$\geq 0,97$
4	22	≥ 35	36,3	$\geq 0,98$
5	38	≥ 35	37,8	$\geq 0,98$
6	41	≥ 35	38,6	$\geq 0,98$
7	50	≥ 35	39,3	$\geq 0,98$
8	56	≥ 35	39,8	$\geq 0,98$
9	64	≥ 35	37,8	$\geq 0,98$
10	73	≥ 35	39,1	$\geq 0,98$
12	95	≥ 35	38,4	$\geq 0,98$
14	110	≥ 35	36,1	$\geq 0,97$
20	142	≥ 35	33,3	$\geq 0,97$
40	322	≥ 35	28,4	$\geq 0,97$
80	644	≥ 35	26,8	$\geq 0,96$
100	1016	≥ 35	26,2	$\geq 0,96$
140	1533	≥ 35	25,1	$\geq 0,95$
168	2000	≥ 35	23,5	$\geq 0,95$

Таблица Г.4 – Ведомость испытаний щебеночного слоя методом замещения на участке №1

Номер точки	Остаточная пустотность, %
1	18,5
2	16,3
3	14,0
4	12,7
5	10,2
6	8,4
7	8,6

Таблица Г.5 – Ведомость испытаний щебеночного слоя методом замещения на участке №2

Номер точки	Остаточная пустотность, %
1	19,1
2	17,0
3	12,9
4	12,7
5	9,8
6	8,1
7	8,0

Таблица Г.6 – Ведомость испытаний щебеночного слоя методом замещения на участке №3

Номер точки	Остаточная пустотность, %
1	20,1
2	18,2
3	15,6
4	14,2
5	11,4
6	10,3
7	10,2

Таблица Г.7 – Зависимость динамического модуля деформации E_{vd} , статического модуля упругости E_u и коэффициента уплотнения слоя K_u

Тип грунта	Динамический модуль деформации E_{vd} , МПа	Статический модуль упругости E_u , МПа	Коэффициент уплотнения K_u
Каменные грунты (GW, GI)	≥ 60	≥ 120	$\geq 1,03$
Песчано-гравийная смесь Щебень (5-20, 20-40, 40-70)	≥ 50	≥ 100	$\geq 1,00$
	≥ 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.8 – Опытные данные изменения зернового состава ЩПСН после 1-го цикла измельчения

Размер отверстий сит, мм	Частный остаток, г	Частный остаток, %	Полный остаток, %	Полный прокол, %
70	131,05	3,12	3,12	96,88
40	139,55	3,32	6,44	93,56
20	261,99	6,24	12,68	87,32
10	646,54	15,39	28,07	71,93
5	584,78	13,92	42,00	58,00
2,5	603,74	14,37	56,37	43,63
1,25	388,2	9,24	65,62	34,38
0,63	516,2	12,29	77,91	22,09
0,315	555,29	13,22	91,13	8,87
0,16	230,75	5,49	96,62	3,38
0,05	136,64	3,25	99,87	0,13
менее 0,05	5,27	0,13	100,00	
Итого	4200			

Таблица Г.9 – Опытные данные изменения зернового состава ЦПСН после 2-го цикла измельчения

Размер отверстий сит, мм	Частный остаток, г	Частный остаток, %	Полный остаток, %	Полный проход, %
70	129,12	3,07	3,07	96,93
40	135,83	3,23	6,31	93,69
20	270,8	6,45	12,76	87,24
10	495,53	11,80	24,55	75,45
5	576,23	13,72	38,27	61,73
2,5	484,55	11,54	49,81	50,19
1,25	339,05	8,07	57,88	42,12
0,63	493,28	11,74	69,63	30,37
0,315	665,26	15,84	85,47	14,53
0,16	314,17	7,48	92,95	7,05
0,05	232,36	5,53	98,48	1,52
менее 0,05	63,82	1,52	100,00	
Итого	4200			

Таблица Г.10 – Опытные данные изменения зернового состава ЦПСН после 3-го цикла измельчения

Размер отверстий сит, мм	Частный остаток, г	Частный остаток, %	Полный остаток, %	Полный проход, %
70	125,64	2,99	2,99	97,01
40	130,72	3,11	6,10	93,90
20	346,4	8,25	14,35	85,65
10	520,91	12,40	26,75	73,25
5	475,54	11,32	38,08	61,92
2,5	438,09	10,43	48,51	51,49
1,25	329,66	7,85	56,36	43,64
0,63	527,37	12,56	68,91	31,09
0,315	688,26	16,39	85,30	14,70
0,16	343,99	8,19	93,49	6,51
0,05	226,57	5,39	98,88	1,12
менее 0,05	46,85	1,12	100,00	
Итого	4200			

Таблица Г.11 – Опытные данные изменения зернового состава ЦПСН после 4-го цикла измельчения

Размер отверстий сит, мм	Частный остаток, г	Частный остаток, %	Полный остаток, %	Полный проход, %
70	120,54	2,87	2,87	97,13
40	126,35	3,01	5,88	94,12
20	456,07	10,86	16,74	83,26
10	425,8	10,14	26,88	73,12
5	675,38	16,08	42,96	57,04
2,5	539,83	12,85	55,81	44,19
1,25	365,31	8,70	64,51	35,49
0,63	482,03	11,48	75,98	24,02
0,315	559,15	13,31	89,30	10,70
0,16	249,98	5,95	95,25	4,75
0,05	146,9	3,50	98,75	1,25
менее 0,05	52,66	1,25	100,00	
Итого	4200			

Таблица Г.12– Опытные данные изменения зернового состава ЦПСН после 60-го цикла измельчения

Размер отверстий сит, мм	Частный остаток, г	Частный остаток, %	Полный остаток, %	Полный проход, %
70	67,51	1,61	1,61	98,39
40	59,07	1,41	3,01	96,99
20	115,33	2,75	5,76	94,24
10	376,6	8,97	14,73	85,27
5	505,16	12,03	26,75	73,25
2,5	502,88	11,97	38,73	61,27
1,25	237	5,64	44,37	55,63
0,63	796,1	18,95	63,33	36,68
0,315	594,73	14,16	77,49	22,51
0,16	359,22	8,55	86,04	13,96
0,05	366,15	8,72	94,76	5,24
менее 0,05	220,25	5,24	100,00	
Итого	4200			

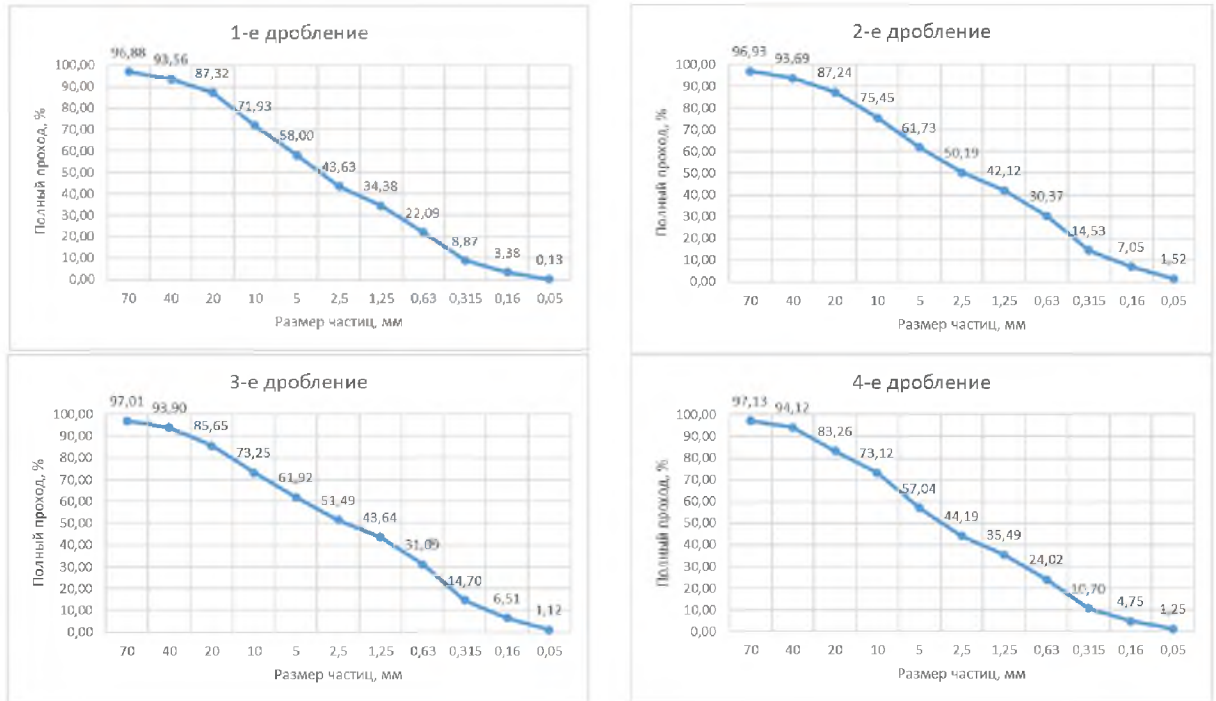


Рисунок Г.1 – Кривые зернового состава ЦПСН после 1-4 циклов измельчения

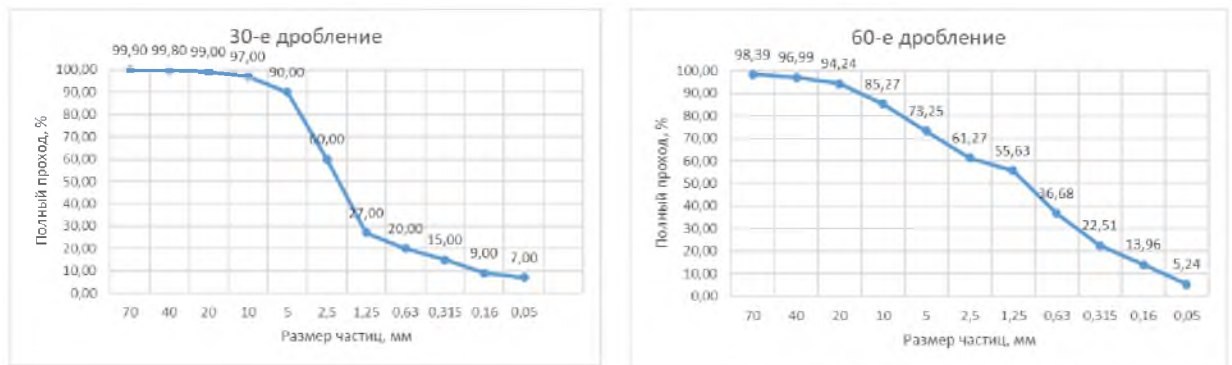


Рисунок Г.2 – Кривые зернового состава ЦПСН после 30 и 60 циклов измельчения

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
ТОРГОВЫЙ ДОМ
«УРАЛО-СИБИРСКАЯ КОМПАНИЯ»

УТВЕРЖДАЮ:
Директор
ООО ТД «Урало-
Сибирская Компания»
А.А. Кунгуров
«08» 09 2021 г.



СОГЛАСОВАНО:
Директор
Дорожно-строительная
лаборатория «Карпинская»
ИП Яковлева М.Н.
М.Н. Яковлева
«08» 09 2021 г.



Технологический регламент

на выполнение работ по устройству щебеночных покрытий
лесовозных дорог из некондиционных щебеночных материалов в
условиях Свердловской области и Северного Урала

Дата введения без ограничения срока действия

Екатеринбург,
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: Дорожно-строительная лаборатория «Карпинская» ИП Яковлева М.Н.: инженер лаборант Морозкова Е.М., инженер Шакирзянов Д.И., инженер лаборант Касьянова А.П.
2. ВНЕСЕН: ООО ТД «Урало-Сибирская Компания»
3. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом Директора ООО ТД «Урало-Сибирская Компания» № 28 от 01 сентября 2021 г.
4. РЕЦЕНЗЕНТ: к.т.н. Дедюхин А.Ю., директор НИИ ЛАДОР в составе ООО ИЦ «ДТ»
5. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© ООО ТД «Урало-Сибирская Компания»

Настоящий технологический регламент не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован или распространен в качестве официального издания без разрешения ООО ТД «Урало-Сибирская Компания»

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	18
11. Требования по охране окружающей среды.....	22
11. Список приложений.....	22
12. Приложение А	23
14. Лист регистрации изменений.....	24

1. Область применения

Данный технологический регламент распространяется на выполнение работ, направленных на строительство щебеночных и грунтогравийных покрытий дорожных одежд лесовозных дорог постоянного действия III ЛВ, IV ЛВ и I ЛХ, II ЛХ категорий из местных некондиционных каменных дорожно-строительных материалов и отходов горнообогатительных, горно-перерабатывающих и горнодобывающих предприятий Свердловской области.

Под щебеночным покрытием лесовозных лесных дорог понимается дорожная одежда переходного типа, состоящая из одного или нескольких слоев и обеспечивающая перераспределение и снижение напряжений на расположенные ниже дополнительные слои или грунт земляного полотна.

Под грунтогравийным покрытием лесных дорог понимается дорожная одежда низшего типа, расположенная непосредственно на земляном полотне,

Для устройства дорожных покрытий предусматривается использование местных строительных материалов Северных районов Свердловской области: щебеночно-песчаная смесь некондиционная (ЩПСН), ООО «Уральский щебень», п. Покров-Уральский; смесь вскрышных и вмещающих пород и некондиционных отходов Богословского рудоуправления, месторождение Воронцовское; вскрышные породы Волчанского балластного карьера.

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 25607.2009 Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов	01.01.2011	–
2. Нормативная документация, регламентирующая методы испытания и контроля			
9.	ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.	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 33047-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение насыпной плотности и пустотности.	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 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;

Щебеночным покрытие – дорожная одежда переходного типа, состоящая из одного или нескольких слоев и обеспечивающая перераспределение и

снижение напряжений на расположенные ниже дополнительные слои или грунт земляного полотна.

Индекс уплотняющей способности катка J_k – параметр, характеризующий накопление деформации в слое при уплотнении его катком.

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 ШЕБЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ
ИЗ НЕКОНДИЦИОННЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Для устройства дорожных покрытий лесовозных дорог применяют местные некондиционные каменные дорожно-строительные материалы и отходы горно-обогатительных, горно-перерабатывающих и горнодобывающих предприятий. В случае несоответствия каменных материалов требованиям смеси готовятся на дробильно-сортировочных установках или путем смешения разных фракций.

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

Таблица 4.1 – Физико-механические свойства щебеночных смесей некондиционных

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	ГОСТ на методы испытаний	Требования Технологического регламента на строительство лесных дорог
1	Насыпная плотность	кг/м ³	8269.0-97	не нормируется
2	Показатели дробимости щебня при сжатии: потери марка щебня по дробимости	% по массе	8269.0-97	св. 24 до 35 включ. 200
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	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы	% по массе	8269.0-97	От 65 до 85 включ. 4 гр.
6	Истираемость: потери марка щебня по истираемости	% по массе	8269.0-97	Св. 45 до 60 И – 4
7	Содержание в щебне зерен слабых пород	% по массе	8269.0-97	не более 15
8	Устойчивость структуры щебня против распадов, потери	% по массе	8269.0-97	не более 7
9	Морозостойкость в растворе сернокислого натрия (ускоренный метод): число циклов потери марка щебня по морозостойкости	% по массе	8269.0-97	5 не более 10 F 25
10	при св. 740 до 1500 Бк/кг - в дорожном строительстве вне населенных пунктов.	–	–	–

Таблица 4.2 – Требования к зерновому составу щебеночных смесей некондиционных

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	Требования Технологического регламента на строительство лесных дорог
70	0-5
40	5-10
20	5-20
10	20-55
5	30-75
2,5	35-85
0,63	65-95
0,16	90-100
0,05	97-100
менее 0,05	100,00

Требования по форме зерен, по прочности, истираемости и морозостойкости к щебню входящему в состав щебеночно песчаных смесей не предъявляются.

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

6. ПРАВИЛА ПРИЕМКИ, ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МАТЕРИАЛОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

5.1 Щебеночные смеси транспортируют в автомобилях согласно утвержденным в установленном порядке правилам перевозок грузов соответствующим видом транспорта, и хранят отдельно: (щебень – по фракциям, смеси – 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 ЩЕБЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛЕСНЫХ ДОРОГ ИЗ НЕКОНДИЦИОННЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

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 нижележащий 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 нижележащему слою;
- увлажнение материала до оптимальной влажности;
- разравнивание материала, профилирование и придание поперечного профиля покрытию дорожной одежды;
- уплотнение щебеночного слоя дорожной одежды виброкатками;
- контроль степени измельчения каменных материалов в дорожном покрытии;
- уход за покрытием дорожной одежды.

Организация и технология производства работ

Щебеночные некондиционные 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:

$$V = L \cdot B \cdot h \cdot k_{\text{зан}}, \quad (1)$$

где L – длина захватки в м;

B – ширина слоя в м;

h – толщина слоя в уплотненном состоянии, в м;

$k_{\text{зан}}$ – коэффициент запаса на уплотнение и измельчение для ЩПСН принимают равным 1,25-1,35 и уточняют по результатам пробной укатки.

При распределении щебеночных материалов следует учитывать запас на усадку при уплотнении:

- для некондиционных песчано-гравийных смесей фракций 0-70 мм марки по прочности 400 и более от 30 до 50%;
- для гравийно-грунтовых покрытий от 35 до 60%.

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, $K_3=0,9 \dots 0,95$;
 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 приступить к уплотнению. Производительность автогрейдера на планировочных работах определяется расчетом по выражению

$$П = \frac{3600K_B L(B \sin \phi - a_n)}{\left(\frac{L}{V_{рх}} + t_n\right)m}, \quad (3)$$

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, $a_n = 0,15 \dots 0,20$ м;
 $V_{рх}$ – рабочая скорость перемещения машины, м/с;
 t_n – продолжительность разворота, $t_n = 10 \dots 20$ с;
 m – число проходов по одному месту, $m = 1 \dots 2$.

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 (м²/ч),

$$P_{\text{з}} = \frac{1000(B_{\text{в}} - a_{\text{в}})v_{\text{к}}k_{\text{в}}}{z}, \quad (4)$$

где $B_{\text{в}}$ – ширина укатываемой полосы, равная ширине вальца, м;

$a_{\text{в}}$ – размер перекрытия рабочего прохода, $a_{\text{в}} = 0,05-0,1$ м;

$v_{\text{к}}$ – рабочая скорость, для виброкатка с гладкими вальцами $v_{\text{к}} = 1,5-6$ км/ч,

z – число проходов;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования машины во времени, $k_{\text{в}} = 0,8-0,9$;

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.

Щебеночный слой фракции 0-70 мм следует уплотнять за несколько этапов:

Первый этап уплотнения.

Производится прикатка или предварительное уплотнение. Происходит обжимка зернистого материала и выравнивание поверхности слоя виброкатком. Вибромодуль не включается. Основная задача на этом этапе состоит в некотором начальном подравнении еще рыхлого после укладки и планировки слоя щебеночного 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 устройства щебеночных покрытий лесных дорог из некондиционных каменных материалов

Технологическая последовательность	Потребность в ресурсах		
	Единица измерения	Количество	Производительность в смену
1. Погрузка ПЩСН экскаватором ЕУ- 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 ПЩСН 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 ПЩСН 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. 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} = 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. Измельчение и 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

Второй этап уплотнения и измельчения.

По мере сближения крупных щебенки между собой и формирования каркасной структуры, за счет включения максимального режима вибрации катка (2-4 проходов по одному следу на скорости 3,0-3,5 км/час) происходит дробление и переупаковка щебенки материала.

Прикатывание производится до устойчивого положения отдельных щебенки 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 покрытия лесной дороги.

Третий этап уплотнения.

Окончательное доуплотнение и формирование прочного дорожного покрытия за счет силового сближения зерен материала и создания контактов между щебенками. Заполнение мелкоземом межзернового 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 на 30-40 см. Уплотнение производится от краев к середине основания. Общее количество приложения циклов нагружения на материал должно составлять не менее 50... 70.

Наименьший индекс уплотняющей способности катка (степень воздействия катка на слой определенной толщины и типа материала) $J_k = 0,38$ и не более.

Признаками окончания уплотнения служат:

- отсутствие подвижности зерен каменного 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 покрытия с появлением большого количества деформаций покрытия производится досыпка и укрепление верхнего слоя покрытия.

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 щебеночной смесью оптимальной влажности и уплотняют виброкатками.

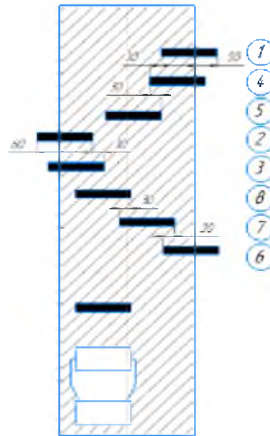


Рисунок 7.1 – Последовательность прохода виброкатка по слою, уложенному на всю ширину покрытия из щебеночных материалов

Однако при проведении строительных 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 примесей существенно меняет не только структурные связи, но и технологии строительства.

Особенности устройства щебеночных покрытий при отрицательных температурах:

1. Устройство щебеночных покрытий при отрицательных температурах следует производить по земляному полотну или нижележащему слою, полностью законченному и принятому;

2. К щебеночным покрытиям, построенным при отрицательных температурах, следует предъявлять те же требования, что и к слоям, уложенным при положительных температурах;

3. Работы по устройству щебеночных покрытий 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 ЦПСН 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 $1,29 \text{ г/см}^3$ (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 щебенистый 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 дорожнопокрытия, 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 ЩПСН) 1 экскаватор-8,1 ч, 13 автомобилей самосвалов в течение 8,2 часа вывозят ЩПСН 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 ЩПСН 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 слоя и измельчение материала.

Один автогрейдер в течение 3,6 часа разравнивает оставшуюся ЩПСН и затем производит окончательную планировку основания; два катка в течение 6,9 часа производят укатку покрытия.

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 каменных материалов должна проводить лаборатория организации осуществляющей строительство дорожной одежды.

Операционный контроль качества строительства 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.

Каменные 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. Все щебенки по толщине слоя 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 зерновым составом или измерением динамического модуля упругости. Измерение динамического модуля упругости производится на расстоянии 1м от кромки слоя.

Динамический модуль упругости покрытия 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 дорожных покрытий лесовозных дорог из смеси щебеночно-песчаной некондиционной

Основные операции, подлежащие контролю	Состав контроля	Метод и средства контроля	Режим и объем контроля	Лицо, осуществляющее контроль	Предельные отклонения от норм контролируемых параметров	Где регистрируются результаты контроля
1	2	3	4	5	6	7
Устройство покрытия	Соблюдение технологических режимов	<u>Визуальный</u>	Постоянно	Мастер	5% от заданной массы на м ³ смеси	Общий журнал работ
	1. Расход ЦПСН 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 покрытия и дополнительное измельчение		<u>Лабораторный</u>	Не менее одного раза в смену	Мастер, лаборант		Общий журнал работ
	Прочность дорожной одежды	Динамический плотномер	- // -	- // -	Динамический модуль упругости не менее 65 МПа	- // -
	Зерновой состав	Набор сит	- // -	- // -	Согласно технологического регламента	- // -
	Плотность покрытия	Визуальный	- // -	- // -	Отсутствие следа или образования волн перед вальцом при прохождении контрольного участка катком массой 9-12 т	- // -
Отделка поверхности покрытия	Высотные отметки по оси покрытия	<u>Инструментальный</u> Нивелир, рейка	Не реже, чем каждые 100 м	Геодесист	Не более ±50 мм от проектных значений	Журнал геодезических работ
	Поперечные уклоны	1. Нивелир, рейка	- // -	Геодесист	До ±0,010 от проектных значений	- // -
	Ровность	2. Трехметровая рейка, уклономер	- // -	Мастер	Не более ±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 покрытия	Прочность при нагрузке	Инструментальный 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 грунт 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 грунтоуплотняющей технике необходимо соблюдать следующие требования:

– каток должен быть оборудован звуковыми и сигнальными приборами, за исправностью которых должен следить машинист;

– на свежесыпанной насыпи колеса 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 щебня 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:

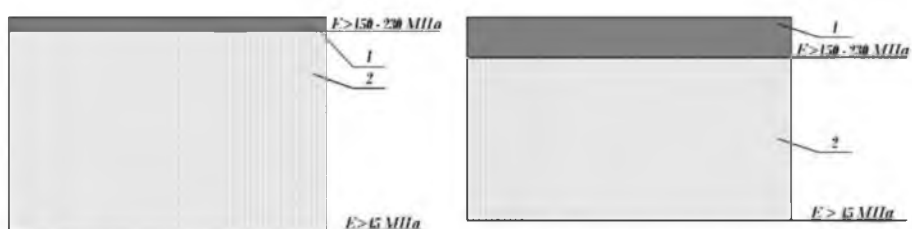
– ОДМ 218.3.031-2013 Методические рекомендации по охране окружающей среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог.

12. СПИСОК ПРИЛОЖЕНИЙ

1. Приложение А. Типы рекомендуемых конструкций дорожной одежды из некондиционных щебеночных материалов для лесовозных дорог

Приложение А (рекомендуемое)

Типы рекомендуемых конструкций дорожной одежды из некондиционных щебеночных материалов для лесовозных дорог



Тип I. Дорожная одежда переходного типа
 1 – щебеночное покрытие,
 $h = 60 - 120$ мм;
 2 – грунт земляного полотна по предварительному расчету.

Тип II. Дорожная одежда низшего типа
 1 – грунтогравийное покрытие,
 $h = 100 - 170$ мм;
 2 – грунт земляного полотна по предварительному расчету.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

**Общество с ограниченной ответственностью Торговый Дом
«Урало-Сибирская Компания»**
620076, Свердловская область, г. Екатеринбург, пл. Жуковского, д.8
ОГРН 1106672016450, ИНН 6672323476, КПП 667901001
Тел./факс: (343) 237-25-28 e-mail: dorekt16@mail.ru

Исх. № 132-2 от 30.08 2021г.
На № _____ от _____ 2021 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ООО ТД

«Урало-Сибирская компания»

2021г.

А.А. Кунгуров



АКТ

внедрения методик совершенствования технологий
строительства лесовозных дорог из некондиционных
щебеночных материалов

Установлено, что при строительстве лесовозных автомобильных дорог необходимо учитывать рост числа контактов каменного материала, при его уплотнении. Методика, алгоритмы и программное обеспечение строительства щебеночных дорожных одежд из некондиционных местных материалов, на автомобильных дорогах предприятий лесопромышленного комплекса Свердловской области и Северного Урала, разработанные старшим преподавателем Шакирзяновым Д.И. и научным руководителем профессором Кручининым И.Н., включающее расчетно-экспериментальные модели строительства лесовозных дорог; основы взаимодействия виброционных катков с местными каменными материалами, лабораторный подбор зернового состава щебеночных материалов для конструктивных слоев дорожных одежд, создания программного комплекса по оценке строительных решений и разработки технологии строительства щебеночных покрытий лесовозных дорог используется в ООО ТД «УСК» (Свердловской области) с 2020 г. для расчета технико-экономических показателей обоснования проектных решений транспортной инфраструктуры инвестпроекта «Открытие нового лесоперерабатывающего производства в п. Лобва Новолялинского городского округа».

В результате внедрения получено снижение себестоимости при строительстве щебеночных покрытий лесовозных дорог из местных некондиционных материалов на 15 – 20 %.

Начальник ПТО

О.Г. Полухина

Соискатель УГЛТУ

Д.И. Шакирзянов

РЕКОМЕНДОВАНО:

Методической комиссии Инженерно-технического института
 Протокол № 01 от 23 09 2021 г.
 Председатель А.А. Чижов/



«УТВЕРЖДАЮ»

ВРИО ректора УГЛТУ

Осовских А.Н.

05 2021 г.

АКТ

о внедрении в учебный процесс на кафедре Транспорта и дорожного строительства Инженерно-Технического Института по проблеме «Совершенствование технологии строительства лесовозных дорог из некондиционных щебеночных материалов».

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** — Шакирзянов Дмитрий Игоревич

4. **Наименование разделов темы, выполненных соискателем:**

Оценка структуры и особенностей технологических процессов строительства лесовозных дорог из некондиционных щебеночных материалов; разработка методик и математической модели строительства лесовозных дорог с покрытиями из некондиционных щебеночных материалов, построенных на основе теории нечетких множеств и нечетких нейронных сетей, отличающиеся учетом неопределенности физико-механических характеристик некондиционных щебеночных материалов; разработка методик оценки прочностных свойств щебеночных покрытий лесовозных дорог, отличающиеся учетом зернового состава и степени уплотнения некондиционных щебеночных материалов, обеспечивающие увеличение прочностных качеств дорожных покрытий; реализация путей повышения технологической эффективности строительства лесовозных дорог с покрытиями из некондиционных щебеночных материалов, отличающиеся учетом функционально-технологических параметров вибрационных катков и совмещения операций по уплотнению и измельчению каменного материала, позволяющие повысить качество строительства лесовозных дорог.

5. **Краткое описание результатов внедрения, конечный результат.**

Разработаны теоретические основы строительства лесовозных дорог с покрытиями из некондиционных щебеночных материалов и технологии строительства лесовозных дорог с покрытиями из местных некондиционных

щебеночных материалов в условиях Свердловской области и Северного Урала.

6. **Внедрение по курсу дисциплин:** «Строительство лесных автомобильных дорог», «Машины для строительства и содержания лесной и транспортной инфраструктуры», «Основы организации и управления в строительстве лесных автомобильных дорог», «Лесотранспорт как система ВАДС».

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 восьми научных работах, из них трех в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, одного патента РФ на полезную модель, одной работы в базе данных Scopus.

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)

УТВЕРЖДАЮ
Декан Технологического
факультета



М. А. Засовская

«*апреля*» 2021

А К Т

о внедрении в учебный процесс по кафедре
Технологии и транспортно-технологических машин
Ухтинского государственного технического университета
разработок по проблеме
«Совершенствование технологии строительства лесовозных дорог
из некондиционных щебеночных материалов».

1. Выполненный кафедрой Технологии и транспортно-технологических машин Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ухтинский государственный технический университет».

2. Ответственные исполнители – профессор кафедры Технологии и транспортно-технологических машин, доктор технических наук, Бурмистрова Ольга Николаевна; заведующий кафедрой Технологии и транспортно-технологических машин, доцент, кандидат технических наук, Михайленко Екатерина Викторовна.

3. Соискатель – старший преподаватель Шакирзянов Д. И.

4. Наименование разделов темы, выполненных соискателем: совершенствование технологии строительства щебеночных покрытий при строительстве лесовозных дорог; разработка рекомендаций на выполнение работ по устройству щебеночных покрытий лесовозных дорог; технология устройства дорожных одежд лесовозных дорог из щебеночных материалов.

5. Краткое описание результатов внедрения, конечный результат:

Разработана математическая модель строительства лесовозных дорог с покрытиями из некондиционных щебеночных материалов, построенная на основе теории нечетких множеств и нейронечеткой сети, с учетом неопределенности физико-механических свойств материалов;

Авторами получено патент на полезную модель: «Валец дорожного катка».

6. Внедрение по курсу дисциплины: «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 некондиционных щебеночных материалов.

8. Рекомендации – результаты исследований использовались в курсовом и дипломном проектировании выпускающей кафедры Технологии и транспортно-технологических машин.

9. Эффект от внедрения – результаты исследований опубликованы в восьми научных статьях, из них три в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Состав комиссии:

Профессор кафедры Технологии и транспортно-технологических машин, доктор технических наук

О. Н. Бурмистрова

Заведующий кафедрой Технологии и транспортно-технологических машин, доцент, кандидат технических наук

Е. В. Михайленко

Доцент кафедры Технологии и транспортно-технологических машин, канд. техн. наук

Р. С. Тимохов

Доцент кафедры Технологии и транспортно-технологических машин, канд. техн. наук

Ю. М. Чемшикова