



И. Н. Кручинин

И. Н. Кручинин

**ТРАНСПОРТНАЯ
ИНФРАСТРУКТУРА
ЛЕСОВ**

ТРАНСПОРТНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ЛЕСОВ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»
(УГЛТУ)

И. Н. Кручинин

**ТРАНСПОРТНАЯ
ИНФРАСТРУКТУРА
ЛЕСОВ**

Учебное пособие

Екатеринбург
2022

УДК 630.7/8.004(075.8)

ББК 43.904:39.311я73

К84

Рецензенты:

кафедра технологии и транспортно-технологических машин
ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»;
д-р техн. наук, профессор *О. Н. Бурмистрова*;

А. М. Бургонутдинов, почетный строитель России д-р техн. наук;
кафедра «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального
исследовательского политехнического университета

Кручинин, И. Н.

К84 Транспортная инфраструктура лесов : учебное пособие / И. Н. Кручинин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. – 134 с.

ISBN 978-5-94984-827-2

Рассмотрены основные принципы строительства и эксплуатации временных и постоянных лесных дорог Уральского региона и технологические возможности используемых для этого строительного-дорожных машин и оборудования.

Пособие предназначено для научных сотрудников, специалистов в области лесозаготовительных производств, а также аспирантов, магистрантов и бакалавров, обучающихся по направлениям 35.03.02 (35.04.02) «Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств» и 08.03.01 (08.04.01) «Строительство».

Издается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 630.7/8.004(075.8)

ББК 43.904:39.311я73

ISBN 978-5-94984-827-2

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2022

© Кручинин И. Н., 2022

Оглавление

Введение	5
Глава 1. Лесные лесовозные дороги	6
1.1. Краткие сведения о лесных дорогах	6
1.2. Природно-климатические условия расположения транспортной инфраструктуры лесов Свердловской области	16
Глава 2. Лесные лесовозные дороги временного действия	18
2.1. Краткие сведения о зимних лесных лесовозных дорогах	18
2.2. Особенности строительства зимних лесовозных дорог...	23
2.3. Основные требования к транспортно-эксплуатацион- ному состоянию лесных лесовозных дорог в зимний период	38
2.4. Нормирование толщины уплотненных снежно-ледяных отложений на проезжей части лесных лесовозных дорог	42
2.5. Ледяные отложения на проезжей части лесных лесовозных дорог	47
Глава 3. Методы организации зимнего содержания лесных лесовозных дорог	54
3.1. Виды зимнего содержания лесных лесовозных дорог	54
3.2. Материалы для борьбы с зимней скользкостью на лесных лесовозных дорогах	58
3.2.1. Виды используемых противогололедных материалов	58
3.2.2. Хранение и приготовление противогололедных материалов	61
3.2.3. Особенности применения противогололедных материалов	62
3.2.4. Общий принцип расчета количества распределителей противогололедных материалов	67
3.3. Организация и технология патрульной очистки лесовозных дорог от снега	71
3.4. Организация и технология защиты лесных дорог от снегоотложений	73

Глава 4. Машины для зимнего содержания лесных лесовозных дорог	
4.1. Снегоочистители	85
4.2. Машины для борьбы с зимней скользкостью	85
Глава 5. Лесные лесовозные дороги постоянного действия	92
5.1. Краткие сведения о лесных лесовозных дорогах с дорожными одеждами переходного типа	94
5.2. Технологии строительства лесных лесовозных дорог	100
Контрольные вопросы к зачету	121
Библиографический список	123
Приложение	125

Введение

Основой транспортной инфраструктуры лесов являются лесные дороги. Лесные автомобильные дороги служат основным технологическим элементом лесотранспортного производства. Все лесные автомобильные дороги в зависимости от срока их эксплуатации подразделяются на постоянные и временные. Наличие сезонности в Уральском регионе привело к тому, что по временным лесовозным дорогам вывозится более 80 % всей заготовленной древесины. В то же время недостаточная изученность лесотранспортных путей создает трудности как при их строительстве, так и при эксплуатации.

Учебное пособие написано на основе обобщенного опыта, полученного при проведении работ по строительству и эксплуатации временных и постоянно действующих лесовозных автомобильных дорог в условиях Уральского региона, и предназначено для научных сотрудников, специалистов в области лесозаготовительных производств, а также всех обучающихся вузов по направлениям 35.03.02 (35.04.02, 35.06.01) «Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств» и 08.03.01 (08.04.01, 08.05.01, 08.06.01) «Строительство».

Глава 1

ЛЕСНЫЕ ЛЕСОВОЗНЫЕ ДОРОГИ

1.1. Краткие сведения о лесных дорогах

Лесные автомобильные дороги являются основным технологическим элементом строительного производства. Лесные лесовозные дороги сооружают для перевозки древесины и других грузов, осуществляемой лесозаготовительными предприятиями при разработке арендуемых ими лесных массивов. Требования, предъявляемые к лесовозным дорогам и сетям, сформулированы в исследованиях В. И. Алябьева, Н. П. Вырко, Б. А. Ильина, И. И. Леоновича, Э. О. Салминена и др. [1], [5], [9], [11], [13]. В этих работах рассмотрены основные принципы функционирования транспортно-производственных систем лесного комплекса и разработаны мероприятия по повышению транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог [14], [15].

Лесовозные дороги подразделяют на магистральные дороги, ветки и усы. Сеть лесовозных дорог в лесном массиве трехступенчатая: магистраль – ветки – усы (рис. 1.1). Автодороги в зависимости от их свойств делятся на постоянные (со сроком действия свыше 15 лет) и временные (время действия до 5 лет) [17].

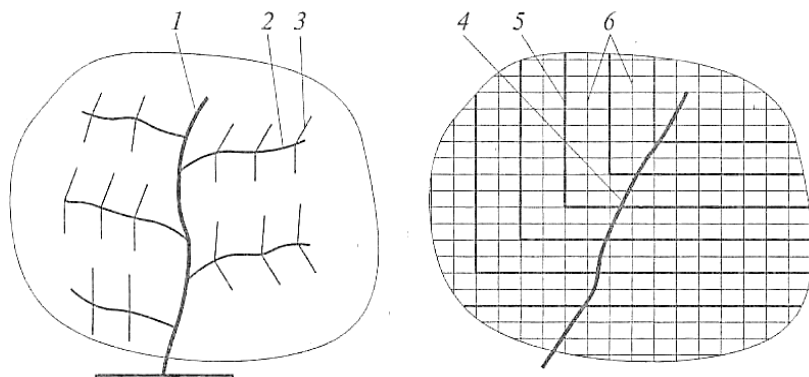


Рис. 1.1. Принципиальные схемы размещения лесных дорог (по Б. А. Ильину):

- 1 – магистраль; 2 – ветки; 3 – усы; 4 – подъездная дорога I типа;
- 5 – дороги II типа; 6 – дороги III типа и квартальные просеки

К постоянным дорогам относятся все магистральные дороги, соединяющие лесной массив с нижним лесным складом, и ветки, примыкающие к магистралям и обеспечивающие освоение лесного массива.

К временным дорогам относятся действующие до 5 лет ветки, лесовозные усы и лесные дороги для обслуживания лесхозов. Они примыкают к магистралям или веткам и могут служить для вывозки леса с одной или нескольких лесосек. Магистральные дороги действуют в течение всего срока работы предприятия или до полного освоения отдельного лесного массива [23].

Ветки действуют в течение нескольких лет, усы как правило, до одного года. Согласно отраслевым нормам [17], [19] автомобильные дороги лесных предприятий создают систему, включающую в себя:

- внешние лесные автомобильные дороги (подъездные дороги), примыкающие к лесным предприятиям, осуществляющим лесозаготовительную деятельность по дорогам общего пользования;

- иные лесные автомобильные дороги, соединяющие лесоучастки и арендованные территории, на которых могут осуществляться заготовка древесины и другие виды хозяйственной деятельности. Эти дороги по своему значению относятся к магистральным, внутриплощадочным и внутризаводским путям [23].

Лесные кварталы, леса и лесничества различаются по категориям транспортной доступности.

Как показано в работе [11], основными эксплуатационными показателями являются грузооборот дороги, грузовая работа, среднее расстояние вывозки, средневзвешенный пробег подвижного состава.

По объемам транспортной работы лесные лесовозные автомобильные дороги подразделяют на дороги:

I а – грузонапряженностью менее 1000 тыс. т нетто/год;

II а – грузонапряженностью более 1000 тыс. т нетто/год.

Лесные дороги относят к дорогам промышленного транспорта, прокладываемым по лесным массивам и от лесных массивов к дорогам общей сети, а также к производственным цехам лесопромышленных предприятий. Лесные дороги включают в себя лесохозяйственные дороги.

Назначение лесохозяйственных дорог – это обеспечение работ по лесовосстановлению, уходу, охране лесов от пожаров, от вредителей леса и проведение других лесохозяйственных мероприятий. Лесохозяйственные дороги подразделяются на дороги:

А I – объединяющие дороги низших типов в единую транспортную сеть магистральных дорог;

Б II – дороги для освоения отдельных лесных массивов и проведения лесохозяйственных мероприятий; они также имеют выход на магистральные дороги и дороги соединяющие подразделения лесохозяйственных предприятий. Классификация лесохозяйственных дорог приведена в табл. 1.1 [19].

Таблица 1.1

Классификация лесохозяйственных дорог
(по СП 37.133330.2012)

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

Транспортная инфраструктура Свердловской области насчитывает более 56 000 км лесовозных дорог, из них лесовозных дорог круглогодического действия около 25 000 км. Подавляющее большинство из них являются бесхозными и эксплуатируются эпизодически, только при освоении прилегающих лесных участков.

Протяженность лесовозных дорог с усовершенствованным типом покрытия (т.е. без временных транспортных путей, таких, как лесовозные усы, ветки сроком действия до двух лет и зимников) в настоящее время составляет от 80 до 571 км.

Функционирование лесотранспортной инфраструктуры неотделимо от автомобильных дорог общего пользования. Данные об интенсивности движения транспортного потока для Свердловской области, по материалам обследования, проведенного нашим ГКУ СО «Управление автомобильных дорог», показали, что доля лесовозного автотранспорта в общем составе грузопотока может достигать 60 %.

Интересна вообще структура среднего расстояния вывозки древесины по автомобильным дорогам различной ведомственной принадлежности. Доля лесовозных дорог, по которым перемещаются лесные грузы, составляет 33,2 %, по дорогам общего пользования федерального значения – 20,8 %, а по дорогам регионального значения – 46 % [23].

Современные нормативные документы устанавливают новые принципы классификации автомобильных дорог. Так, лесотранспортная инфраструктура включена в раздел ведомственных и частных автомобильных дорог необщего пользования. Из материалов областной статистики о дорожной сети автомобильных дорог Свердловской области следует, что почти 20 000 км ведомственных дорог, или 2,5 000 км, относится к категории лесовозных дорог [23]. Именно лесовозные дороги имеют наибольшую грузонапряженность и интенсивность движения.

Основные правила, предъявляемые к автомобильным дорогам, проходящим по территориям лесного фонда Российской Федерации, приведены в СП [17].

По назначению лесные дороги подразделяют на лесовозные и лесохозяйственные. Лесовозные лесные 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). Лесовозные лесные дороги строят в эксплуатирующихся лесах.

По срокам действия выделяют лесовозные лесные дороги постоянного действия и временные. Лесовозные лесные дороги постоянного действия являются объектами капитального строительства и подразделяются на грузосборочные (лесовозные магистрали), лесовозные ветки (ответвления от лесовозной магистрали) и лесовозные усы – ответвления от лесовозных веток (см. рис. 1.1). Временные лесные дороги не являются объектами капитального строительства и создаются без разработки проекта, соответствующего требованиям настоящего свода правил и правил

заготовки древесины [17]. Временные лесные дороги подразделяются на лесные дороги летнего действия и зимнего (зимники).

В зависимости от конструкции проезжей части летние лесные дороги бывают следующих типов:

- колейные;
- гравийные или из местного грунта, улучшенного добавками;
- грунтовые.

Колейные покрытия могут быть сборно-разборными, из деревянных щитов, полимерных композиционных материалов или железобетонных плит. Области применения различных типов летних временных лесных дорог приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Области применения различных типов
летних временных лесных дорог

Типы дорог	Область применения
Колейные из железобетонных плит или плит из стеклопластика	В лесосеках типа местности III, на заболоченных грунтах и болотах типов I и II, при вывозке автопоездами с осевой нагрузкой свыше 12 т
Гравийные на хворостяной выстилке	В лесосеках типа местности II и III при наличии песчано-гравийных материалов в радиусе до 5 км для автопоездов с осевой нагрузкой свыше 12 т
Из местного грунта, улучшенного добавками	В лесосеках типа местности III при отсутствии песчано-гравийных материалов и при наличии глинистых грунтов или мелкозернистых песков с расстоянием подвозки до 5 км при вывозке автопоездами с осевой нагрузкой до 12 т
Грунтовые	В лесосеках типов местности I и II при благоприятных грунтово-гидрологических условиях при вывозке автопоездами с осевой нагрузкой до 12 т

Лесохозяйственные лесные дороги предназначены для доставки людей, лесохозяйственной и специальной техники и грузов к местам производств работ и лесным пожарам, а также для патрулирования лесных массивов. Лесохозяйственные лесные дороги строят в защитных и резервных лесах и не используют для вывозки древесины. Категории лесных дорог приведены в табл. 1.3 [17].

Таблица 1.3

Классификация лесных дорог (по СП 288.1325800.2016)

Функциональное назначение	Грузооборот, млн т нетто/год	Категория (тип)
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 низшей категории	Менее 0,14	IIIл
Лесные дороги, предназначенные: - для доставки сельскохозяйственной и специальной техники и грузов к местам производства работ и лесным пожарам; - для осуществления рекреационной деятельности; - для вывозки лесохимического сырья; - для подъезда к лесопитомникам; - для подъезда к кордонам и егерским участкам, а также для патрулирования	Без определенного грузооборота	IVл

Поперечные профили лесных дорог с колейным покрытием из деревянных щитов для болот типов I и II показаны на рис. 1.2 и 1.3.

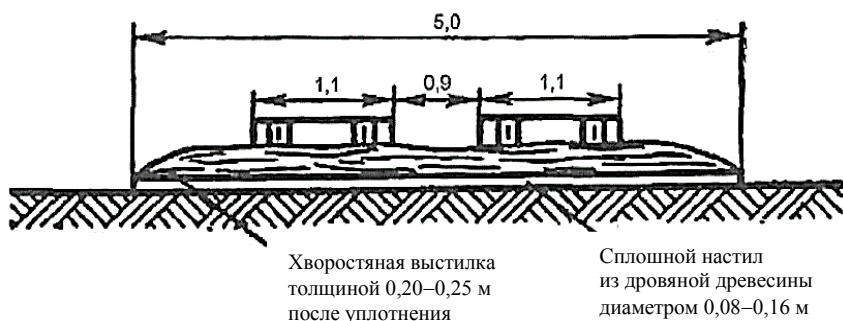


Рис. 1.2. Поперечные профили лесных дорог с колейным типом покрытия

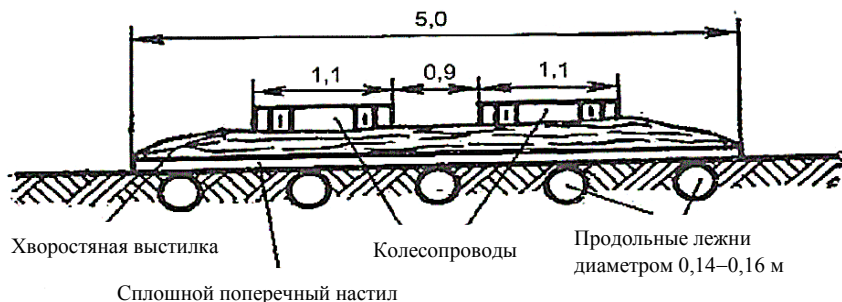


Рис. 1.3. Поперечные профили лесных дорог на болотах с колеевым типом покрытия

Строительство лесных дорог с гравийным покрытием рекомендуется осуществлять в местах, где имеются гравийные карьеры на расстоянии не более 5 км от места строительства дорог. При большем расстоянии доставки гравийного материала необходимо провести расчеты экономической целесообразности строительства дорог с гравийным покрытием.

Земляное полотно дорог с гравийным покрытием на сырых участках местности с необеспеченным отводом поверхностных вод и на неглубоких болотах типа I сооружают на уплотненной хворостяной выстилке или с применением композиционных или геотекстильных материалов. Выбор материала и технологии строительства с его применением осуществляют на основании инструкции изготовителя с предварительным обоснованием экономической целесообразности строительства.

Поперечный профиль дороги, рекомендуемый к применению на сырых участках местности с необеспеченным отводом поверхностных вод при поперечном уклоне местности более 1:25, изображен на рис. 1.4.

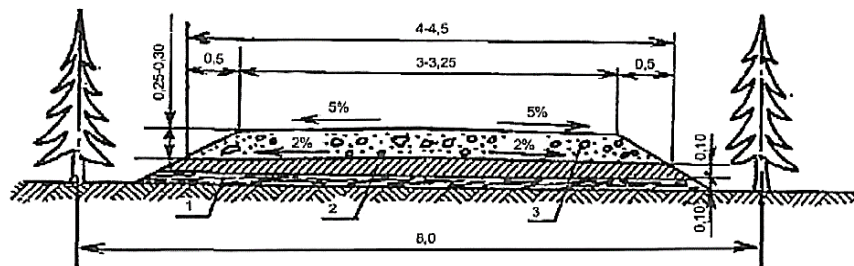


Рис. 1.4. Поперечные профили лесных дорог с гравийным типом покрытия:
1 – хворостяная выстилка; 2 – земляное полотно; 3 – гравийное покрытие

На лесных дорогах, предназначенных для вывозки заготовленной древесины, основным транспортным средством являются лесовозные автопоезда, составляющие до 80 % интенсивности движения. Кроме того, по лесной дороге осуществляются перевозка технических грузов, преимущественно лесозаготовительной техники, и доставка рабочих к местам работ.

Следует отметить и исключительные противопожарные функции лесных дорог, которые необходимо учитывать. Также о сложности проблемы говорит и сложившаяся ситуация, когда в мировой практике лесными дорогами стали заниматься департаменты как дорожного строительства, так и сельского хозяйства [23].

Велика социальная значимость лесных дорог для населения лесных поселков, так как участки лесовозных дорог являются единственной транспортной дорогой, по которой осуществляется связь людей с внешним миром. Эти дороги следует отнести к автомобильным дорогам иных образований (дороги местного значения) общего пользования [11]. Возможность появления этого вида дорог возникла из-за вступления в действие законодательных актов в сфере разграничения полномочий между органами государственной власти и местного самоуправления.

Следует обратить внимание на СП 243.1326000.2015 [16]. Настоящий свод правил устанавливает 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 [11], [16].

В соответствии с программой развития дорожной сети Свердловской области отдельные направления ведомственных дорог, имеющие значение для народнохозяйственных перевозок при развитии территории, подлежат переводу в категорию территориальных или даже федеральных.

К сожалению, проблемы расширения сети федеральных и территориальных дорог в настоящее время никак не решаются.

До 2019 г. в Свердловской области ежегодно переводилось в категорию федерального, регионального или муниципального значения из числа ведомственных не более 100 км дорог (из них доля лесных дорог составляет около 20 %).

Процесс передачи дорог, находящихся в ведении различных ведомств и предприятий, сдерживают следующие причины: неудовлетворительное техническое состояние ведомственных автомобильных дорог (практически всех их элементов), дефицит финансовых ресурсов, выделяемых на развитие транспортной инфраструктуры области [11].

В Приложении представлены основные характеристики лесотранспортной инфраструктуры Свердловской области.

На территории Свердловской области действуют 7 инвестиционных проектов в области освоения лесов. Общий объем разрешенного использования запаса древесины по инвестиционным проектам примерно равен 2 млн м³ на площади до 2 млн га, с объемом инвестиций порядка 4,6 млрд рублей.

Общий запас древесного сырья на землях лесного фонда Свердловской области по состоянию на 1 января 2019 года составлял 1983,88 млн м³ [11], [22].

При планировании транспортной инфраструктуры необходимо учитывать, что 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, водоохраных, защитных и иных полезных свойств лесов по всем видам рубок лесов Свердловской области, составляет до 24,8 млн м³ (1,3 % от общего запаса древесины) [23].

Зоны планируемого использования лесов показаны на карте-схеме для различных видов их использования с дифференциацией по интенсивности освоения (рис. 1.5).

Освоение подобных территорий невозможно без планомерного развития транспортной инфраструктуры. На эту же цель ориентирована и Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года [22], [23] в рамках развития и обновления транспортной системы РФ.

По Свердловской области, согласно оценкам экспертов, дорожная сеть лесовозных дорог должна увеличиваться на 600 – 800 км в год.

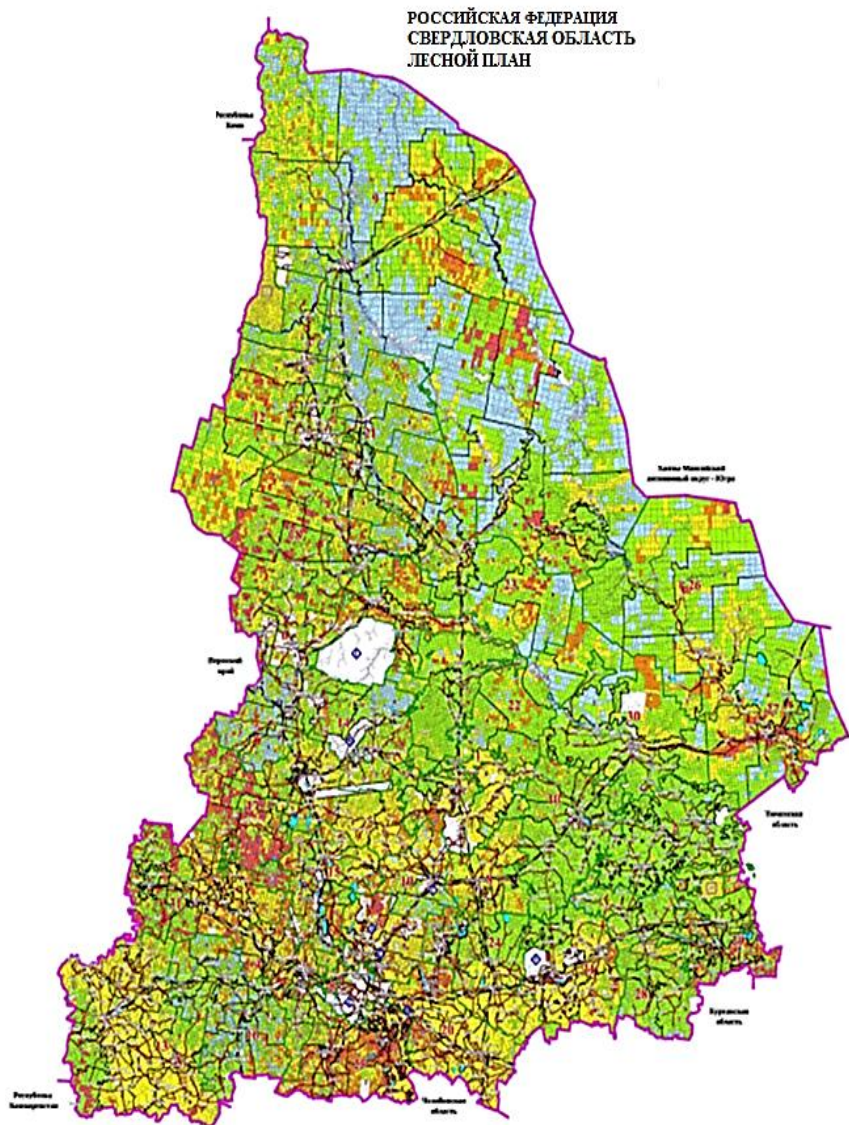


Рис. 1.5. Карта-схема зон планируемого освоения лесов для различных видов их использования с дифференциацией по интенсивности освоения (по материалам Лесного плана Свердловской области на 2019–2028 годы)

1.2. Природно-климатические условия расположения транспортной инфраструктуры лесов Свердловской области

В Российской Федерации имеются 5 дорожно-климатических зон. Принцип зонального разделения основан на выделении характерных участков, которые удовлетворяют требованиям к проведению строительных работ, работ по строительству лесовозных автомобильных дорог, при условии оценки однородности климата, промерзания грунтов на одной и той же глубине, наличия подземных вод (рис. 1.6).

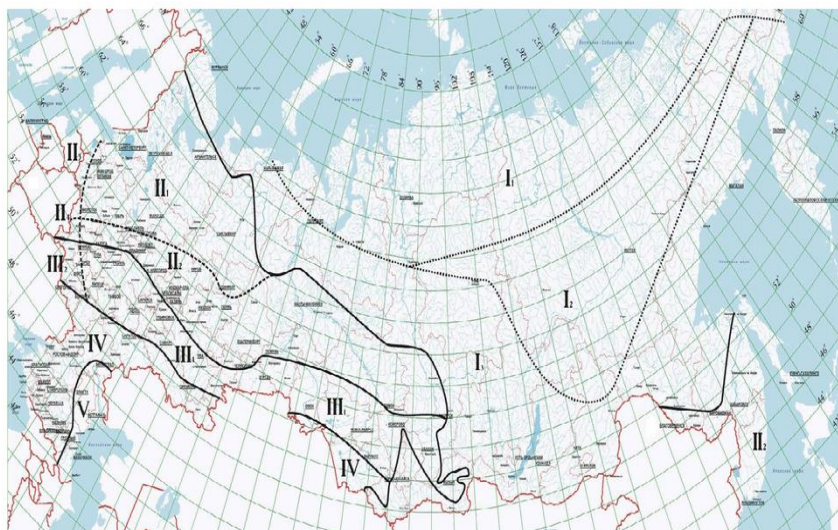


Рис. 1.6. Карта дорожно-климатического районирования зон Российской Федерации

Зимнее морозное пучение или деформация дорожной конструкции, проявляющиеся в зимний период года в виде взбухания и потери устойчивости покрытия, напрямую зависят от глубины промерзания грунтов. Для Свердловской и Челябинской областей нормативная величина промерзания грунта представлена в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Величина нормативной глубины промерзания грунта

Ближайшие населенные пункты	Суглинки и глины, м	Песок мелкий, супесь, м	Песок крупный, гравелистый	Крупно-обломочные грунты
Екатеринбург	1,53	1,86	1,99	2,26
Челябинск	1,63	1,98	2,12	2,4
Нязепетровск	1,64	2	2,14	2,43
Ивдель	1,85	2,26	2,42	2,74

Вся территория лесов Свердловской области характеризуется сезонным промерзанием грунтов. Для достижения эксплуатационной надежности лесовозных дорог в течение всего жизненного цикла необходимо устранить морозное пучение, а это значит увеличить долговечность дорожной конструкции. При расчете толщины морозозащитного слоя необходимо выполнять расчет термического сопротивления дорожной конструкции постоянно действующих лесовозных дорог.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение транспортной инфраструктуры лесов.
2. Какие существуют лесные дороги?
3. Какие существуют типы лесовозных дорог?
4. Перечислите основные виды структур лесотранспортного процесса.
5. Какие транспортные схемы вывозки древесины используют в лесной промышленности?
6. Перечислите основные измерители лесовозных сетей.

Глава 2 ЛЕСНЫЕ ЛЕСОВОЗНЫЕ ДОРОГИ ВРЕМЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

2.1. Краткие сведения о зимних лесных лесовозных дорогах

Как было показано в главе 1, помимо временных дорог летнего действия в Уральском регионе активно используются временные дороги зимнего действия. Зимние лесовозные дороги строят из снега, их строительство подробно рассмотрено в работах А. К. Дюнина, Ф. А. Павлова, С. И. Морозова и др. [1], [8], [9], [13], [14].

В Свердловской области устойчивая и продолжительная зима создает благоприятные условия для развития зимнего транспорта леса. В настоящее время лесозаготовительные предприятия Уральского региона строят и эксплуатируют в основном только бесколейные зимние транспортные сооружения. При строительстве зимников руководствуются следующими соображениями (табл. 2.1):

- для вывозки лесоматериалов при крайне незначительном грузообороте это снежные наезженные дороги – простейшие зимники;
- снежноуплотненные дороги создаются на спланированном земляном основании (снежные улучшенные);
- снежно-ледяные дороги создаются путем периодической поливки и тепловой обработки снежных дорог.

Проектирование зимних дорог в условиях Свердловской области проводится по нормам для дорог летнего действия [19], но с учетом некоторых особенностей. На снежно-ледяных дорогах руководящий подъем должен быть не более 30 %, а при использовании многокомплектных автопоездов не более 15–20 %. Зимние дороги проектируются, как правило, двухполосными, лесовозные усы – однополосные [11]. Полоса отвода назначается для двухполосных дорог от 12 до 14 м, для однополосных – 8 м, на лесовозных усах – 6 м.

Насыпи и выемки проектируют обычно на участках грузового направления. В основном зимние дороги устраиваются в нулевых отметках без боковых и нагорных канав. На заболоченных участках с толщиной торфа 2 м и более устраивается поперечный настил из дровяного долготья длиной от 5 до 6 м, диаметром от 10 до 16 см.

Таблица 2.1

Виды зимних лесовозных автомобильных дорог
в условиях Уральского региона

Наименование дороги	Дорожные работы	Характер формирования	Условия применения
Простейший зимник	Проминка гусеничными тракторами	Уплотненный слой снежного наката, $\rho = 0,5-0,65 \text{ г/см}^3$	Лесовозные волоки, лесовозные усы
Снежные улучшенные (уплотненные)	Расчистка и укатка снега	Уплотненный слой снежного наката, $\rho = 0,5-0,65 \text{ г/см}^3$	Лесовозные магистрали с грузонапряженностью менее 100 тыс. т нетто/год
Снежно-ледяные бесколейные (поливные)	Расчистка, укатка снега и поливка	Уплотненный слой снежного или снежно-ледяного наката, $\rho = 0,65-0,75 \text{ г/см}^3$	Лесовозные магистрали с грузонапряженностью более 100 тыс. т нетто/год

Водопропускные сооружения устраиваются лишь в случаях пересечения лесовозной дорогой постоянных водотоков или длительно незамерзающих потоков с быстрым течением воды.

По климатическим условиям территория Уральского региона вполне подходит для применения ледяных дорог. Для таких дорог наиболее благоприятны умеренные морозы, отсутствие затяжных оттепелей и метелей. Высокая температура воздуха (оттепели) разрушающе действует на проезжую часть. В то же время недостаточное количество снега способствует промерзанию болот, затрудняет и удорожает устройство ледяных дорог (повышенный расход воды) [11].

Одним из способов увеличения сроков эксплуатации автозимников служит применение снежно-ледяных и ледяных покрытий. Ледяные дороги строят за счет поливки проезжей части дороги водой поливочными машинами. Пик их строительства пришелся на середину прошлого века. Большой вклад в развитие теории строительства ледяных дорог и ледовых переправ внес С. И. Морозов [13].

На снежно-ледяных дорогах снег в течение зимы по мере его выпадения не убирают, а уплотняют (за исключением снега, выпавшего во время метелей) и поливают водой. К концу зимы толщина снежно-ледяного покрова достигает 0,5 м. Это позволяет удлинить сроки эксплуатации на 8–15 дней по сравнению со снежнуплотненными дорогами.

Конструкции поперечного профиля зимних дорог

При устройстве основания зимней дороги на участках типа местности III с постоянным избыточным увлажнением проводят корчевку пней, планировку поверхности, устройство насыпей и выемок.

Земляное полотно грузовой и порожняковой полос проектируют по возможности в нулевых отметках, за исключением снегозаносимых участков, на которых полотно следует проектировать в насыпях высотой не менее расчетной толщины снежного покрова, но не менее 0,6 м. На рис. 2.1 показана конструкция поперечного профиля в насыпи из снега.

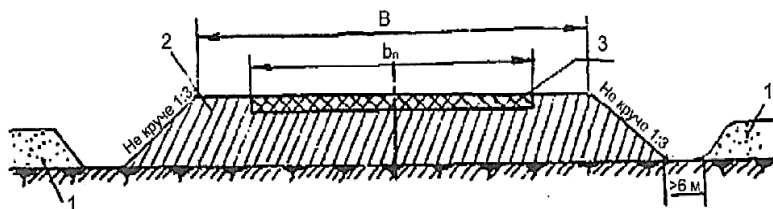


Рис. 2.1. Конструкция поперечного профиля в насыпи из снега:
 1 – существующий снежный покров; 2 – насыпь из уплотненного снега;
 3 – ледяное полотно; B – ширина снежного покрова;
 b_n – ширина проезжей части, равная 3,5 м

На рис. 2.2 изображен поперечный профиль двухпутного зимника в нулевых отметках, на рис. 2.3 – зимника с устройством насыпи, на рис. 2.4 – зимника в выемке. На рис. 2.5 изображен поперечный профиль порожняковой зимней и грузовой летней дорог в одной просеке.

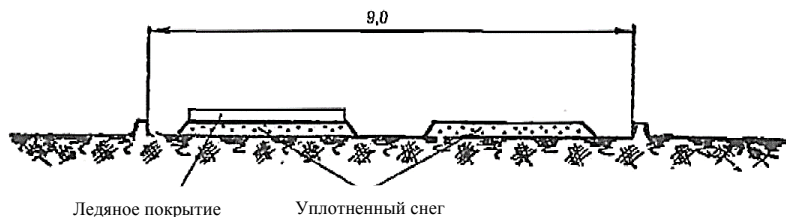


Рис. 2.2. Двухпутный зимник

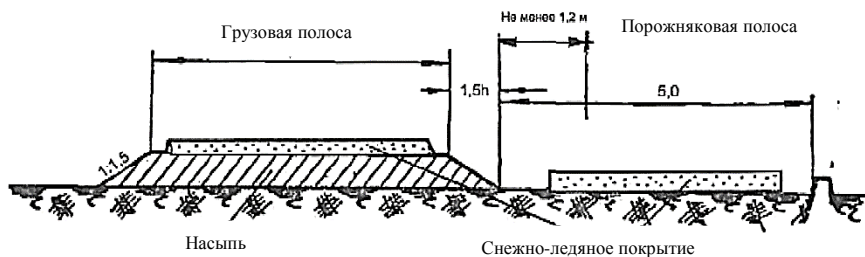


Рис. 2.3. Поперечный профиль зимника с устройством насыпи

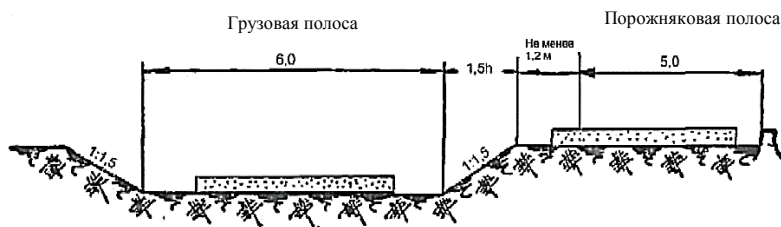


Рис. 2.4. Поперечный профиль зимника с устройством в выемке:
h – высота порожняковой полосы

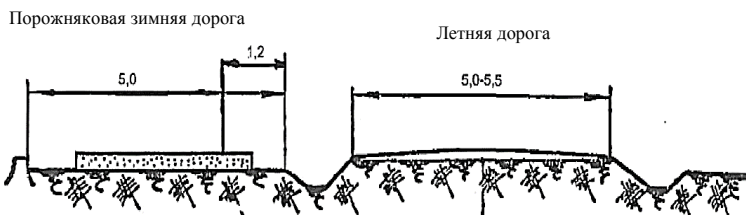


Рис. 2.5. Поперечный профиль порожняковой зимней и грузовой летней дорог в одной просеке

Устройство зимних дорог на болотах проводят с учетом глубины болота, свойства торфа и его промерзаемости без выторфовывания.

По условиям устойчивости консистенции болота применяют классификацию болот по трем типам:

- тип I – сплошь заполненные торфом устойчивой консистенции, подстилаемые достаточно плотными минеральными грунтами;
- тип II – заполненные торфом неустойчивой консистенции, подстилаемые органическими или полуорганическими илами (сапропелями);

- тип III – заполненные жидким торфом с плавающей торфяной корой (сплавной).

При устройстве зимних дорог на хорошо промерзающих болотах типа I при толщине торфа до 1,0 м устраивают хворостяную выстилку, которую уплотняют продольными ходами трактора (3–4 раза). Толщина слоя хворостяной выстилки после ее уплотнения должна составлять 0,2–0,3 м. На хорошо промерзающих болотах, болотах типа II при толщине торфа от 1 до 2 м укладывают продольные лаги через 0,5 м, а по ним устраивают хворостяную выстилку, которая также уплотняется. На медленно промерзающих болотах при толщине торфа более 2 м укладывают продольные лаги, а по ним устраивают сплошной настил (слань) из тонкомерных бревен. С наступлением морозов в целях ускорения промерзания и пуска в эксплуатацию зимней дороги проводят проминку подготовленного основания, которая продолжается до образования промерзшего слоя, выдерживающего прохождение транспортной техники. Проминку осуществляют гусеничными или колесными тракторами, работающими с прицепными катками.

Поперечный профиль зимней дороги на болотах при толщине торфа до 1 м изображен на рис. 2.6. На рис. 2.7 изображен поперечный профиль зимней дороги, проложенной по болоту с толщиной торфа свыше 2 м.

Ширину просеки при устройстве зимних дорог устанавливают:

- при устройстве грузового и порожнякового путей в одной просеке – 14 м;
- при устройстве грузового и порожнякового путей в разных просеках для грузового пути – 8 м, для порожнякового – 6,0 м.

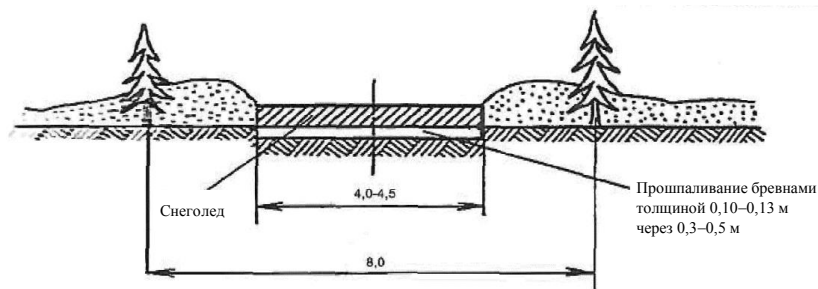


Рис. 2.6. Поперечный профиль зимника на болотах при толщине торфа до 1 м

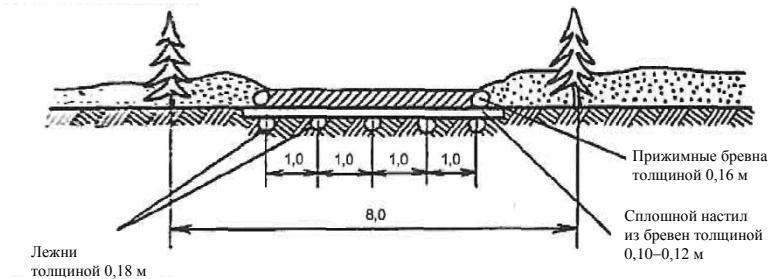


Рис. 2.7. Поперечный профиль зимней дороги, проложенной по болоту с толщиной торфа свыше 2 м

2.2. Особенности строительства зимних лесовозных дорог

Вопросы строительства зимних лесовозных дорог тесно связаны с оценкой физико-механических свойств снежной поверхности. Снег и снежный покров рассматриваются как дорожно-строительный материал, обладающий набором эксплуатационных характеристик.

Зимние осадки, которые выпадают в виде снега, метелей, инея и др., составляют до 25 % от общего количества годовых осадков. Эти твердые осадки накапливаются слой за слоем и образуют снежный покров. Прирост снежного покрова, вызванный снегопадами, может изменяться от 0,02 до 0,25 м за сутки.

Как показано в работе [11], в условиях леса накопление высоты снежного покрова имеет свои особенности: кроны деревьев оказывают интенсивное воздействие на перераспределение выпадающего снега; да и толщина снежного покрова изменяется в зависимости от состава древостоя [11].

В табл. 2.2 представлены данные по высоте снежного покрова и запасам снеговой воды в зависимости от состава древесных насаждений. Наибольшее количество снеговой воды и большая высота снежного покрова наблюдаются в березовых насаждениях и на полянах. Следовательно, строительство и эксплуатация лесных лесовозных автомобильных дорог в зимний период имеет ряд особенностей, в частности, необходимо учитывать породный состав древостоев.

Таблица 2.2

Высота снежного покрова и запас снеговой воды
в процентах от общего количества осадков

Место наблюдений	Высота снежного покрова		Запас зимней влаги	
	см	%	мм	%
Поле	42,3	80	107,4	82
Поляна	58,1	100	131,0	100
Березняк	51,3	97	120,6	92
Сосняк	46,1	87	99,4	76
Ельник	35,4	67	77,9	60

Плотность снега является основной классификационной характеристикой снежного покрова. От этого параметра зависят пористость снежного покрова, жесткость, твердость, влажность и другие характеристики. В табл. 2.3 приведены значения плотности снега. Плотность свежеснегавшего снега находится в прямой зависимости от температуры воздуха при снегопаде. Наибольшая плотность свежеснегавшего снега наблюдается в осенние месяцы; затем плотность постепенно уменьшается, достигая минимума в январе, и вновь увеличивается к весне.

Таблица 2.3

Плотность различных видов свежеснегавшего снега

Характер снега	Плотность, г/см ³
Свежий снег	0,14
Метелевый снег	0,22
Рыхлый свежеснегавший	0,06–0,08
Рыхлый свежий хлопьями	0,04–0,07
Рыхлый свежий снежинками	0,08–0,12
Рыхлый свежий крупинками	0,13
Рыхлый свежий мелкими крупинками	0,08–0,016
Свежеснегавший с дождем	0,16–0,27
Свежеснегавший мокрый	0,13

Значительное влияние на уплотнение снежного покрова оказывают ветровые нагрузки. От давления ветра снежинки в покрове деформируются и укладываются плотнее, образуя метелевый снег. Снежный покров

в лесу в меньшей степени подвержен ветровому уплотнению и зимним оттепелям, поэтому закономерность возрастания плотности с глубиной в нем выражена более резко, чем на открытых участках (таблица 2.4) [11], [13].

Таблица 2.4

Послойная плотность снежного покрова в условиях леса

Глубина расположения слоя от поверхности снега, см	От 0 до 10	От 10 до 20	От 20 до 32	От 32 до 42	От 42 до 53	От 53 до 64	От 64 до 74	От 74 до 84	От 84 до 94	От 94 до 108	Среднее значение
Плотность, г/см ³	0,13	0,13	0,15	0,21	0,25	0,26	0,31	0,36	0,37	0,15	0,26

Плотность сухого снежного покрова под пологом леса, по данным синхронных измерений, как правило, ниже, чем на открытых участках. Плотность снега в лесу в среднем можно принять равной от 0,24 до 0,26 г/см³, причем на глубине от 30 до 50 см она может достигнуть максимального значения (рис. 2.8).

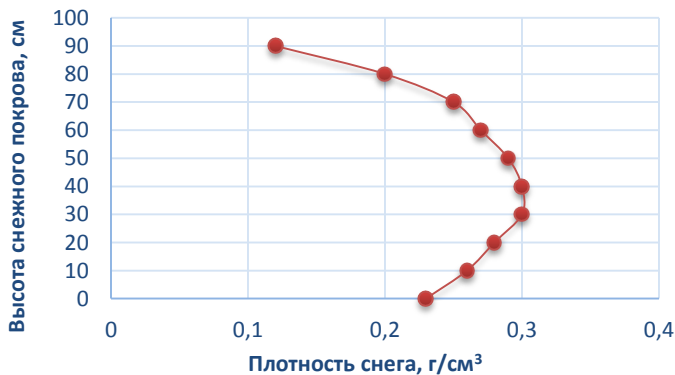


Рис. 2.8. Послойная плотность снега в лесу

Кроме чисто механических причин слеживания и оседания снега, вызванных в основном силой тяжести, в снежном покрове непрерывно изменяется структура снега. При колебаниях температуры около 0°C , сопровождающихся повторным таянием и смерзанием, снег превращается в массу бесформенных ледяных кристаллов. Этот процесс называется фирнизацией.

Твердость снега характеризует прочность снежного покрова, компактность расположения кристаллов, поддерживающую способность и другие эксплуатационные свойства снега. На рис. 2.9 приведены зависимости твердости снега от температуры и плотности [11].

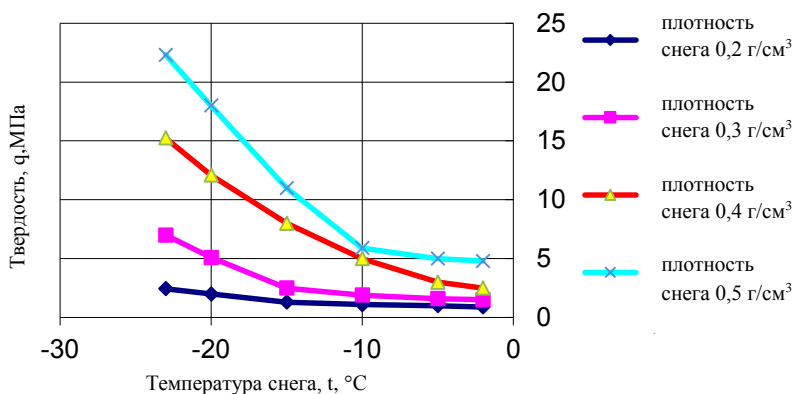


Рис. 2.9. Зависимость твердости снега от температуры и плотности

Под коэффициентом жесткости снега понимается величина давления, необходимого для деформирования снежного покрова, на единицу длины. В общем случае коэффициент жесткости является величиной переменной (рис. 2.10). Значения коэффициента жесткости меняются в зависимости от состояния снега. В табл. 2.5 приведены значения жесткости снега [11].

Исследования показали, что, чем ниже температура снега, тем больше коэффициент жесткости, т.е. больше сопротивление снега деформации, а коэффициент трения о снег зависит как от типа материала, так и от внешнего давления.

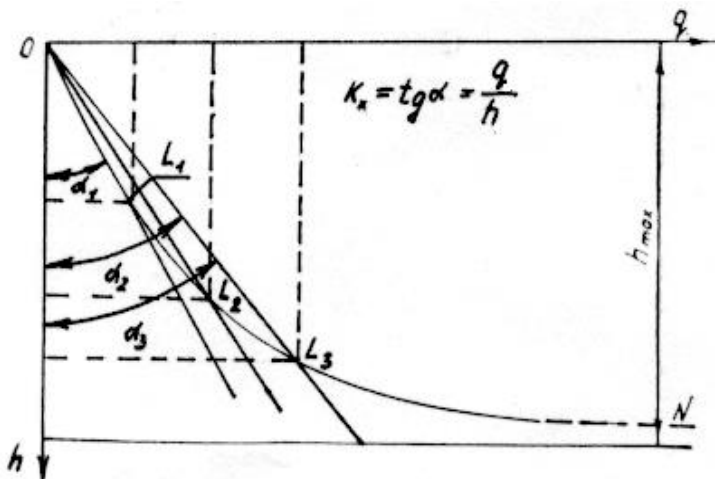


Рис. 2.10. Зависимость изменения коэффициента жесткости снега от величины давления

Таблица 2.5

Влияние типа снежного покрытия зимней лесовозной дороги на его жесткость и плотность

Характеристика снега	Исходная плотность, г/см ³	Коэффициент жесткости, Н/м ³
Рыхлый снег	0,23	$1 \cdot 10^5$
Слабоуплотненный снег	0,28	$2,8 \cdot 10^6$
Слабоукатанная дорога	0,5	$8,0 \cdot 10^7$
Прочная снеговая дорога	0,6	$4,0 \cdot 10^8$

Изменение коэффициента трения при увеличении давления объясняется тем, что увеличиваются деформации, происходит измельчение и плавление части кристаллов. Под скользящей поверхностью образуется тончайшая водяная пленка, и трение из сухого превращается в полусухое. В табл. 2.6, взятой из работы [11], показано, что коэффициент трения значительно зависит и от плотности снега, и от вида материала, из которого изготовлена ходовая часть. Однако эти данные относятся только

к величине давления 0,01 МПа и температурам в интервале от минус 2 до минус 12 °С. При более низких температурах коэффициент трения увеличивается.

Таблица 2.6

Зависимость коэффициента трения от плотности снежного покрова

Плотность снега, г/см ³	Коэффициент трения древесины (сосна) при нормальном давлении 0,01 МПа
0,10	0,10
0,15	0,09
0,24	0,08
0,37	0,03
0,11	0,04
0,50	0,03
0,55	0,02

Кроме внешнего трения, определяемого трением инородных тел, различают еще коэффициент внутреннего трения, определяемый трением снега о снег. Связность снега, так же, как и коэффициент внутреннего трения, характеризует сопротивление снега сдвигу [11].

Одним из весьма существенных факторов, влияющих на физико-механические свойства снега, является наличие в снеге воды. Во всех случаях с увеличением влажности плотность снега увеличивается (рис. 2.11).

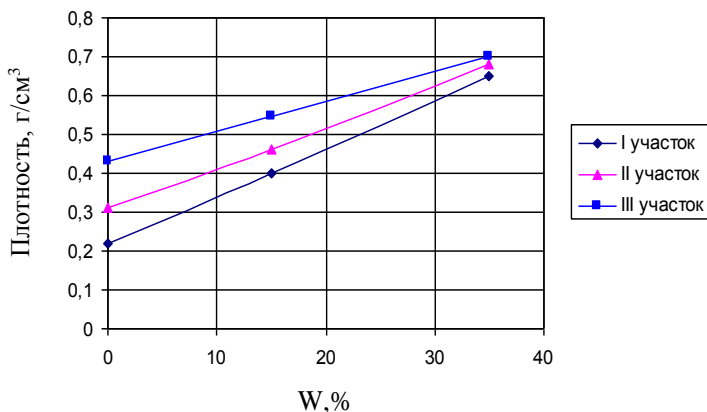


Рис. 2.11. Зависимость плотности снега от его влажности:
I – участок в лесу; II – участок на поляне; III – участок в поле

В табл. 2.7 приведены данные изменения коэффициента жесткости в зависимости от влажности снега. Как видно, коэффициент жесткости увеличивается пропорционально увеличению плотности и, соответственно, влажности снега.

Таблица 2.7

Влияние влажности на коэффициент жесткости снега

Влажность, %	Плотность, г/см ³	Температура снега, °С	Коэффициент жесткости, Н/м ³
1,0	0,220	-0,5	$7,5 \cdot 10^5$
2,0	0,275	0	$1,16 \cdot 10^6$
3,0	0,320	0	$1,38 \cdot 10^6$

Температура снега по мере увеличения глубины залегания повышается, а перепад температуры между верхним и нижним слоями снежного покрова может достигать от 20 до 25 °С. Температура верхних слоев снега, как правило, соответствует температуре окружающего воздуха.

Суточные колебания температуры затрагивают лишь верхний слой снега толщиной от 20 до 30 см. При толщине снежного покрова в пределах от 50 до 100 см температура снега у земли остается практически постоянной, находится в пределах от минус 2 до минус 5 °С и не зависит от температуры окружающего воздуха в диапазоне от 0 до минус 40 °С. Исследования по определению влияния температуры снега на его сопротивление деформации показали, что, чем ниже температура, тем больше сопротивление снега деформации (соответственно, больше коэффициент жесткости и больше твердость). Причем, чем больше плотность снега, тем больше его твердость зависит от температуры [11].

При взаимодействии снега с рабочими органами снегоочистительных машин основным видом сопротивления следует считать сопротивление резанию снега. Сопротивление резанию характеризует интегральную силу противодействия снега при отделении его от массива широким плоским ножом и образовании сливной пластичной стружки или стружки, состоящей из элементов скола (сдвига) снега (табл. 2.8, 2.9).

Угол внешнего трения снега характеризует отношение силы его трения о стальные элементы рабочих органов снегоуборочных машин к нормальным силам, действующим на указанные поверхности. Эквивалентом этого угла является коэффициент внешнего трения снега.

Таблица 2.8

Физико-механические свойства снега

Характер снежного покрова	Плотность, кг/м ³	Твердость, МПа	Сопrotивление резанию, МПа
Свежевыпавший	10 – 200	0,02	0,001
Рыхлый, обвалованный	220 – 300	0,2 – 0,6	0,005 – 0,01
Уплотненный	300 – 400	0,3 – 1,5	0,1 – 0,025
Старый слежавшийся	480 – 520	0,4 – 2,0	0,025 – 0,08
Уплотненный накат	550 – 700	0,4 – 3,0	0,1 – 0,5
Снежно-ледяной накат	700 – 950	–	1 – 2,5

Таблица 2.9

Транспортно-эксплуатационные показатели снежной поверхности зимних лесовозных дорог Уральского региона

Тип поверхности	Участок №1	Участок №2	Участок №3
	Зимняя лесовозная дорога	Снежная целина глубиной до 40 см	Лесовозная дорога, покрытая снегом глубиной 25 см
Послойная плотность, г/см ³ :	0,62	0,23 0,29 0,31 0,34	0,18 0,21 0,23 –
0–10			
10–20			
20–32			
32–42			
Связность, МПа	0,009–0,018	0,001–0,004	0,001–0,004
Коэффициент внутреннего трения	0,60	0,27–0,35	0,27–0,35
Твердость, МПа	0,0412 и больше	0,0017–0,0115	0,0017–0,0115
Тип снега	Фрикционно-связной	Фрикционный	Фрикционный
Вид	Уплотненный	Перекристаллизованный	Свежевыпавший

С увеличением плотности снега угол внешнего трения снижается вследствие увеличения площади контакта снежных кристаллов с поверхностью трения при более плотной их упаковке. С повышением температуры угол внешнего трения уменьшается до предела, соответствующего температуре минус 4 °С.

В табл. 2.10 приведены данные по оценке коэффициента сцепления для различного состояния снежной поверхности. Как видно, коэффициент сцепления имеет существенную зависимость от температуры, типа снежной поверхности и глубины снега. Особо следует отметить свойства снежной поверхности в зависимости от влажности снега.

Для уплотнения снежного покрова используют методы выглаживания и укатки. При перемещении уплотняющей плиты происходит первичная осадка снежной поверхности. Для этого используют выглаживающие плиты (гладилки). Благодаря большой площади передачи давления боковая выпрессовка снега незначительна, однако достичь больших значений нормальных давлений на снежную поверхность не представляется возможным. Гладилки используют для начального уплотнения свежевывапавшего снега.

Таблица 2.10

Зависимость коэффициента сцепления
от состояния снежной поверхности зимних дорог

Характеристика снежной поверхности	Коэффициент сцепления		
	Для гусеничных трелевочных машин	Для подвижного состава	
		Наличие снега на покрытии	Отсутствие снега на покрытии
Плотность 0,5 г/см ³ и выше при температуре ниже минус 4 °С	0,80–0,75	0,25–0,35	0,60–0,65
То же при температуре от минус 1 до минус 4 °С	0,75–0,70	0,23–0,25	0,45–0,55
То же при температуре выше 0 °С (талый снег)	0,73–0,65	0,15–0,21	0,50–0,60
Снежная целина толщиной 10 см	0,70–0,65	0,17	0,55
То же толщиной 15 см	0,62–0,50	0,14	0,55
–"– 20 см	0,55	0,16	0,55
–"– 30 см	0,40	0,18	0,55
–"– 40 см	0,30	0,15	0,55
–"– 60 см	0,15	0,15	0,55
Мокрый снег	0,23	0,19	0,35–0,45

Рабочий процесс катков с гладкими вальцами состоит из многократного перекатывания вальцов по поверхности уплотняемого материала, т.е. циклического воздействия на него. В процессе перекатывания вальцов по поверхности материала происходит его уплотнение под действием собственного веса катка.

Максимальное допустимое контактное давление для гладкого вальца можно определить по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\rho E}{R_{\max}}}, \quad (2.1)$$

где R – радиус вальца, м;

E – модуль деформации уплотняемого материала, МПа;

ρ – линейно распределенное давление, Н/м.

Нормальное давление на снежный покров зависит от глубины погружения вальца в снег. Так, величина среднего контактного давления вальца (σ_{cp} , кг/см²) будет равна

$$\sigma_{cp} = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{P^2 C}{R^2 l^2}}, \quad (2.2)$$

где P – нагрузка на валец катка, кг;

C – коэффициент жесткости снежного покрова, кг/см³;

R – радиус катка, см;

l – ширина вальца, см.

Глубина воздействия на снежный покров катками характеризуется глубиной активной зоны. В ее пределах реализуется от 80 до 90 % всей необратимой деформации. Глубина активной зоны зависит от состояния снежной поверхности и геометрической формы деформатора. Так, для гладких вальцов при плотном снеге ее можно определить по эмпирическому выражению

$$h_a = k_{2l} \sqrt{\rho R}, \quad (2.3)$$

где k_{2l} – коэффициент, зависящий от свойств снега;

ρ – линейное давление, Н/см;

R – радиус вальца, см.

Известно, что наиболее эффективно материал уплотняется при условии

$$\sigma_{\max} = (0,8 - 0,9) \sigma_{np}, \quad (2.4)$$

где σ_{np} – предел прочности снежного материала.

В случае превышения этого условия возникают значительные сдвиговые напряжения в материале, что приводит к снижению его несущей способности. При движении катка, особенно в неустановившемся режиме (разгон, торможение, реверс), в снежном покрове возникают распределенные горизонтальные сдвиговые напряжения.

Для качения катка без проскальзывания должно быть соблюдено условие

$$f \geq \sqrt[3]{\frac{P}{CR^2l}}, \quad (2.5)$$

где f – коэффициент трения материала катка по снегу.

Известно, что коэффициент трения значительно зависит от плотности снега и материала, из которого изготовлен валец катка (табл. 2.11). При работе гладковальцового катка основным видом сопротивления движению является сопротивление W_f от перекаtywания вальца по уплотняемому слою. При уплотнении снежного покрова это сопротивление можно определить по следующему выражению:

$$W_f = \sqrt[3]{\frac{10P^4}{R^2lC}}. \quad (2.6)$$

Таблица 2.11

Зависимость коэффициента трения от плотности снега

Плотность снега, г/см ³	Коэффициента трения стали при нормальном давлении 0,006–0,04 МПа
0,10	0,08
0,15	0,06
0,24	0,025
0,37	–
0,11	0,018
0,50	–
0,55	0,01

Таким образом, условие применения данного типа гладковальцового катка для различных условий эксплуатации примет вид

$$f^3 C \geq \frac{P}{R^2 l}. \quad (2.7)$$

Если допустить, что работа на перекачивание катка равна работе деформации покрытия и что глубина активной зоны смятия возрастает прямо пропорционально глубине, работу (A_y , Дж) при уплотнении статической нагрузкой при увеличении контактного давления от 0 до σ_{\max} можно определить по упрощенной зависимости остаточной деформации материала:

$$A_y = \frac{\sigma_{\max} V}{2}, \quad (2.8)$$

где V – объем деформируемого материала, м^3 .

При выборе машин уплотняющего действия необходимо учитывать, что увеличение давления на снежную поверхность не приводит к увеличению ее плотности. Так, при использовании катков массой от 1,5 до 5,9 т была получена практически одинаковая плотность снегового покрытия. Уплотнение снега целесообразно проводить при условии $H_k < g$. При этом необходимо, чтобы давление находилось в диапазоне от 0,2 до 0,3 МПа.

Следовательно, параметры катка должны соответствовать различным эксплуатационным условиям применения. При неправильно выбранных параметрах катков вместо уплотнения будет происходить нагребание снега перед катком.

Катки на пневматических шинах несколько по-другому взаимодействуют со снежной поверхностью. Под действием веса катка происходит радиальная деформация пневматической шины в пятне контакта с опорной поверхностью. Причем форма пятна контакта, величина деформации и распределение контактных напряжений зависят от свойств уплотняемого материала и давления воздуха в шине. Наличие большой площади контакта позволяет увеличить активную зону уплотнения и увеличить время воздействия на снежный покров.

Кроме статического уплотнения, в процессе работы возникает сдвиговой эффект, который способствует удалению воздуха из уплотняемого материала. Изменить контактное давление на опорную поверхность можно путем варьирования давления воздуха в шинах.

Глубину активной зоны уплотнения для снежного покрова можно определить по следующему эмпирическому выражению:

$$h_a = k_{nn} \sqrt{\frac{G_k \rho_{ш}}{1 - \xi}}, \quad (2.9)$$

где k_{nn} – коэффициент, зависящий от свойств снега;

G_k – нагрузка на колесо, кг;

$\rho_{ш}$ – давление в шине, кг/см²;

ξ – коэффициент жесткости шины, от 0,15 до 0,61.

Особенностью катков на пневмошинах является то, что среднее нормальное контактное напряжение ниже давления воздуха в шине. Поэтому по мере возрастания жесткости снежного покрова необходимо увеличивать давление в пневмошине.

Свежевыпавший снег обычно ложится рыхлым слоем. По мере лежания он постепенно уплотняется под влиянием собственного веса и различных метеорологических факторов, в результате чего снег увеличивает свою плотность. Уплотнение и «слеживание» сухого снега зависят от следующих причин: увеличение давления на внутренние слои при новых снегопадах, излом снежинок, соскальзывание снежинок в промежутки, деформация отдельных частиц снежинок от давления, смерзание снежинок в местах соприкосновения, выдавливание воздуха из промежутков между частицами, сжатие воздуха в замкнутых пустотах.

Уплотнение снега в снежном покрове происходит непрерывно, однако интенсивность уплотнения в большой степени зависит от температуры воздуха и снега. Уплотнение снежного покрова особенно быстро происходит при оттепелях.

При отсутствии механического воздействия твердость слежавшегося или уплотненного без перемешивания снежного покрова резко различна в ближайших точках. Это вызывается, вероятно, тем, что не каждая пара близлежащих кристаллов может вступить во взаимодействие [8]. При значительном перемешивании снега вероятность встречи способных вступить во взаимодействие кристаллов увеличивается. Так как кристаллы при этом повреждаются, способность их вступать во взаимодействие возрастает. При перемешивании даже без дальнейшего уплотнения плотность снега увеличивается (табл. 2.12).

Таблица 2.12

Влияние перемешивания снега на его плотность и твердость

Снег	Плотность, г/см ³	Твердость, МПа
До перемешивания	0,18	0,033
После перемешивания	0,32	0,182

Конечное значение плотности снега тем выше, чем ниже температура, больше начальное давление и значительнее механическое воздействие. В связи с этим при уплотнении снега проходы катка целесообразно делать с перерывами.

Плотность снега также зависит от способа воздействия на него. На рис. 2.12 представлены изменения плотности снега в зависимости от числа проходов катка при различном времени воздействия. Более интенсивно твердость увеличивается при сочетании перемешивания с последующим уплотнением. Однако в перемешанном и уплотненном снеге твердость также неодинакова. Среднюю твердость легче всего повысить путем дальнейшего перемешивания несоединившихся кристаллов, не нарушая кристаллов, уже вступивших во взаимодействие.

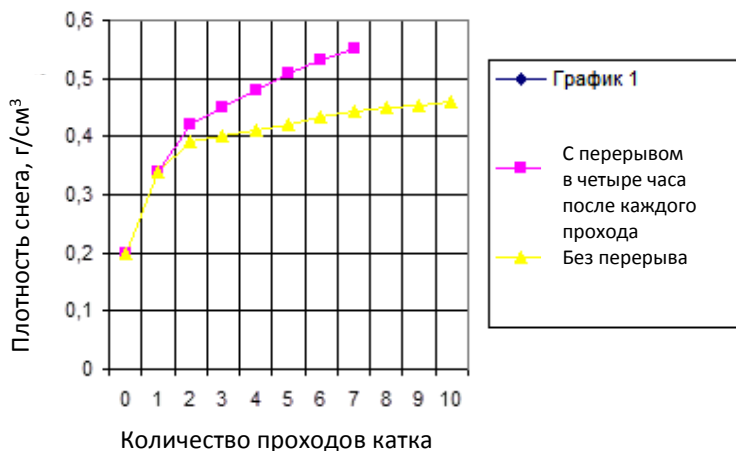


Рис. 2.12. Изменения плотности снега в зависимости от числа проходов катка при различном времени воздействия

Практически это можно осуществить, еще раз перемешивая каким-либо тупым рабочим органом дорожной машины уже перемешанный и

уплотненный снег; при этом будет разрушена связь между кристаллами, не вступившими в молекулярный контакт. Образовавшиеся комки следует перемешать и вновь уплотнять. При этом средняя твердость снега резко возрастает без увеличения его плотности.

Вторичное перемешивание необходимо провести при достаточно затвердевшем снеговом покрове, т.е. примерно через 4–5 часов после его обработки. Перемешивание будет тем эффективней, чем больше прямой перепад температур (сверху вниз). Его следует проводить интенсивно по всей глубине за один проход с последующим уплотнением без перерыва во времени.

Результаты различного воздействия на снеговой покров толщиной 0,50 м при температуре минус 6 °С приведены в табл. 2.13.

Принцип устройства снежных дорог состоит в последовательном уплотнении снега по мере его выпадения. Постепенное уплотнение снега, выравнивание его и равномерная укатка до плотности 0,5 г/см³ создают возможность движения по нему большегрузных автопоездов с большими скоростями.

Таблица 2.13

Результаты воздействия на снег
рабочих органов дорожных машин

№ участка	Режим обработки	Плотность, г/см ³		Твердость, МПа	
		в верхних слоях	в нижних слоях	в верхних слоях	в нижних слоях
Первоначальная обработка					
	Каток массой 0,8 т				0,06
	Тем же катком с балластом массой 1,2 т		–		0,12
	Двумя боронами, легким катком, груженым катком				0,22
Последующая обработка 3-го участка					
3а	Двумя боронами и двумя катками				2,0
3б	Четырьмя катками (без предварительного перемешивания)				0,6

Зимние дорожные работы по устройству снежного основания лучше всего начинать при снежном покрове не более 10–15 см, так как уплотнение тонких слоев более эффективно. Перед уплотнением снег разравнивают бульдозерами, тяжелыми автогрейдерами, снегоуровнителем (угольником). При устройстве дороги по глубокому снежному покрову, более 30–40 см, часть снега предварительно удаляют. Это связано с тем, что при последующей укатке толщина снежного покрова уменьшается обычно в два–три раза в зависимости от первоначальной плотности снега.

Лучших результатов при укатке можно достичь путем предварительного разрыхления. Перемешивание или рыхление снега проводят с помощью кулачковых катков, фрез и борон. Снег укатывают легкими катками за 3–4 раза по одному следу, делая перерывы между проходами в зависимости от температуры воздуха: при температуре ниже минус 20 °С до двух часов; при температуре минус 10–20 °С до четырех часов. Дорога считается пригодной к эксплуатации не ранее, чем через 4 часа после уплотнения. Плотность снега должна составлять не менее 0,4–0,5 г/см³ на всем протяжении пути. Наилучшая температура воздуха для укатки снега составляет от минус 4 до минус 10 °С. При температуре выше нуля происходит интенсивное налипание снега на рабочие органы дорожных машин, а при более низких температурах снег становится несвязным (рассыпчатым).

2.3. Основные требования к транспортно-эксплуатационному состоянию лесных лесовозных дорог в зимний период

Любая лесовозная автомобильная дорога после строительства или реконструкции и ввода её в эксплуатацию требует постоянного надзора, ухода, содержания, систематического мелкого и периодического более крупного ремонта. Без этих мероприятий лесовозная автомобильная дорога, какие бы высокие технический уровень и качество строительства она не имела, будет сначала постепенно, а затем всё быстрее и быстрее необратимо деформироваться и разрушаться.

При работе автодороги работы по ремонту и содержанию должны не просто восстанавливать и сохранять первоначальные технические параметры и характеристики, рассчитанные по нормам многолетней давности, надо непрерывно улучшать и совершенствовать их, чтобы поддерживать

транспортно-эксплуатационное состояние дороги в соответствии с современными требованиями безопасного и удобного движения автомобилей с установленными скоростями, нагрузками и габаритами. Именно это отличает содержание автомобильной дороги от аналогичного содержания, например, зданий и сооружений производственного значения.

Именно содержание лесных автомобильных дорог – это осуществляемый в течение всего года комплекс профилактических мероприятий по уходу за дорогами, дорожными сооружениями, полосой отвода и элементами обустройства дороги, в результате которых поддерживается транспортно-эксплуатационное состояние дорог и дорожных сооружений в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50597-2017 [7].

Содержание лесных дорог – работы, проводимые дорожными эксплуатационными организациями для обеспечения движения в зимнее время. Это очистка дорог от снега, защита дорог от снежных заносов и борьба с зимней скользкостью.

В действующих нормативно-технических документах рассмотрены требования к уровню содержания лесных дорог. Они находятся в зависимости от значения дороги и интенсивности движения. Выделяют следующие группы дорог для оценки уровня содержания (табл. 2.14): А1 – автомобильные дороги, относящиеся к автомагистралям; А2 – автомобильные дороги 1-й категории; А3 – автомобильные дороги 2-й категории; Б – автомобильные дороги 3-й категории; В – автомобильные дороги 4-й и 5-й категорий, имеющие покрытия из битумоминеральных смесей; Г1 – автомобильные дороги 4 и 5 категории, имеющие покрытия из обработанных и необработанных щебеночных, гравийных, песчано-щебеночных, песчано-гравийных покрытий; Г2 – грунтовые автомобильные дороги [6].

Кроме того, автомобильные дороги, дороги и улицы городов и других населенных пунктов по их транспортно-эксплуатационным характеристикам объединены в три группы:

- группа А – автомобильные дороги с интенсивностью движения более 3000 авт./сут.; в городах и населенных пунктах – магистральные дороги скоростного движения, магистральные улицы общегородского значения непрерывного движения;

- группа Б – автомобильные дороги с интенсивностью движения от 1000 до 3000 авт./сут.; в городах и населенных пунктах – магистральные дороги регулируемого движения, магистральные улицы общегородского значения регулируемого движения и районного значения;

- группа В – автомобильные дороги с интенсивностью движения менее 1000 авт./сут.; в городах и населенных пунктах – улицы и дороги местного значения.

Таблица 2.14

**Группировка дорог для целей оценки уровня содержания
(по ГОСТ Р 50597-2017)**

Группы дорог	Фактическая интенсивность движения в транспортных единицах, авт./сут.		Число полос движения	Примечание
	от	до		
А1			8	Автомагистрали
			6	
			4	
А2				Автомобильные дороги с покрытиями из цемента, асфальтобетона и битумоминеральных смесей
А3				
Б				
В				
Г1	100	1000	2	Автомобильные дороги с покрытиями из обработанных и необработанных вяжущими щебеночных, гравийных материалов
		100	1	
Г2		100	1–2	Грунтовые автомобильные дороги

В ГОСТе [7] предусматриваются три уровня содержания автомобильных дорог: допустимый, средний и высокий (табл. 2.15). Основными показателями уровня содержания автомобильных дорог являются ширина чистой от снега поверхности дороги, толщина рыхлого снега на проезжей части, накапливающегося с момента начала снегопада до начала снегоочистки или в перерывах между проходами снегоочистительной техники при патрульной снегоочистке, толщина уплотненного слоя снега (снежного наката) на проезжей части и обочинах.

Уровень содержания автомобильной дороги, обеспечивающий поддержание потребительских свойств дороги, определен в ГОСТ Р 50597-2017. Все показатели уровней содержания дифференцированы в зависимости от интенсивности движения, есть перечень и предельно допустимые значения показателей эксплуатационного состояния дорог, необходимые для обеспечения безопасности движения. Это главный из стандартов в области нормирования транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог.

Эксплуатационные сроки зависят от интенсивности движения и составляют:

- 4 час – для автомобильных дорог группы А;
- 5 час – для автомобильных дорог группы Б;
- 6 час – для автомобильных дорог группы В.

Таблица 2.15

Эксплуатационная характеристика автодорог

Уровень содержания	Параметр автодороги	Описание параметра
1	Любой	Обеспечен любой уровень движения. Нет дорожно-транспортных происшествий, причиной которых являлись недостатки в содержании дороги. Возможно временное ограничение движения транспорта на отдельных участках, исходя из условий содержания. Также возможно временное прекращение движения
2	Средний	Уровень содержания автодороги превосходит допустимый. Временное ограничение и прекращение движения транспорта не допускаются. На участках до 20 % от общей длины дороги допустимо снижение разрешенной ПДД скорости. На сложных участках (перекрестки, кривые малого радиуса, населенные пункты, затяжные подъемы и спуски) не допускается ухудшение условий движения, связанное с содержанием дороги. Нет дорожно-транспортных происшествий, причиной которых являлись недостатки в содержании дороги
3	Обычный	Бесперебойное движение транспорта. Снижение скорости, обусловленное содержанием, не допускается. Нет дорожно-транспортных происшествий, причиной которых являлись недостатки в содержании дороги. Допустимы незначительные дефекты конструктивных элементов при условии отсутствия влияния на безопасность и скорость передвижения транспорта.

Нормативный срок ликвидации зимней скользкости принимается с момента ее обнаружения до полной ликвидации, а срок окончания снегоочистки – с момента окончания снегопада или метели до момента завершения работ. Существуют допустимые уровни и требования к зимнему содержанию дорог.

По уровню зимнего содержания все дороги делятся на четыре группы:

- группа А – дороги с чистой на всю ширину поверхностью;
- группа Б – дороги с чистой на всю ширину проезжей частью;
- группа В – дороги с чистой серединой проезжей части;
- группа Г – дороги с уплотненным снегом на проезжей части.

Например, наличие уплотненного снега на проезжей части на дорогах всех категорий не допускается, хотя для дорог, содержащихся под снежным накатом, время снегоочистки и ликвидации принимается в зависимости от типа дороги, категории дороги или уровня содержания.

2.4. Нормирование толщины уплотненных снежно-ледяных отложений на проезжей части лесных лесовозных дорог

К транспортно-эксплуатационным показателям лесных лесовозных дорог, работающих в зимних условиях, можно отнести толщину уплотненного снежного покрова, плотность слоя, глубину колеи, ровность слоя, коэффициент сцепления колес автомобилей с поверхностью покрытия, скорость и интенсивность движения автопоездов [2].

Рассмотрим условия формирования снежно-ледяных отложений на проезжей части лесных лесовозных дорог.

Обязательным условием начала формирования уплотненного снежного слоя на лесных лесовозных дорог является выпадение продолжительных и интенсивных осадков в виде снега. Другим условием для формирования уплотненного снежного слоя является относительная влажность воздуха от 65 до 85 %.

Средняя интенсивность снегопада по Уральскому федеральному округу зависит от природно-климатических характеристик территории (табл. 2.16). Толщина рыхлого слоя снега обуславливается продолжительностью снегопада. Зависимость количества откладывающегося снега на незаносимых участках дорог от времени его выпадения для начального периода зимы (октябрь) показана в работах [8], [11]. На снегозаносимых

участках объем снега, выносимого к дороге, увеличивается от 7 до 15 раз по сравнению с объемом снега, откладывающегося на защищенных участках, и соответственно толщина уплотненного слоя снега на покрытии может достигать 35–40 мм.

Директивные требования к показателям уровня зимнего содержания каждой дороги должны устанавливаться на основе технико-экономических расчетов с учётом оснащённости дорожно-эксплуатационной службы машинами и оборудованием для зимнего содержания дорог. Предельно допустимые значения указанных требований были приведены в параграфе 2.3.

Таблица 2.16

Средняя многолетняя интенсивность снегопада
по дорожно-климатическим подзонам
на территории Уральского региона

Дорожно-климатические подзоны	Интенсивность снегопада по месяцам, мм/ч				
	Январь	Февраль	Март	Ноябрь	Декабрь
I	0,589	0,868	0,798	1,100	1,000
II	0,342	0,600	0,521	0,726	0,613
III	0,498	0,690	0,654	0,980	0,832

Оценим возможные значения толщины уплотненного слоя снега. Возможная наибольшая толщина слоя снега на покрытии может быть оценена выражением

$$H_{усп} = \frac{h_c \gamma_c}{\gamma_n}, \quad (2.10)$$

где h_c – толщина слоя снега, выпадающего за снегопад или метель, см;

γ_c – плотность свежеснегавшего снега, г/см³ ($\gamma_c = 0,08 - 0,10$ г/см³);

γ_n – плотность снега в уплотненном слое, г/см³ ($\gamma_n = 0,60$ г/см³).

Расчитанные по выражению (2.10) наибольшие значения толщины уплотненного слоя для подзоны II приведены в табл. 2.17.

Плотность снега в уплотненном слое зависит от интенсивности движения машин, состава транспортного потока, влажности снега и воздуха,

а также от температуры снега. Сочетание перечисленных факторов обуславливает разброс значений плотности снега в уплотненном слое на отдельных дорогах от 0,40 до 0,65 г/см³.

В течение всего зимнего периода происходит испарение снега, находящегося в уплотненном слое. Средний коэффициент испарения снега за весь зимний период равен 0,73 для подзоны I, для подзоны II – 0,231, для подзоны III – 0,279 [2], [11].

Таблица 2.17

Расчетная возможная наибольшая толщина
снежно-ледяных отложений на покрытии
к концу зимнего периода

Дорожно-климатическая подзона	Расчетная толщина слоя снежно-ледяных отложений на покрытии лесной дороги, мм	
	Плотность свежеснегавпавшего снега 0,08 г/см ³	Плотность свежеснегавпавшего снега 0,10 г/см ³
II	127	158

Дополнительно снег из слоя рассеивается инверсионными потоками от движущихся транспортных средств. Значения экспериментальных коэффициентов, учитывающих количество рассеиваемого транспортными средствами снега, зависят от скорости их движения. В этом случае суммарный коэффициент, учитывающий уменьшение толщины слоя за счет испарения и рассеивания инверсионными потоками,

$$K_{ум} = K_{исп} + K_{тр}, \quad (2.11)$$

где $K_{исп}$, $K_{тр}$ – соответственно коэффициент, учитывающий уменьшение толщины слоя за счет испарения снега и за счет рассеивания инверсионным потоком от транспортных средств.

Значения коэффициентов, учитывающих уменьшение толщины слоя на покрытии дороги по месяцам, приведены в табл. 2.18.

Возможная наибольшая толщина уплотненного снежного покрова на покрытии лесной дороги, достигаемая к концу зимнего периода, по подзонам с учетом коэффициента уменьшения толщины $K_{ум}$ для скорости движения автопоездов от 60 до 70 км/ч, приведена в табл. 2.19.

Таблица 2.18

Суммарный коэффициент, учитывающий
уменьшение толщины снежно-ледяных отложений
на покрытии лесных дорог по месяцам

Дорожно-климатическая подзона	Скорость движения автотранспорта, км/ч	Январь	Февраль	Март	Ноябрь	Декабрь
		I	50–60	0,15	0,17	0,21
	61–70	0,18	0,21	0,23	0,18	0,17
II	51–60	0,17	0,19	0,22	0,16	0,15
	61–70	0,20	0,22	0,25	0,19	0,18
III	50–60	0,17	0,20	0,23	0,16	0,16
	61–70	0,20	0,23	0,27	0,19	0,39

Таблица 2.19

Расчетные значения наибольшей толщины
снежно-ледяных отложений на покрытии лесных дорог
за зимний период с учетом коэффициента уменьшения
толщины уплотненного слоя

Дорожно-климатическая подзона	Плотность свежеснегавпавшего снега, г/см ³					
	0,08			0,10		
	Плотность снежного слоя на покрытии, г/см ³					
	0,4	0,5	0,65	0,4	0,5	0,65
I	221	177	147	277	221	170
II	116	93	77	145	116	89
III				203	162	125

Для нахождения значения толщины уплотненного слоя к окончанию зимнего периода необходимо учитывать износ и испарение снега в каждые последующие месяцы [11].

Толщину уплотненного снежного слоя на покрытии лесной дороги к концу зимнего сезона с учетом его помесячного наращивания и уменьшения можно определить по выражению

$$H_{усп}^{zod} = \sum_{i=1}^n H_{усп_i} (1 - K_{ум_i}), \quad (2.12)$$

где $H_{усп_i}$ – толщина уплотненного слоя в соответствующем месяце, мм;

$K_{ум_i}$ – помесячные коэффициенты уменьшения толщины уплотненного слоя снега.

Расчетные толщины уплотненного слоя снега в последний день месяца с учетом износа и испарения снега, полученные из выражения (2.12), приведены в табл. 2.20.

Таблица 2.20

Расчетные значения возможной наибольшей толщины
слоя снежно-ледяных отложений на покрытии лесных дорог
в последний день каждого месяца, с учетом износа
и испарения снега

Дорожно-климатическая подзона	Скорость движения лесовозных автопоездов, км/ч	Толщина слоя снега, мм				
		Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
II	51–60	39	69	90	101	100
	61–70	38	67	84	93	90

Как показано в работе [11], снег обладает высокой теплоемкостью, при его контакте с нагретыми шинами лесовозных автомобилей происходит оплавление и перекристаллизация находящихся на поверхности уплотненного слоя снежинок. Плотность слоя снега повышается от 0,65 до 0,70 г/см³. Учтем повышение плотности на полосе качения колес введением коэффициента оплавления снега:

$$K_{опл} = \frac{\gamma_{опл}}{\gamma_n}, \quad (2.13)$$

где $\gamma_{опл}$ – плотность оплавившегося слоя снега, г/см³;

γ_n – плотность снега в уплотненном слое, г/см³.

Тогда расчетные значения толщины уплотненного снежного покрова на полосе наката можно определить по выражению

$$H_{усп}^{зод} = \frac{1}{K_{онл}} \sum_{i=1}^n H_{успi} (1 - K_{умi}). \quad (2.14)$$

Интенсивность образования и линейные размеры колеи на покрытии лесных дорог, зависят от плотности слоя. Плотность слоя снега, обеспечивающая нормируемый допустимый уровень колеи, приведена в табл. 2.21.

Таблица 2.21

Наименьшая допустимая плотность снежного покрова, обеспечивающая образование колеи не более заданного значения

Глубина колеи, см	Наименьшая допустимая плотность слоя снега, г/см ³ , при температуре снега, °С			
	минус 1	минус 5	минус 10	минус 15
1	0,55	0,53	0,51	0,48
2	0,52	0,48	0,46	0,45
3	0,49	0,46	0,44	0,43

2.5. Ледяные отложения на проезжей части лесных лесовозных дорог

Снежно-ледяные отложения могут образоваться как в процессе снегопада, так и после окончания выпадения твердых атмосферных осадков в результате механического уплотнения слоя снега колесами транспортных средств.

Процесс образования снежного, снежно-ледяного наката очень сложный, и толщина образующего его слоя зависит от многих факторов, основными из которых являются влажность твердых атмосферных осадков, насыщенность воздуха водяными парами, температура воздуха, интенсивность движения транспортных средств, скорость движения транспортных средств.

Механическое удаление твердых осадков сопровождается физическими процессами, проявляющимися при качении колеса по слою

снега. При качении колеса поверхность протектора увлекает за собой воздушную прослойку, и в результате перед площадью контакта между поверхностью колеса и слоем снега (поверхностью дороги) образуется зона заземленного воздуха с повышенным давлением. Из заземленной зоны воздух вырывается в стороны и при этом увлекает за собой снег.

Расстояние перемещения снега из-под колеса зависит от скорости движения транспортных средств. При сухом снеге и температуре воздуха ниже минус 5 °С снег из-под колес выносятся при скорости движения транспортных средств 12–15 км/ч, а при температуре +1 ... минус 3 °С – при скорости выше 40 км/ч.

На подходах к пересечениям дорог в одном уровне водители транспортных средств заблаговременно начинают снижать скорость движения и остановку осуществляют постепенным торможением. Такой скоростной режим приводит к образованию снежно-ледяного наката в зонах технологических остановок и подходов к пересечениям дорог. При этом плотность снежного наката возрастает по мере приближения к пересечению, а перед линией пересечения на второстепенных дорогах образуется лед.

На рис. 2.13 представлена схема образования снежно-ледяных отложений на пересечениях дорог в одном уровне, где участок А соответствует началу движения транспортных средств на пересечении, участок Б – началу торможения перед остановкой на пересечении, участок В – замедлению транспортного средства перед остановкой, участок Г – участок рефлекторного снижения скоростного режима, Д – участок образования снежно-ледяных отложений.

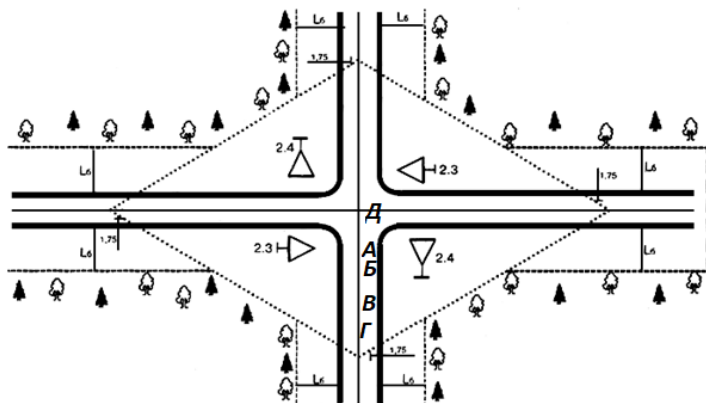


Рис. 2.13. Схема образования снежно-ледяных отложений на пересечениях лесовозных дорог в одном уровне

Плотность снежно-ледяных отложений на рассматриваемых участках представлена в табл. 2.22. Для условий движения по лесовозным автомобильным дорогам участок **Г** из рассмотрения может быть исключен. В то же время протяженность участков **А – Г** зависит от состава транспортного потока, интенсивности движения по направлениям, а также от расстояния между пересечениями. Длина участка разгона автопоездов может быть принята в зависимости от режима транспортного потока в пределах от 20 до 40 м [1], [5].

Оценим протяженность (L_{σ} , м) участка **Б**, которую можно определить по выражению

$$L_{\sigma} = \frac{n(l_{TPC} + l_{MTC})}{N}, \quad (2.15)$$

где n – количество транспортных средств, останавливающихся перед пересечением, шт.;

l_{TPC} – средняя длина одного лесотранспортного средства, м;

l_{MTC} – расстояние между лесотранспортными средствами, м;

N – количество полос движения в одном направлении, шт.

Таблица 2.22

Плотность снежно-ледяных отложений
на пересечениях дорог в одном уровне

Участок дороги	Наименьшая плотность слоя снежно-ледяных отложений, г/см ³ , при температуре снега, °С			
	минус 1	минус 5	минус 10	минус 15
А	0,90	0,85	0,76	0,75
Б	0,90	0,85	0,76	0,75
В	0,60	0,60	0,55	0,50
Г	0,40	0,40	0,40	0,40
Д	0,55	0,50	0,45	0,40

Количество останавливающихся перед пересечением дорог лесовозных транспортных средств определяется по формуле

$$N = \frac{(n_n k_{\text{нер}} t_{\text{сфм}})}{\tau}, \quad (2.16)$$

где n_n – интенсивность движения лесотранспорта в одном направлении, авт./сут.;

$k_{\text{нер}}$ – коэффициент неравномерности движения автомобилей в сутки;

$t_{\text{сфм}}$ – продолжительность остановки автомобиля, сек;

τ – время, равное одному часу.

Средняя длина транспортного средства определяется по формуле

$$l_{\text{мрс}} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i l_{T_i}}{N} (P_i l_{T_i} + \dots P_{n-i} l_{n-i} + P_n l_n) / N, \quad (2.17)$$

где P_i – доли типоразмеров лесовозных средств;

l_{T_i} – длина транспортного средства данного типоразмера, м.

В зависимости от интенсивности движения лесотранспортных средств и коэффициента неравномерности движения с интервалом в 1000, 2000 и 5000 автомобилей в сутки оцениваем протяженность участка **Б**. Среднее значение данного участка может оцениваться от 4 до 50 метров.

На рис. 2.14–2.16 представлены изменения длины участка **Б** в зависимости от интенсивности и неравномерности движения.

Длину участка ($L_{\text{зам}}$, м) замедления **В** можно определить исходя из порогового времени воздействия видимого препятствия по выражению

$$L_{\text{зам}} = v_{\text{зам}} t_{\text{нр}},$$

где $v_{\text{зам}}$ – средняя скорость замедления транспортного средства, м/с.

$$v_{\text{зам}} = \frac{(v_n + v_m)}{2}.$$

Здесь v_n – средняя скорость в начале замедленного движения транспортного средства, м/с;

v_m – средняя скорость в начале торможения транспортного средства, м/с;

t_{np} – пороговое время действия водителя в зависимости от вида препятствия,

$$t_{np} = \frac{0,6}{\mathcal{E}_m} \sqrt{\mathcal{E}},$$

где \mathcal{E}_m – скорость изменения эмоционального напряжения водителя, принимаем 0,75 мкА/сек;

\mathcal{E} – эмоциональное напряжение водителя при равномерном движении состава потока, принимаем 5 мкА.

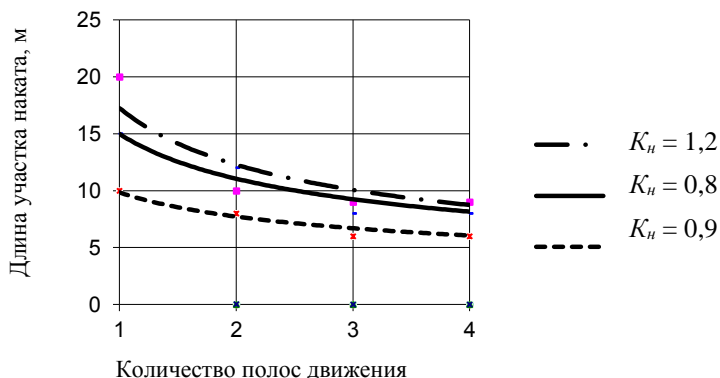


Рис. 2.14. Зависимость изменения длины участка снежно-ледяного наката (уплотненная снежно-ледяная поверхность) от коэффициента неравномерности (K_n) движения при интенсивности движения 2000 авт./сут.

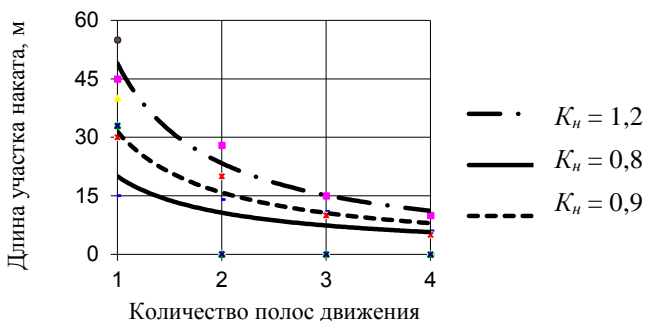


Рис. 2.15. Зависимость изменения длины участка снежно-ледяного наката (уплотненная снежно-ледяная поверхность) от коэффициента неравномерности движения при интенсивности движения 3000 авт./сут.

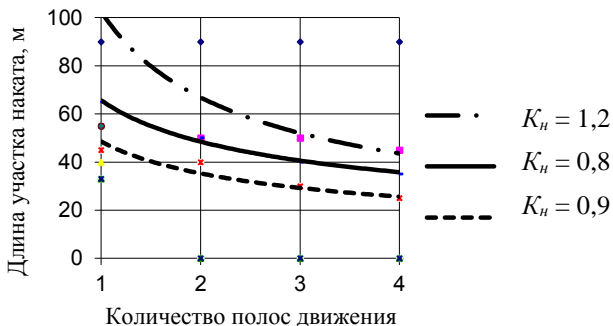


Рис. 2.16. Зависимость изменения длины участка снежно-ледяного наката (уплотненная снежно-ледяная поверхность) от коэффициента неравномерности движения при интенсивности движения 5000 авт./сут.

Таким образом, толщина снежно-ледяных отложений ($H_{с.-л.о}$, см) на участке в 1 метр на проезжей части для i -го участка может определяться как [11]

$$H_{с.-л.о} = \frac{h_c \gamma_c}{\gamma_n B}, \quad (2.18)$$

где h_c – толщина слоя снега, выпадающего за снегопад или метель, см;

γ_c – плотность свежевыпавшего снега, г/см³ ($\gamma_c = 0,08-0,10$ г/см³);

γ_n – плотность снега в уплотненном слое, г/см³ ($\gamma_n = 0,60$ г/см³);

B – ширина полосы движения, м.

Общая площадь снежно-ледяного наката (уплотненная снежно-ледяная поверхность) на проезжей части перед пересечением дорог в одном уровне определяется по формуле

$$S_{с.-л.о} = \sum_{i=1}^n S_n, \quad (2.19)$$

где $S_n = B(L_A + L_B + L_C + L_D)$ – площадь снежно-ледяного наката на пересечении, м².

На рис. 2.17 представлены зависимости изменения площади снежно-ледяного наката на пересечениях от интенсивности движения и коэффициента неравномерности движения автопоездов.

Теоретическое определение толщины снежно-ледяного наката (уплотненная снежно-ледяная поверхность) и площади его распределения с учетом изменения скорости движения на перегонах между пересечениями дорог позволяет провести прогнозирование объемов выполняемых работ и потребности в противогололедных материалах.

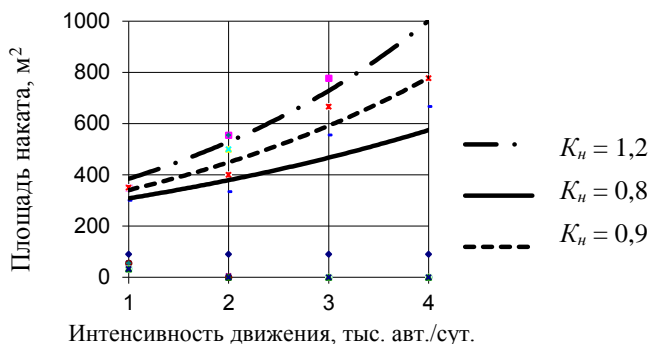


Рис. 2.17. Изменения площади снежно-ледяных отложений на пересечениях в зависимости от интенсивности и коэффициента неравномерности движения автопоездов

Контрольные вопросы

1. Дайте определение зимних лесовозных дорог.
2. Какие существуют типы зимних лесных дорог?
3. Перечислите особенности строительства зимних лесных дорог.
4. Перечислите основные виды снежного покрова.
5. Какие виды зимних отложений образуются на покрытиях лесовозных дорог?
6. Какие основные уровни содержания лесовозных автомобильных дорог вы знаете?

Глава 3

МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ЛЕСНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

3.1. Виды зимнего содержания лесных лесовозных дорог

Организация зимнего содержания лесных лесовозных автомобильных дорог включает в себя три этапа: подготовительный, технологически-подготовительный и этап непосредственного осуществления работ по зимнему содержанию [7].

Подготовительный этап предусматривает:

- анализ результатов работы по зимнему содержанию лесных лесовозных дорог в прошедшем сезоне, выявление недочетов и причин, их породивших;

- корректировку схемы организации зимнего содержания дорог на основе выявленных причин и недочетов;

- расчет потребностей в рабочей силе, машинах, химикатах, ГСМ;

- разработку графика привлечения резервного парка машин.

В технологическую подготовку входят следующие основные работы:

- разработка проекта производства работ по зимнему содержанию лесных лесовозных дорог;

- ремонт и опробование технологических линий (баз заготовки) хранения твердых и жидких противогололедных материалов;

- ремонт технологического оборудования для очистки проезжей части от твердых атмосферных осадков, распределение химических реагентов, монтаж технологического оборудования на транспортное шасси, опробование;

- создание запаса химических реагентов, ГСМ.

Осенью осуществляется подготовка дорог к работе в зимний период и осуществляются следующие работы:

- ремонт выбоин и местных разрушений покрытий;

- планировка и профилирование переходных типов покрытий, обочин;

- установка сигнальных вешек в пределах барьерного ограждения, сигнальных столбиков, малых искусственных сооружений;

- закрытие водопропускных труб щитами.

Непосредственные работы по зимнему содержанию дорог включают в себя выполнение очистки от снега.

На рис. 3.1 представлены применяемые схемы зимнего содержания лесных лесовозных автомобильных дорог [11]. Вариант А – традиционная схема содержания автомобильных дорог с ликвидацией зимней скользкости. Данная схема характеризуется полным удалением снежно-ледяного наката с дорожного покрытия путем патрульной снегоочистки и распределением твердых химических реагентов и их смесей с фрикционными материалами. Вариант Б – формирование уплотненного снежного покрова на проезжей части. Вариант В – повышение сцепления колес с дорожным покрытием. Вариант Г – удаление снежной шуги с покрытия (только при наличии уплотненного снежного покрова на проезжей части). Однако в работах таких исследователей, как А. П. Васильев и И. А. Афанасьев [2], [4] показано, что возможна эксплуатация автомобильных дорог, при которой снег с проезжей части не удаляется полностью и на проезжей части остается уплотненный слой снежно-ледяного наката плотностью не менее $0,4\text{--}0,6 \text{ г/см}^3$.

Нормальные условия движения автомобилей обеспечиваются при толщине уплотненного слоя снега до 90 мм (табл. 3.1).

Предельной величиной уплотненного слоя снега следует считать:

- на дорогах местного значения с регулярным автобусным движением в зимний период при интенсивности движения менее 200 авт./сут. (внешние автомобильные дороги предприятий лесного комплекса – подъездные дороги) – 50 мм;

- на местных дорогах без регулярного автобусного движения с интенсивностью менее 200 авт./сут. – 60–100 мм.

Состояние уплотненного снежного покрова на покрытии лесовозных дорог должно в совокупности обеспечить итоговый коэффициент расчетной скорости в пределах 0,80–0,85 [2], [11].

Зимняя скользкость может быть результатом трех видов отложений на дороге: стекловидный лёд, рыхлый снег и снежный накат. Скользкость в виде ровного слоя рыхлого снега образуется на дорогах во время снегопада при отсутствии ветра, температура должна быть ниже минус 10 °С (при влажности воздуха менее 90 % температурный диапазон смещается до минус 6 °С и ниже). Снежный накат в виде слоя уплотненного снега появляется на дороге при уплотнении влажного снега колесами проезжающих автомобилей. Условия возникновения включают в себя три случая:

температура воздуха от 0 °С до минус 6 °С и снегопад, температура воздуха от минус 6 °С до минус 10 °С и воздух влажностью выше 90 %, температура выше 0 °С и снегопад высокой интенсивности.



Рис. 3.1. Основные схемы зимнего содержания лесных лесовозных автомобильных дорог

Стекловидный лёд, образующийся на поверхности дороги, имеет три разновидности: гололедица, гололед и изморозь (изморозь также называют инеем, чёрным льдом).

Таблица 3.1

Коэффициенты сцепления автомобильных шин
с лесной дорогой

Вид скользкости	Коэффициент сцепления
Рыхлый снег	0,2
Снежный накат	0,1 – 0,25
Стекловидный лёд	0,08 – 0,15

Гололедица появляется при замерзании влаги, находящейся на поверхности дороги. Появление влаги может быть вызвано прошедшим дождем, таянием снега, выпадением снега при положительной температуре воздуха, а также это может быть влага, оставшаяся после применения химических реагентов. Наиболее благоприятными условиями появления гололедицы являются температуры воздуха от минус 2 °С до минус 6 °С при его влажности 65–85 %. Признаки возможного образования гололедицы:

- выпадение осадков при повышении атмосферного давления;
- ясная погода по окончании снегопада;
- низкая влажность окружающего воздуха;
- понижение температуры воздуха ниже 0 °С.

Гололёд является следствием выпадения на холодное покрытие осадков в виде дождя, снега, мороси. Наиболее благоприятные условия – влажность воздуха выше 90 % и его температура от +2 °С до минус 5 °С. Признаки возможного образования гололедицы: понижение атмосферного давления, повышение температуры и влажности воздуха, выпадение жидких осадков.

Изморозь образуется на поверхности дороги при конденсации влаги из воздуха на поверхности дороги и её замерзании. Такой вид скользкости трудно обнаружить, так как слой льда прозрачный и тонкий. Чаще всего она встречается на мостах ввиду высокой влажности воздуха от водоёмов с открытой поверхностью воды и сильного понижения температуры покрытия с малой теплоинерционностью. Признаки возможного образования изморози: влажность воздуха $\approx 100\%$, штиль, морозная безоблачная погода.

В табл. 3.1 были приведены коэффициенты сцепления шин с поверхностью дороги при наличии разных видов зимней скользкости.

Анализ эксплуатации существующей лесовозной сети и природно-климатических факторов на территории РФ, а также требований

к транспортно-эксплуатационному состоянию лесных лесовозных автомобильных дорог в зимний период позволяет сделать следующие выводы:

- зимнее содержание лесных лесовозных дорог – это работы, проводимые дорожными эксплуатационными организациями для обеспечения бесперебойного и безопасного движения, включающие очистку дорог от снега, защиту дорог от снежных заносов и борьбу с зимней скользкостью. При этом основная доля затрат при эксплуатации этих дорог приходится на зимнее содержание и составляет до 60 %, поэтому любое существенное сокращение затрат по этой статье при сохранении необходимого уровня безопасности дорожного движения становится целесообразным;

- наиболее сложными при зимнем содержании лесных лесовозных автомобильных дорог являются прогнозирование образования снежно-ледяных отложений на проезжей части и ликвидация зимней скользкости в зависимости от группы дорог (либо категории дороги) и уровня содержания;

- необходимо ввести нормирование снежно-ледяных отложений на проезжей части с целью рационального использования противогололедных материалов при ликвидации зимней скользкости.

3.2. Материалы для борьбы с зимней скользкостью на лесных лесовозных дорогах

3.2.1. Виды используемых противогололедных материалов

Основным видом борьбы с зимней скользкостью на лесовозных дорогах является распределение противогололедных материалов по дорожному покрытию. Классификация противогололедных материалов (ПГМ), рекомендованных к применению, приведена на рис. 3.2.

Используются разные способы применения ПГМ. При фрикционном способе обработку снежно-ледяных отложений осуществляют с целью повышения шероховатости поверхности дорожного покрытия. Для этого по покрытию распределяют песок, высевки, шлак, подогретые фрикционные материалы, что временно повышает сцепные качества (коэффициент сцепления) покрытий за счет наличия на нем абразивных материалов.

Фрикционные ПГМ должны повышать коэффициент сцепления со снежно-ледяными отложениями на покрытии для обеспечения безопасных

условий движения, иметь высокие физико-механические свойства, препятствующие разрушению, износу, дроблению и шлифованию ПГМ, и обладать свойствами, препятствующими увеличению запыленности воздуха и загрязнения придорожной полосы.

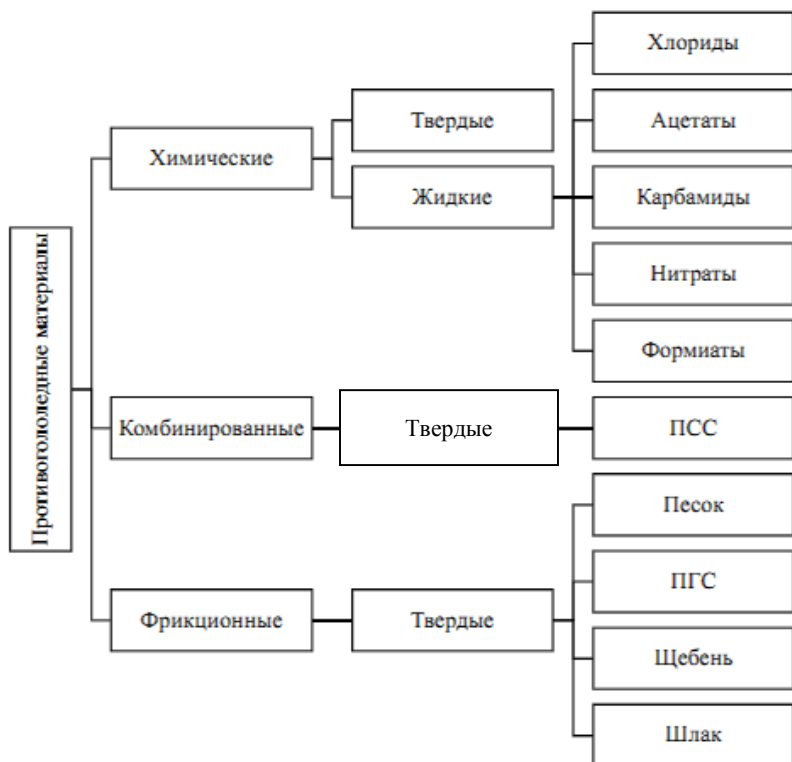


Рис. 3.2. Классификация противогололедных материалов для лесных дорог

В качестве фрикционного ПГМ используются природный песок, отсев дробления, шлаки, мелкий щебень.

Химический способ основан на использовании химических материалов, обладающих способностью при контакте со снежно-ледяными отложениями переводить их в раствор, не замерзающий при отрицательных температурах. Химические ПГМ применяют в твердом, жидком и смоченном виде. Сырьем для получения этих материалов чаще всего являются природные запасы солей натрия и кальция или отходы промышленности.

Все химические ПГМ, применяемые для борьбы с зимней скользкостью на дорогах и улицах, должны обладать следующими общими свойствами: понижать температуру замерзания раствора, обеспечивать таяние снежно-ледяных отложений на дорожных покрытиях, проникать сквозь слои снега и льда, разрушая межкристаллические связи, и снижать силы смерзания слоев отложений с дорожным покрытием, не увеличивать скользкость обработанных покрытий, особенно при использовании ПГМ в виде растворов, быть технологичными при хранении, транспортировке и применении, быть экологически безопасными и не оказывать вредного влияния на природную среду (растения, воду, почву и др.), металл, бетон, кожу и резину.

По химическому составу ПГМ этой группы разделяют на четыре подгруппы:

- хлориды (на основе хлорида натрия, хлорида кальция и хлорида магния);
- ацетаты (ацетат аммония, ацетат калия, ацетат кальция и ПГМ на их основе);
- карбамиды (мочевина, карбамидно-аммиачная селитра и ПГМ на их основе);
- нитраты (нитрат кальция, нитрат магния и ПГМ на их основе).

Также могут использоваться ПГМ на основе формиатов. Наиболее часто используются ПГМ на основе хлорида натрия и хлорида кальция. Прочие химические ПГМ используют как их замену вследствие меньшей агрессивности к бетону и металлам, однако, как правило, они более дорогие и менее эффективные.

Комбинированные ПГМ обладают одновременно свойствами фрикционных и химических материалов и состоят, как правило, из смеси песка и химических ПГМ. В качестве химических добавок используют твердые соли: технический натрий, соль сильвинитовых отвалов и хлористый кальций.

Комбинированные ПГМ должны иметь в своем составе не менее 10 % химически чистых солей. Эффективность борьбы с зимней скользкостью повышается с увеличением количества соли в смеси. При применении этого способа результат борьбы с зимней скользкостью получается такой же, как и при использовании химических ПГМ, но, в отличие от них, начинает действовать немедленно путём повышения сцепления с фрикционным материалом (песок, отсев и др.), в то время как при химическом способе необходимо время для расплавления льда или снежного наката.

Пескосоляную смесь приготавливают на базах ПГМ путем тщательного перемешивания компонентов смеси.

Физико-химический способ заключается в придании противогололедных свойств асфальтобетонному покрытию путем введения в асфальтобетонную смесь антигололедного наполнителя "Грикол", который на поверхности покрытия создает гидрофобный слой, снижающий адгезию снежно-ледяных отложений к покрытию или предотвращающий их образование. База ПГМ совмещена с производственной площадкой асфальтобетонного завода и позволяет использовать этот способ борьбы с зимней скользкостью.

В исключительных случаях возможно хранение комбинированных и химических ПГМ, отгружаемых без тары (навалом), на открытых площадках в штабелях, закрываемых водонепроницаемым материалом. Химические ПГМ, отпускаемые в мелкой или крупной таре, хранятся в штабелях на крытых складах и перегружаются крановым оборудованием со специальными строповочными захватами.

Нельзя допускать хранения твердых ПГМ в поврежденной таре, так как они обладают свойством интенсивно впитывать влагу. После получения материала от поставщика необходимо осмотреть тару и определить поврежденные мешки. ПГМ из таких мешков должен быть пересыпан в плотно закрывающуюся тару или использован в первую очередь во избежание накопления влаги. Также ПГМ из таких мешков можно использовать для приготовления раствора.

Для приготовления пескосоляной смеси (ПСС) – комбинированного противогололедного материала устраиваются открытые обвалованные по периметру площадки с покрытием из асфальтобетона и дренажной системой с испарительным бассейном и колодцами для предотвращения засоления окружающей среды. Также должен быть обеспечен сток талых вод посредством вертикальной планировки площадки. Выполняется обваловка трапециевидного сечения из песчаного асфальтобетона, а на въезде–выезде обваловка имеет пологий серповидный профиль. Площадка должна иметь ограждение, въездные ворота и наружное освещение.

3.2.2. Хранение и приготовление противогололедных материалов

Противогололедные материалы хранятся на специализированных базах и складах, вид которых зависит от типов применяемых на обслуживаемом участке ПГМ, площади обслуживаемых дорог, типов распределителей материалов, их производительности и других факторов.

Для хранения химических противогололедных материалов должны использоваться крытые склады вместимостью не менее 80 % сезонной потребности. Пространство внутри склада должно обеспечивать свободное передвижение и работу техники и транспорта. Во избежание коррозии от агрессивного воздействия солей и механических повреждений от техники должны быть приняты меры по защите металлических, бетонных и кирпичных стен внутри склада.

Целесообразно проводить заготовку ПГМ во время летнего или осеннего периода в объеме, достаточном для предупреждения и ликвидации зимней скользкости в течение всего зимнего периода на обслуживаемом участке автомобильной дороги.

Пескосоленые смеси, завезенные на открытую площадку, разравнивают слоем толщиной от 10 до 15 см. Затем на песчаный слой точно распределяется соль в количестве, необходимом для приготовления 10 %-й или 20 %-й ПСС. После этого автогрейдером или фронтальным погрузчиком проводятся разравнивание и перемешивание соли с песком.

В случае, если процентное содержание химических ПГМ в песке удовлетворяет требованиям, приготовленную смесь буртуют с помощью фронтального погрузчика. Погрузка пескосоляной смеси из штабеля в машины-распределители выполняется погрузчиком.

По окончании работ механизмы, принимавшие участие в погрузке химических и комбинированных ПГМ, должны быть тщательно очищены.

3.2.3. Особенности применения противогололедных материалов

Ликвидация и предупреждение зимней скользкости включают в себя следующие мероприятия:

- профилактическая обработка дорожных покрытий ПГМ до появления скользкости или снежно-ледяных отложений в начале снегопада;
- ликвидация снежного наката и снежно-ледяных отложений;
- обработка фрикционными материалами снежного наката и снежно-ледяных отложений на покрытии.

При получении информации о возможном образовании стекловидного льда следует провести обработку покрытия химическим ПГМ с нормой расхода от 5 до 15 г/м² за 1–2 часа до прогнозируемого появления скользкости. Для этих целей используются твердые хлориды, жидкие хлориды и смоченные соли, при этом сухие соли эффективно применять

только при наличии влаги на покрытии дороги для ускорения действия ПГМ. При продолжении выпадения осадков проводится дополнительная обработка с нормой, приведенной в табл. 3.2, или за вычетом уже распределённой нормы реагентов.

Таблица 3.2

Нормы расхода фрикционных противогололедных материалов
в зависимости от интенсивности движения

Интенсивность обработки, авт./сут.	Норма расхода ПГМ, г/м ²
< 500	100–150
500–1000	150–250
1000–3000	150–250

При получении информации о возможном образовании снежного наката в период снегопада проводится распределение химических или комбинированных ПГМ во время снегопада, пока колеса автомобилей не уплотнили свежевыпавший снег. После истечения промежутка времени, называемого выдержкой, за который на покрытии накапливается количество снега, достаточное для закрепления в нём противогололедного материала, начинают обработку покрытия. Выдержка длится от 15 мин при интенсивности снегопада 1–3 мм/ч до 45 мин при интенсивности 0,5–1 мм/ч. Затем выдерживается интервал, в который распределённый ПГМ, смешиваясь со снегом, образует неслеживающуюся и неуплотняющуюся массу. Длительность интервала назначается исходя из интенсивности снегопада, снегонакопления и активности ПГМ. По истечении времени интервала снег удаляется с поверхности дороги снегоочистителями.

Если снегопад продолжается, то необходимо повторить цикл выдержка – распределение ПГМ – интервал – снегоочистка. Повторную и последующие обработки покрытий осуществляют при уменьшении 50 % фрикционных материалов с проезжей части.

Нормы расхода фрикционных материалов назначают в зависимости от интенсивности движения по табл. 3.2. Если норма расхода превышает 200 г/м², то обработку выполняют в два приёма. Для лучшего закрепления на поверхности снежно-ледяных отложений, фрикционные каменные материалы предварительно разогревают до температуры от 80 до 100 °С и распределяют по покрытию.

Нормы распределения ПГМ устанавливаются по табл. 3.3 в зависимости от температуры воздуха и интенсивности выпадения осадков.

Таблица 3.3

Нормы расхода химических
и комбинированных противоголедных материалов
в зависимости от температуры воздуха

Наименование ПГМ	Рыхлый снег и накат, минусовая температура, °С					Стекловидный лед, минусовая температура, °С		
	-2	-4	-8	-12	-16	-2	-4	-8
Соль NaCl	10	20	30	50	60	45	90	160
Бесхлоридный ПГМ	20	30	50	60	70	80	140	240
ПСС 10 %	100	200	300	500	600	450	900	1600
ПСС 20 %	50	100	150	250	300	225	450	800

Ликвидация уже образовавшегося снежного наката включает в себя нанесение ПГМ с нормой расхода по табл. 3.3, выдержку времени для плавления и разрыхления наката под действием распределенного ПГМ и очистку дороги от снега и шуги. При использовании данных табл. 3.3 следует учитывать, что приведенные нормы распределения хлоридов обеспечивают лишь частичное плавление уплотненного или рыхлого снега до состояния, при котором ранее уплотненный накат разрыхляется, а свежевыпавший снег не успевает уплотниться под действием транспортных средств.

Ликвидацию зимней скользкости с помощью комбинированных ПГМ осуществляют аналогично химическим материалам, норму распределения назначают с учетом состояния снежно-ледяных отложений, температуры воздуха, количества отложений и количества химических ПГМ в смеси. Норму распределения ПГМ (N_k , г/м²) рассчитывают по формуле

$$N_k = \frac{100V}{N_\phi}, \quad (3.1)$$

где N_k – норма распределения химического ПГМ, принятая по табл. 3.3, г/м²;

N_ϕ – принятое количество химических ПГМ (10 – 20 %) или фактическое содержание в готовой смеси, определенное лабораторным путем, %.

Нормы для борьбы со стекловидным льдом должны быть рассчитаны с учетом полного расплавления ледяных отложений.

Нормы распределения ПГМ рассчитаны из условий ликвидации скользкости на покрытии дороги площадью 1 м^2 при наличии на этой площади 1 мм льда. Для каждого случая ликвидации скользкости расход ПГМ определяют с учетом фактического количества выпавших осадков и температуры воздуха. Например, если толщина льда на покрытии превышает 3 мм , то следует проводить посыпку хлоридами в 2 приема и более при той же норме распределения.

Количество снежно-ледяных отложений, образовавшихся на 1 м^2 дорожного покрытия, определяют с помощью штангенциркуля или металлической линейки. Затем определяют плотность отложений путем взвешивания пробы либо приблизительно по внешнему виду снежного наката, как указано в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Приблизительная оценка плотности снежно-ледяных отложений

Внешний вид отложений	Плотность, г/см^3
Рыхлый снег	0,05–0,1
Прикатанный снег	0,1–0,3
Уплотненная корка наката	0,3–0,4
Старый накат	0,4–0,6
Шероховатый лёд	0,6–0,7
Стекловидный лёд	0,7–0,9

После определения толщины и плотности находят количество отложений в миллиметрах воды. В современных условиях для определения количества и прогнозирования осадков часто находят применение дорожные метеостанции.

В первую очередь выполняется обработка опасных участков с кривыми малых радиусов и со значительными продольными уклонами. Также в первую очередь выполняется обработка искусственных сооружений ввиду высокой вероятности образования гололёдных явлений на эстакадах и путепроводах и особенно на средних и больших мостах.

Перед началом сезона зимней скользкости необходимо исправить дефекты покрытия и других элементов искусственного сооружения. Особое внимание следует уделить гидроизоляции, деформационным швам, водоотводящим конструкциям и местам с оголенной арматурой. Металлические элементы нужно очистить от грязи и ржавчины и покрасить.

На искусственных сооружениях запрещено применение химических ПГМ на основе хлоридов, в связи с этим необходимо использовать ацетатные, карбамидные и формиатные химические ПГМ либо применять фрикционный метод ликвидации скользкости.

На цементобетонных покрытиях применение противогололедных материалов на основе хлористых солей в течение одного года с момента укладки цементобетонной смеси запрещено. Для борьбы с зимней скользкостью в этот период рекомендуется использовать ПГМ, не содержащие хлориды, или применять фрикционные материалы без солей.

Распределение ПГМ выполняют на всю ширину проезжей части с учетом полос безопасности и укрепленной части обочин на всей длине автомобильных дорог, включая покрытие съездов транспортных развязок. Обработку осуществляют специальными распределителями для твердых, жидких и смоченных противогололедных материалов.

Необходимое количество выбранных марок распределителей определяют в зависимости от имеющихся видов и принятых норм распределения ПГМ, расстояния между базами хранения ПГМ, от производительности машин, а также заданного срока ликвидации зимней скользкости [7].

Фрикционные ПГМ применяют в условиях низких температур окружающего воздуха (ниже минус 16 °С), когда обработка обычными ПГМ может привести к повышению скользкости на покрытии из-за замерзания воды от растаявшего снега. В качестве фрикционного материала используют песчано-гравийные смеси.

Химические ПГМ применяются при температуре воздуха около 0 °С или при переходах через 0 °С. Также в этом температурном диапазоне могут использоваться жидкие рассолы, как естественного происхождения, так и приготовленные на базе. Учитывая, что в период зимней скользкости таких переходов с образованием скользкости может быть от 70 и больше, около 30 % запасов ПГМ должны приходиться на химические реагенты. В качестве хлоридосодержащего химического ПГМ в условиях Уральского федерального округа применяется концентрат «минеральный галит» производства ООО «Евразийская соляная компания».

Искусственные сооружения (мосты, путепроводы), а также участки дорог с цементобетонным покрытием обрабатываются бесхлоридными ПГМ. В качестве бесхлоридного ПГМ возможно использование ПГМ Бионорд-Мосты производства ООО «Уральский завод противогололедных материалов».

В остальных случаях применяется комбинированный способ борьбы с зимней скользкостью (распределение пескосоляной смеси различной концентрации).

С учетом вместимости складов необходимо проводить оценку площади участков обслуживания. Например, для Серовского района Свердловской области длительность периода возможной зимней скользкости составляет около 178 дней, из них 98 дней с возможным образованием зимней скользкости. Таким образом, в этих условиях на каждые 1000 м² обслуживаемого участка потребуется 2,2 т соли в пересчете на твёрдые хлопья.

3.2.4. Общий принцип расчета количества распределителей противогололедных материалов

Расчет необходимого количества распределителей противогололедных материалов, например комбинированных дорожных машин (КДМ), осуществляется исходя из того, что за время, установленное по ГОСТ Р 50597, обслуживаемая сеть дорог должна быть обработана ПГМ на всем протяжении [7]. Необходимое количество КДМ определяется для каждого объекта обслуживания. Для всей сети лесных дорог необходимое количество КДМ находится суммированием всех потребностей на объектах.

В основу методики расчета потребного количества машин положены следующие данные: протяженность обслуживаемого участка, ширина обработки проезжей части, расстояние обслуживаемого участка до базы ПГМ, тип используемого ПГМ и средняя норма распределения, вместимость бункера КДМ, ширина распределения ПГМ, транспортная скорость КДМ без груза и с грузом, рабочая скорость обработки, время загрузки КДМ на базе, принятый срок ликвидации зимней скользкости.

Рассмотрим методику расчета потребности распределителей противогололедных материалов – КДМ.

1. Оценка дальности возки ПГМ. Средневзвешенная дальность возки (R , км) для участков с различной шириной обработки

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n L_{оп}}{2n} + \frac{\sum_{i=1}^n L}{n}, \quad (3.2)$$

где $L_{оп}$ – протяженность объекта содержания, км;

L – расстояние от базы до начала объекта содержания, км;

n – количество объектов содержания.

2. Определение требуемого количества (Q , т) противогололедных материалов для обработки всех объектов содержания

$$Q = L_{\text{дор}} h p, \quad (3.3)$$

где h – ширина распределения ПГМ, м;
 p – средняя норма распределения, кг/м².

3. Определение эксплуатационной производительности распределителей противогололедных материалов.

При распределении технологических материалов (пескореагентной или пескосоляной смеси) различают полный и неполный цикл работы.

Производительность (Π , м²/ч) распределителей при работе по полному циклу:

$$\Pi = \frac{QK_3 \gamma K_u 60}{q_p \left(\frac{QK_3 \gamma 60}{q_p v_m b} + \frac{2l_0 60}{v_{\text{тр.ср.}}} + t_n + t_{\text{н.з.}} \right)}, \quad (3.4)$$

где Q – вместимость кузова машины, м³;
 γ – объемная масса пескосоляной смеси или реагентов, кг/м³;
 q_p – норма или плотность распределения соответственно пескосоляной смеси или реагентов, кг/м²;
 v_m – скорость машины соответственно при распределении пескосоляной смеси или реагентов, $v_m \approx 4-6$ м/с;
 l_0 – расстояние от места работы машин до мест хранения материалов, км;
 t_n – продолжительность погрузки материалов, мин;
 b – ширина обрабатываемой полосы, $b \approx 2-12$ м;
 K_3 – коэффициент заполнения кузова машины, $K_3 \approx 0,7-1,1$;
 K_u – коэффициент использования машины на линии, $K_u = T_p/T_n$;
 T_p – продолжительность работы машины, ч;
 T_n – продолжительность пребывания машины на линии;
 $t_{\text{н.з.}}$ – подготовительно-заключительные операции, ч.

Производительность (Π , м²/ч) распределителей при работе по неполному циклу. При использовании распределителей по неполному рабочему циклу распределитель находится на дежурстве с кузовом, заполненным материалом, и его цикл состоит только в его распределении, так как переезды к месту хранения материалов и обратно, а также их погрузка в кузов распределителя обеспечиваются во время интервала в работе или в период

сгребания или сметания снега снегоочистителями. В этом случае производительность равна

$$P = b v_m K_u. \quad (3.5)$$

Площадь обработанного участка, м²:

$$P_{пл} = Q K_3 \gamma / q_p. \quad (3.6)$$

Время работы КДМ по неполному циклу, ч:

$$T_p = Q K_3 \gamma / q_p v_m b K_u. \quad (3.7)$$

Потребность распределителей по участкам:

$$N = Q / P t, \quad (3.8)$$

где Q – требуемое количество ПГМ, т;

P – производительность одного распределителя, т/ч;

t – срок ликвидации зимней скользкости, ч.

Технология выполнения работ

Технология предусматривает химический способ борьбы как с уже сформировавшейся скользкостью, так и в целях профилактики. Ледяные отложения на дорожном покрытии в виде тонкой пленки необходимо расплавлять полностью, а отложения на дороге в виде снежного наката или слоя свежевыпавшего снега плавят частично до образования рыхлой снежной массы, не способной подвергаться уплотнению под действием колес автомобилей.

Удаление снежно-ледяных отложений ведется в следующей последовательности:

- распределение ПГМ (пескосоляной смеси с содержанием 20 % чистых хлоридов, 20 %-ного природного хлористо-кальциевого рассола или СБГ) по поверхности образовавшихся снежно-ледяных отложений согласно нормам распределения (г/м² или л/м²) для данного вида скользкости;

- технологический перерыв 1 – 3 часа для увлажнения отложений вследствие их плавления хлоридами и разрыхления в результате воздействия автомобилей и незамедлительная очистка проезжей части дороги от образовавшейся рыхлой мокрой массы.

Технология удаления стекловидного льда с проезжей части заключается только в распределении противогололедного материала по поверхности ледяной корки с учетом норм распределений.

Технология работ с целью предупреждения образования снежного наката предусматривает проведение работ в следующем порядке:

- в период снегопада спустя 20–40 мин после его начала с целью закрепления в слое снега хлоридов проводится распределение противогололедных материалов с учетом норм распределения;
- после прекращения снегопада проводится удаление снежной массы с дорожного покрытия.

Технологическая карта удаления снежно-ледяных отложений представлена на рис. 3.3.

	Технологическая операция №1	Технологическая операция №2
	Распределение противогололедных материалов	Уборка с покрытия остатков снега и льда
12 м		
	←	←
	Количество машин в отряде - 1	Количество машин в отряде - 2

Рис. 3.3. Технологическая карта удаления снежно-ледяных отложений и очистки покрытия на лесных дорогах:

- 1 – распределитель противогололедных материалов;
- 2, 3 – плужно-щеточные снегоочистители

3.3. Организация и технология патрульной очистки лесовозных дорог от снега

В зимний период одним из основных технологических процессов содержания лесных дорог является патрульная очистка их проезжей части от снега.

Техническая производительность ($П_T$, м²/ч) плужных снегоочистителей при патрульном содержании дорог определится как

$$П_T = 3600 (B - B_{пер}) V_M, \quad (3.9)$$

где $B_{пер}$ – ширина перекрытия проходов, $B_{пер} = 0,2-0,3$ м;

B – ширина полосы захвата, м;

V_M – рабочая скорость машины, м/с.

Техническая производительность плужных снегоочистителей при уборке снега после снегопада ($П_T$, м³/ч):

$$П_T = 3600 (B - B_{пер}) h V_M, \quad (3.10)$$

или ($П_T$, т/ч)

$$П_T = 3600 (B - B_{пер}) h V_M \rho, \quad (3.11)$$

где h – толщина убираемого слоя снега, м;

ρ – плотность снега, т/м³.

В некоторых случаях работа скоростных снегоочистителей может оцениваться по эффективной производительности ($П_{эф}$, м⁴/ч):

$$П_{эф} = П_T l_{max}, \quad (3.12)$$

где l_{max} – дальность отбрасывания снега в направлении, перпендикулярном движению машины, $l_{max} = 5-12$ м.

В случае использования данной операции применяют специальные скоростные снегоочистители типа комбинированной дорожно-уборочной машины КДМ на базе автомобиля-самосвала КамАЗ (марка ДМК-40). Технические характеристики машины приведены в табл. 3.5. Ее сменная производительность приведена в табл. 3.6.

Таблица 3.5

Технические характеристики машины КДМ
на базе КамАЗ (ДМК-40)

Наименование и индекс	Ширина обработки, м
Отвал передний скоростной ОПА-2700	2,7
Отвал передний цилиндрический поворотный ОПАГп-2500	2,6–3,6
Отвал средний ОСА	2,4–2,9
Отвал боковой ОБА	1,85
Пескосолераспределитель съемный дисковый РПМ (емкость бункера 8 м ³)	4,0–6,5
Кузов самосвальный с задней загрузкой вместимостью 8 м ³	–

Технология выполнения работ

На всех дорогах, где поддерживается требуемый уровень зимнего содержания, основным мероприятием назначается патрулирование [7]. Патрулирование ведется периодически проходами автомобильных плужных снегоочистителей по закрепленному участку на протяжении всей метели или снегопада.

Таблица 3.6

Производительность машины КДМ на базе КамАЗ (ДМК-40)

Наименование и условия выполняемых работ	Производительность за смену, тыс. м ²
Очистка от свежего снега (слой 0,3 м) передним и боковым отвалами одновременно при ширине обработки 4,9 м	2000

Очистку можно проводить отрядом плужных автомобильных снегоочистителей или одиночными машинами со скоростью до 50–60 км/ч в зависимости от интенсивности снегопада или метели.

Плужно-щеточными автомобильными снегоочистителями снег перемещают от оси дороги к обочине. Машины в плане движутся уступом одна за другой на расстоянии 30–60 м, а при скоростной снегоочистке 80–100 м. Ближняя к обочине машина может использовать боковое крыло.

На участках дорог, проходящих по косогорам, очистка дорожного полотна начинается со стороны верхового откоса и ведется последовательными проходами снегоочистителей с перемещением в сторону низового откоса. Снежные валы удаляют с помощью роторных снегоочистителей.

Технологическая карта патрульной очистки представлена на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Технологическая карта патрульной очистки лесных дорог от снега:

- 1 – плужно-щеточный снегоочиститель с боковым отвалом типа КДМ на базе КамАЗа (ДМК-40); 2 – шнекороторный снегоочиститель ДЭ-206

3.4. Организация и технология защиты лесных дорог от снегоотложений

Отложения снега на поверхности лесной автомобильной дороги образуются в результате снегопадов и снегоприноса ветром с территории, прилегающей к дороге [6], [18].

Снегопад характеризуется спокойным выпадением рыхлого снега в безветренную погоду и равномерным его отложением на дороге. Рыхлый снег имеет небольшую плотность (0,07–0,15 г/см³) и малую толщину (от 1 до 5 см).

Помимо выпадения осадков на проезжую часть в виде снега, различные участки автомобильных дорог, расположенные под разными углами к господствующим направлениям ветров и находящиеся на различном

уровне по отношению к окружающей местности, будут подвержены различной степени снегозаносимости. То есть снегозаносимость – это подверженность дороги образованию на ней снежных заносов. Таким образом, защита участка дороги от снежных заносов будет зависеть не только от степени ее подверженности заносам, но и от ее снегозаносимости и величины снегоотложений.

Рассмотрим наиболее типичные климатические явления снегоотложений [6], [16]. Поземка возникает, когда ветер метет снег с горизонтальных поверхностей снежного покрова при отсутствии снегопада. Снег над поверхностью может подниматься на сравнительно небольшую высоту, не более 30 см. В результате на дороге образуется снежный занос в виде сплошного слоя или отдельных переметов.

Низовая метель в отличие от поземки характеризуется переносом снежной массы не только по поверхности снежного покрова, но и в воздухе на высотах до двух метров и более. В этом случае на дороге образуется плотный снежный покров.

Верховая метель бывает во время снегопада, когда снежинки переносятся в воздухе, не отрываясь от снежного покрова. На дороге образуется неравномерный слой снега сравнительно небольшой величины.

Комбинированная, или двойная, метель наблюдается, когда верховая метель идет одновременно с поземкой или низовой метелью. В результате такой двойной метели на дороге образуются снежные заносы большой глыбины и плотностью до $0,35 \text{ г/см}^3$.

Наибольшая масса снега при метелях переносится в нижнем слое на высоте от 20 до 30 см над снежным покровом. При отсутствии снегопада объем переносимого ветром снега на высоте уже двух метров очень мал и не оказывает заметного влияния на заносы на дорогах.

Таким образом дорога заносится в результате идущего снега и приноса снежной массы ветром во время метелей. В зависимости от объема приносимого к дороге снега решаются и вопросы по ее снегозащите.

Объемы снегоотложения на дорогах – это количество снега, задержанного на проезжей части в результате снижения скорости метелевой снежной массы. Как показывает практика, на открытой местности меньше всего заносится снегом проезжая часть, расположенная на высоких насыпях [6], [18].

Количество снега, приносимого к дороге за зиму в результате действия метелей, называется объемом снегоприноса. Снегопринос представляет собой только некоторую часть объема от общего снегопереноса.

В общем случае между снегоприносом Q_n и снегопереносом Q_{nep} существует определенная зависимость:

$$Q_n = Q_{nep} \sin \alpha, \quad (3.13)$$

где α – угол между направлением метелевого ветра и осью дороги.

В случае, если направление ветра совпадает с осью дороги, снегоприноса к ней не будет, хотя на открытых участках и наблюдается перенос снега. В то же время необходимо учитывать и потери снега по длине зоны снегопереноса.

Общая масса снега, которая переносится в единицу времени через 1 м фронта метелевого потока, будет называться полным расходом. Полный расход можно определить с некоторым приближением по формуле

$$g = c V_e^3, \quad (3.14)$$

где g – полный расход ветроснегового потока, г/м·с;

c – коэффициент пропорциональности;

V_e – скорость ветра, м/с.

Для определения объема снегоприноса воспользуемся способом расходов. Сущность способа заключается в том, что суммарное количество снега, принесенное к одной стороне дороги в течение зимы Q_n , равно объему снега, принесенного всеми метелями за зиму, дувшими с этой стороны дороги. В свою очередь, в образовании объема снега, принесенного к дороге за одну метель, принимают участие все ветры, дующие по направлению к дороге в течение действия метели.

С учетом сказанного снегопринос к одной стороне дороги за зиму может быть вычислен по следующей формуле:

$$Q_n = \frac{2,9 \cdot 10^{-4}}{\gamma} \sin \alpha \sum_1^n qt, \quad (3.15)$$

где Q_n – объем снегоприноса за зиму к одной стороне дороги, м³/м;

α – угол (углы) между направлением метелевого ветра и осью дороги (снегозащитными сооружениями) во время метелей, в градусах;

q – полный расход ветроснегового потока, г/м·с;

t – продолжительность метелей (ч) с расходом g ;

n – число снежных метелей за зиму (количество дней, в течение которых дует ветер) при различном расходе g ;

γ – плотность снега в отложениях у дороги, г/м³.

Если плотность свежего принесенного к дороге снега принять равной 250 кг/м^3 , то формула (3.15) примет вид

$$Q_n = 0,12 \sin \alpha \sum_1^n qt. \quad (3.16)$$

Полный расход ветроснегового потока зависит от скорости ветра $V_в$ и может быть определен следующим образом:

- при $V_в < 8 \text{ м/с}$ полный расход ветроснегового потока $q = 0,022 V_в^3$;
- при $8 < V_в < 16 \text{ м/с}$ полный расход ветроснегового потока $q = 0,07 (V_в - 4,2)^3$;
- при $V_в > 16 \text{ м/с}$ полный расход ветроснегового потока составит $q = 0,013 (V_в - 4,2)^3 / (1 + 0,015 V_в)$.

Следует отметить также и влияние господствующих ветров на снегозаносимость дорог. Господствующие ветры по отношению к дороге определяются по розе ветров и направлениям участков дороги (румбам). Для этого через центр розы ветров проводятся под заданным румбом направления участков дороги. Румбы участков берутся по карте или на продольном профиле. Затем находятся углы дующих ветров к дороге справа и слева от нее.

Согласно исследованиям А. К. Дюнина, опасность заноса дороги отсутствует, если ветер имеет направление под углом меньше $20^\circ - 30^\circ$. С учетом этого ветры, направленные к дороге под углом меньше 30° , можно не принимать во внимание [6], [8], [18]. По данным метеостанций берутся данные по ветровому режиму за последние 10 или больше лет, а затем определяют объем снегоприноса Q_n за каждый последующий год.

При встрече с телом насыпи автомобильной дороги снежный поток начинает ее обтекать. На наветренном откосе насыпи струи воздуха поднимаются вверх и сталкиваются со снежным потоком, перемещающимся над насыпью. Происходит сжатие воздушных струй, и скорость воздушного потока становится больше скорости ветрового потока на полевом участке. В результате транспортирующая способность метелевого ветра увеличивается, и снег не отлагается на участках насыпи.

После прохода насыпи сжатие воздушных струй прекращается и на подветренном откосе наблюдается существенное гашение скорости, что приводит к значительному объему снегоотложений на этом участке от-

коса. При этом на наветренном откосе откладывается значительно меньшее количество снега. В случае изменения направления ветра наветренный откос становится подветренным, и на нем начинает откладываться большее количество снега. Таким образом, в течение зимы оба откоса насыпи подвергаются снеготранспортируемости.

Следует учитывать, что, чем больше высота насыпи, тем будет больше снегоемкость ее откосов и степень снеготранспортируемости дороги будет уменьшаться. Под снегоемкостью откоса понимается количество снега, которое может на нем разместиться.

Снегоотложения на откосах будут продолжаться до тех пор, пока снежный шлейф на них не приобретет величину крутизны от 1:5 до 1:6. При такой крутизне откоса воздушный поток будет плавно обдувать насыпь и почти не заносить ее снегом. Данный факт отражен в нормативном документе (СП 288.1325800.2016) [17].

Рабочая отметка насыпи должна удовлетворять следующему выражению:

$$H_H = H_P + \Delta h, \quad (3.17)$$

где H_H – высота незаносимой отметки;

H_P – расчетная высота снежного покрова с вероятностью 5%, м;

Δh – возвышение над расчетным уровнем снежного покрова, м.

Величину Δh определяют из двух условий: обеспечение скорости снеговетрового потока, необходимой для переноса снега через земляное полотно без снегоотложений на дороге, и размещение объема снега, сбрасываемого с дороги при снегоочистке, вдоль земляного полотна. При этом бровка дороги должна оставаться выше снегового покрова. Для выполнения первого условия следует учитывать ширину земляного полотна. Для выполнения второго условия Δh находят с учетом высоты снежного покрова на местности.

Что касается выемок, то снеговой поток при прохождении над ними существенно снижает свою скорость. Это приводит к отложению снега на ближнем по отношению к ветру откосе. В выемках глубиной от 2 до 4 м возникает вихревое движение потока снежинок. Над проезжей частью вихревой поток имеет большую транспортирующую способность. В результате этого существенно снижается отложение снега на лесной дороге.

Что касается пологих откосов (от 1:4 до 1:6), то снежный поток плавно обтекает контур выемки. Она лучше продувается и меньше заносится снегом, и тем интенсивнее в ней вихревое движение снежопотока. У глубоких выемок (от 6 до 8 м) длина откосов больше и снегоемкость их соответственно выше. На них может разместиться больше снежных отложений, поэтому дорога будет меньше заноситься снегом.

При изменении направления ветра снег начинает откладываться на другом откосе, который теперь становится ближним по отношению к направлению ветра, и процесс повторяется.

Для уменьшения снеготранспортируемости выемок и облегчения их очистки от снега рекомендуется проведение следующих мероприятий: мелкие выемки, глубиной до 1 м, делаются раскрытыми с уклонами откосов от 1:5 до 1:10; в выемках глубиной от 1 до 5 м с крутыми откосами (от 1:1,5 до 1:2) устраивают дополнительные полки шириной 4 м для проезда роторных снегоочистителей, которые удаляют отложившийся в выемках снег; у глубоких выемок, глубже 5 м, дополнительные полки не делаются, так как снегоемкость их откосов и так достаточно большая.

Отложение снега в выемках ограничивает видимость на кривых участках дороги, поэтому при радиусе кривой до 600 м проводится срезка грунта внутрь откоса. Это позволяет увеличить ширину выемки и обеспечить видимость дороги на кривых с малым радиусом. Дорога в выемке будет существенно меньше заноситься снегом, если снегоемкость ее откоса будет больше, чем общие объемы от снегопадов и от приносимого метелями снега.

Общее условие незаносимости выемки снегом можно представить как

$$W_0 \geq W_C + W_M, \quad (3.18)$$

где W_0 – снегоемкость откоса и подкюветной части выемки, т. е. объем снега, который может задержаться на склоне перед проезжей частью, м³/м;

W_M – метельный снегопринос, поступающий за зиму к выемке с поля, м³/м;

W_C – объем снега, попадающего на откос и кювет за зиму при снегопадах, м³/м.

Защита участков лесовозной дороги от снежных заносов осуществляется тремя способами:

1) задержка переносимого метелью снега на подступах к дороге специальными устройствами, чтобы вызвать образование снежных отложений на безопасном расстоянии от лесной дороги;

2) увеличение скорости ветрового потока над дорогой с целью предотвращения снегоотложения на проезжей части;

3) укрытие всего участка дороги от снега путем устройства тоннелей и других защитных сооружений (противолавинные галереи).

Ниже рассмотрено использование только первого способа защиты лесных дорог от снежных заносов с применением специальных устройств. К подобным специальным устройствам относятся различные снегозащитные решетки. Решетки устраиваются из полимерных или металлических сеток, отличающихся по конструкции и текстуре, и деревянных снегозадерживающих щитов [21].

Временные снегозадерживающие сооружения характеризуются двумя параметрами – проницаемостью и просветностью.

Проницаемость оценивается коэффициентом проницаемости:

$$r = V_1/V_2, \quad (3.19)$$

где V_1 – средняя скорость ветра за преградой, м/с;

V_2 – средняя скорость ветра в поле на подходах к преграде, м/с.

Просветность оценивается коэффициентом просветности:

$$p = S_1/S_2, \quad (3.20)$$

где S_1 – площадь просветов в заграждении, см²;

S_2 – общая площадь заграждения, см².

Для сплошной преграды коэффициент $p = 0$.

Решетчатый щит работает следующим образом. Снежная масса потока в поле перед щитом имеет скорость V_0 , затем, проходя через отверстия щита, поток сжимается и скорость увеличивается. После прохода щита скорость уменьшается и происходит выпадение снежинок за щитом перед дорогой.

Меньшая часть снежинок, ударяясь о планки, осаждается перед щитом. Обычно щиты устанавливают сплошной линией параллельно оси дороги, привязывая их к кольям. Расстояние между кольями составляет 1,9 м, так как ширина щита 2,0 м. Колья вбиваются заранее, осенью. Они

могут быть как деревянными, так и металлическими (например, труба небольшого диаметра). Схема формирования снежного вала за снегозадерживающими сооружениями представлена на рис. 3.5.

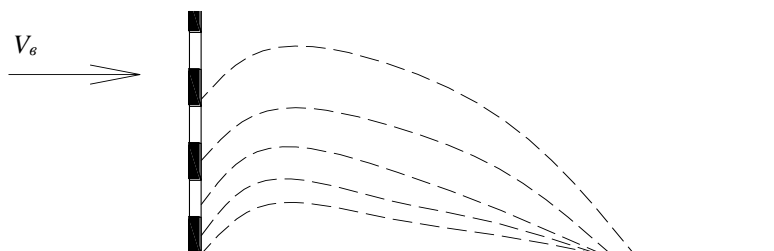


Рис. 3.5. Формирования снежного вала за снегозадерживающими сооружениями

Снегозадерживающие переносные щиты изготавливаются из деревянных материалов, которые скрепляют таким образом, чтобы образовалась решетка. Медленнее всего заносится снегом щиты с неравномерно распределенным заполнением, когда решетка сгущена кверху и разрежена внизу. Существует четыре типа щитов со сгущенной решеткой в верхней части. Параметры щитов представлены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Параметры снегозадерживающих щитов

Тип щита	Высота щита, м	Просветность, %			Скорость ветра, м/с	Объем снегоприноса, м ³ /м
		общая	нижней части	верхней части		
I	2,0	50	60	40	>20	>100
II	1,5	50	60	40	>20	<100
III	2,0	60	70	50	<20	>100
IV	1,5	60	70	50	<20	<100

Снегоемкость решетчатых щитов вычисляется по формуле

$$W_0 = 9 H^2, \quad (3.21)$$

где W_0 – снегоемкость щитов, установленных в один ряд, м³/м;
 H – высота щита, м.

При установке щитов в несколько рядов их снегоемкость определится как

$$W_0 = 8(1+(n-1)\varepsilon)H^2, \quad (3.22)$$

где n – число рядов щитов;

ε – коэффициент, учитывающий влияние рядов ($\varepsilon = 1-2$).

Выбор той или иной конструкции щитов зависит от объема снегоприноса к дороге и скорости ветра. Однорядное расположение щитов используется при малых значениях объема снегоприноса, который подсчитывается по формуле (3.21).

Следует иметь в виду, что снегоемкость щитов можно увеличить не только за счет многорядности, но и за счет их перестановки. Обычно щиты устанавливаются в один ряд с последующей их перестановкой 1 или 2 раза в течение зимы.

Щиты следует привязывать к кольям на расстоянии 5 см от земли, иначе они примерзнут к грунту и их будет сложно переставлять на новое место. При защите выемок наиболее опасными являются места перехода в насыпь. В этом случае на концах выемки устраивают отводы (перелом линии щитов) под углом 135° к основной линии щитов. Между основной линией и отводами щитов делается разрыв в 4 м.

Первоначальное расстояние от бровки земляного полотна до линии щитов зависит от объема снегоприноса и составляет: 30 м, если объем снегоприноса до $25 \text{ м}^3/\text{м}$; 40 м, если объем до $50 \text{ м}^3/\text{м}$; 50 м, если объем до $75 \text{ м}^3/\text{м}$, и 60 м, если объем больше $75 \text{ м}^3/\text{м}$.

Когда высота снежных отложений у щита достигнет $2/3$ его высоты, в местности с интенсивной метелевой деятельностью делается первая перестановка щитов в сторону поля от дороги. Если у переставленных щитов высота снежного вала составит $2/3$ высоты щита, то делается вторая перестановка в сторону дороги на вершину снежного вала.

Если при первой перестановке перемещать щит не от дороги, а в сторону дороги, то около дороги будет образовываться большой снежный вал, который при таянии снега переувлажнит земляное полотно и уменьшит его прочность.

Недостатком временных щитов является короткий срок службы (3–5 лет), так как древесина постоянно подвержена перепадам температур, влиянию солнечной радиации и химических реагентов, которые попадают на снегозадерживающие сооружения с дороги. Щиты сложно переставлять

в течение зимы, это приводит к большим трудозатратам при немалой стоимости самих материалов, из которых изготавливаются щиты. Снегозадерживающие щиты также требуют немалых затрат при сборке и перевозке, они тяжелы и занимают много места, что в свою очередь тоже отражается на их цене.

Что касается решеток из металлических сеток, то они подбираются в зависимости от объема метелевого выноса к дороге. Решетки из металлических сеток имеют размеры ячеек от 10×10 до 50×50 мм.

Металлические сетки крепятся на металлические трубы диаметром 40–50 мм, забиваемые в землю на глубину 35–40 см. Перед забивкой концы труб длиной 50 см снаружи и внутри обмазываются битумом. Трубы окрашиваются свинцовым или железным суриком. Металлическая сетка к трубам крепится хомутами или сваркой.

Решетки из металлических сеток в весенний, летний, осенний периоды выполняют функции шумопоглощающих устройств и защищают от произвольного выхода на дороги диких и домашних животных.

Несмотря на большую начальную величину затрат, решетки из металлических сеток за счет многофункциональности решения защиты автомобильных дорог и длительного срока службы при наименьших затратах в условиях Уральского федерального округа становятся технически и экономически более привлекательными по сравнению с другими типами искусственных снегозадерживающих устройств.

С целью упрощения установки и удешевления конструкции используются синтетические полимерные сетки. Принцип работы снегозадерживающей сетки отличается тем, что сетка имеет меньшую просветность, и большая по сравнению с щитами часть снежинок осаждается при ударе о сетку, не пролетая ее насквозь. Это незначительная разница, так как способность к снегозадержанию у обоих сооружений примерно одинакова.

Установка современных пространственных снегозащитных средств (ВПС) из полимерной сетки «Славрос-снег» позволяет уменьшить трудовые затраты и общую стоимость конструкций. Сетка работает в диапазоне температур от минус 60 до +85 °С, устойчива к УФ-излучению.

Снегозадерживающие сетки «Славрос-снег» работают таким же образом, что и деревянные переносные щиты, скорость снежного потока увеличивается при проходе через ячейки, а после прохождения сетки снижается, что вызывает выпадение снежинок из потока перед дорогой. Устанавливаются сетки по той же схеме, что и щиты.

Снегозадерживающие сетки «Славрос-снег» являются простым, экономичным и испытанным средством защиты против снежных заносов на автострадах, автодорогах, железных дорогах и других транспортных трассах. Применяются они при объёмах снегоприноса до $100 \text{ м}^3/\text{м}$.

Сетки «Славрос-снег» изготавливаются из полиэтилена различной расцветки (черный, зеленый) и поставляются к дороге в рулонах длиной 25 и 50 метров, что значительно снижает транспортные расходы по сравнению с громоздкими деревянными щитами. Толщина материала 3 мм; ширина 600, 900, 1200 и 1800 мм. Материал имеет отверстия в виде ячеек с размером по диагонали 50 мм (рис. 3.6). Схема монтажа ограждения из сетки довольно проста. Сначала устанавливают металлические или деревянные колышки на расстоянии 3 м друг от друга. Затем рулон ставят вертикально, разматывая его вдоль колышков и подвешивая на гвоздь (крючок), вбитый в колышек. После этого закрепляют синтетическую решетку с другой стороны на дополнительные колышки. В результате синтетическая лента оказывается закрепленной с двух сторон. Формирование снежного вала за синтетической решеткой аналогично его формированию за переносными щитами.

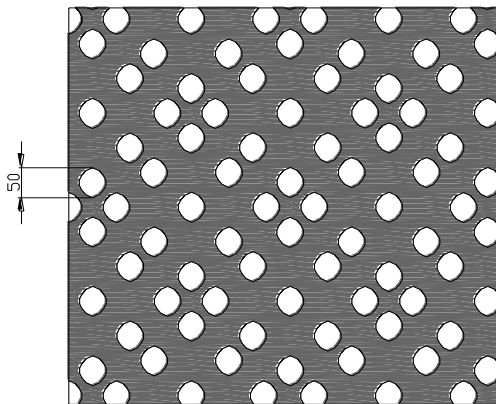


Рис. 3.6. Полимерная снегозадерживающая сетка «Славрос-снег»

Срок службы снегозадерживающей сетки «Славрос-снег» составляет 18–20 лет, что существенно превышает срок службы деревянных временных щитов.

Следует отметить, что в условиях резко континентального климата региона сезонный монтаж и демонтаж решеток из полимерной сетки, обледенение нижней части полотна существенно сокращают срок их службы и снижают эффективность снегозадержания.

Контрольные вопросы

1. Какие основные виды зимнего содержания лесовозных дорог вы знаете?
2. Перечислите виды снегоочистки лесовозных автомобильных дорог.
3. Какие существуют типы противогололедных материалов?
4. Какие технологические схемы зимнего содержания дорог вы знаете?
5. Перечислите основные этапы борьбы с зимним снеготложением на лесовозных дорогах.

Глава 4

МАШИНЫ ДЛЯ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ЛЕСНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

4.1. Снегоочистители

К машинам для зимнего содержания покрытий лесовозных автомобильных дорог относятся снегоочистители и распределители технологических материалов. Они предназначены для расчистки лесных дорог и территорий от снега и представляют собой самоходные машины, рабочие органы которых сдвигают снег или отбрасывают его в сторону. Снегоочистители подразделяют по типу рабочего оборудования на плужные (пассивный рабочий орган), роторные (активный рабочий орган) и газоструйные (воздействие газовой струи), а по типу базовой машины – на автомобильные и тракторные.

В табл. 4.1 рассмотрены условия применения снегоочистительных машин для различных видов работ по зимнему содержанию лесных дорог.

Таблица 4.1

Условия применения снегоочистительных машин

Машина	Плотность снега, г/см ³	Высота слоя снега, разраба- тываемого за один проход, м	Работы, на которых целесообразно применение машины
1	2	3	4
Одноотвальные плужные снегоочистители на автомобильном шасси	0,3	0,3	Патрульная очистка, расчистка снежных заносов небольшой толщины, уширение полосы расчистки
Двухотвальный плужный снегоочиститель на автомобильном шасси	0,4	На коротком участке до 0,6; на длинном до 0,5	Патрульная очистка, расчистка снежных заносов средней толщины, уширение полосы расчистки

1	2	3	4
Двухотвальные тракторные (колесные и гусеничные) снегоочистители	0,6	1,0	Расчистка снежных заносов средней толщины, уширение полосы расчистки, разравнивание снежных валов боковым крылом, прокладка снежных траншей
Шнекороторные и фрезернороторные снегоочистители	0,7	До 1,2 – 1,5	Расчистка снежных заносов или снегопадных отложений большой толщины. Удаление снежных валов. Расчистка лавинных завалов
Автогрейдеры	0,6	0,5	Расчистка снежных отложений средней толщины. Разравнивание снежных валов или их удаление совместно с роторными снегоочистителями. Удаление уплотненного слоя снега
Бульдозеры	0,7	1,0	Расчистка снежных отложений большой толщины (в том числе лавинных завалов). При толщине снега более 1 м – послойными проходами. Удаление уплотненного слоя снега

Плужные снегоочистители. Они предназначены для очистки автомобильных дорог от свежеснегавшего и слежавшегося снега путем перемещения его отвалом, установленным под углом к направлению движения машины, боковым отвалом или баллистическим отбрасывателем под действием инерционных сил.

Плужные снегоочистители (рис. 4.1), сдвигающие снег по ширине захвата в виде снежного вала, используют при расчистке дорог после снегопада. Для патрульной очистки дорог во время снегопада от свежеснегавшего снега применяют плужно-щеточные снегоочистители, оборудованные помимо переднего отвала цилиндрической щеткой, установленной под углом 60° к направлению движения, для зачистки слоя снега толщиной 1–2 см, оставшегося после прохода отвала. Используют также скоростные снегоочистители, отбрасывающие снег в сторону на расстояние до 10–15 м (табл. 4.2).

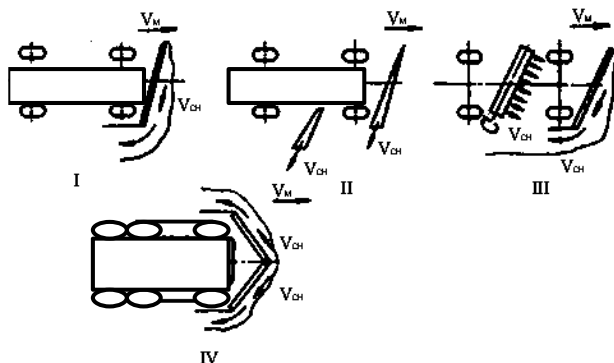


Рис. 4.1. Схемы плужных снегоочистителей:

I – одноотвальный; II – одноотвальный скоростной с дополнительным крылом;
 III – плужно-щеточный; IV – двухотвальный

Таблица 4.2

Технические характеристики плужных двухотвальных снегоочистителей

Наименование показателя	ДЭ-214С	ДЭ-215
Базовая машина	Трактор К-700А	Трактор Т-171
Ширина полосы, очищаемой за один проход, м	3,5	3,5
Высота разрабатываемого снега, м	1	1,2
Дальность отбрасывания снега, м	2–3	1–2
Скорость передвижения: транспортная, км/ч рабочая, км/ч	25 10–12	10 3–5
Производительность, т/ч	4–6	6–10
Масса, т	13,9	15,2

Плужные снегоочистители сдвигающего действия базируются на колесных и гусеничных тракторах, автомобилях, автогрейдерах и обеспечивают разработку снега толщиной до 0,3–0,4 м со скоростью 2–3 м/с в колесном варианте и толщиной до 1–1,5 м со скоростью 1 м/с в гусеничном варианте.

Плужно-щеточные снегоочистители в основном базируются на колесных тракторах, автомобилях и разрабатывают свежевыпавший снег толщиной 0,2–0,4 м со скоростью до 2,5–5,5 м/с (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Технические характеристики плужно-щеточных снегоочистителей

Наименование показателя	Марка машины				
	КДМ-130В	ДМК-40	ЭД-243	МДК-53213	ЗМ-14
1	2	3	4	5	6
Базовое шасси	ЗИЛ-433362	КамАЗ-53213	МАЗ-63039	КамАЗ-53213	Урал-5557
Вместимость цистерны, м ³	6,0	–	10,0	9,5	–
Вместимость кузова, м ³	3,25	7,6	6	6	–
Вместимость баков для растворов, м ³	–	–	2-6	–	–
Ширина рабочей зоны, м:					
при подметании щеткой	2,34	2,5	2,3	2,3	–
при поливке	18	–	4–18	20,5	–
при мойке	8	–	2,5–8,0	2,7–9,0	–
при снегоочистке плугом	2,7–3,0	2,95	3,4–5,25	2,6–2,9	2,8
при распределении противогололедных материалов	4–10	4–9	2–12	4–9	–
Плотность распределения материалов, г/м ²	–	10–500	5–500	5–500	–
Производительность, м ² /ч:					
при подметании	–	–	–	90000	–
при мойке	–	–	–	25000	–
при уборке снега	–	–	–	10000	–
Масса полная, кг	12490	24000	16200	19000	11600
Габаритные размеры, мм	–	–	–	11200× ×3100× ×2900	11800× ×3100× ×2700

1	2	3	4	5	6
Высота убираемого слоя снега, м	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5
Дальность отбрасывания снега, не более, м	–	7	–	8–10	15
Рабочая скорость, км/ч:					
при уборке снега	20	40	20	20	40
скоростным отвалом	–	60	–	50	40
при посыпке	20	20	20	20	20

Скоростные плужные снегоочистители базируются на автомобилях и разрабатывают только свежевыпавший снег толщиной 0,2–0,4 м со скоростью свыше 7 м/с. Скоростные снегоочистители в основном применяют на автомобильных дорогах для отбрасывания снега за один проход за обочину дороги или в придорожный кювет (рис. 4.2). Отвал скоростного снегоочистителя выполнен в виде конической поверхности с переменным по длине отвала радиусом кривизны. Угол захвата составляет 20–40°, угол резания до 35–40°. Отвалы снегоочистителей могут иметь как жесткое крепление, так и возможность изменения угла установки в плане.



Рис. 4.2. Скоростной снегоочиститель

В качестве дополнительного оборудования применяют дополнительные боковые створки, увеличивающие ширину захвата снегоочистителя,

опорные устройства в виде стальной лыжи или опорных колес, позволяющих отвалу копировать рельеф дороги при плавающем положении гидроцилиндров подъема, механизма изменения углов резания и наклона отвала в вертикальной плоскости в соответствии с изменением прочности и плотности снегового покрова.

Все снегоочистители оборудуются специальными предохранительными устройствами, которые уменьшают динамическую нагрузку на рабочее оборудование снегоочистителей при наезде отвалом на непреодолимое препятствие (бордюрный камень, крышку канализационного люка и др.).

Роторные снегоочистители. Они предназначены для очистки автомобильных дорог от снега путем сбора его и перемещения по баллистической траектории за пределы очищаемой полосы или через направляющий аппарат в кузов транспортного средства (рис. 4.3). Главным параметром роторных снегоочистителей является производительность, по которой их подразделяют на легкие (до 200 т/ч), средние (до 1000 т/ч) и тяжелые (более 1000 т/ч).



Рис. 4.3. Роторный снегоочиститель ДЭ-226 на уборке снежных валов

Средняя ширина захвата роторных снегоочистителей составляет от 2,5 до 3,5 м, толщина разрабатываемого снежного покрова от 1,2 до 2 м, дальность отбрасывания снега от 18 до 20 м, рабочая скорость роторных снегоочистителей от 0,3 до 5 км/ч.

Рабочий орган состоит из питателя и роторно-лопастного метательного аппарата с направляющим устройством. По конструкции питателя роторные снегоочистители разделяют на плужно-роторные, шнекороторные, фрезерно-роторные, фрезерные и роторные (рис. 4.4).

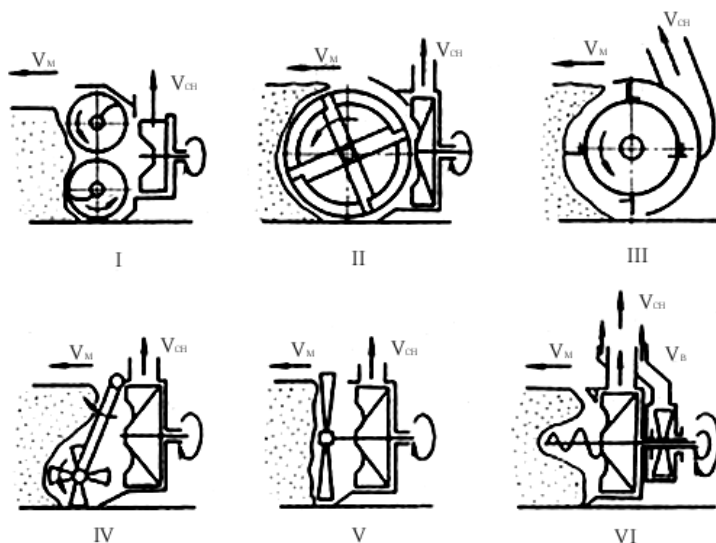


Рис. 4.4. Рабочие органы роторных снегоочистителей:

I – шнекороторный; II – фрезерно-роторный; III – фрезерный;

IV – роторный с рыхлящим валом; V – роторный с пропеллером;

VI – роторный с выступающим шнеком и газоструйной интенсификацией отбрасывания снега

При уборке снега малой плотности (до 200 кг/м^3) применяются плужно-роторные или роторные снегоочистители.

Для разработки снега средней плотности $\rho_{\text{сн}} = 200 - 300 \text{ кг/м}^3$ применяют шнекороторные снегоочистители со шнековыми питателями. Шнеки транспортируют снег к середине рабочего органа и забрасывают его в расположенный с тыльной стороны роторно-лопастной метатель. Шнеки метателя могут быть установлены как горизонтально, так и под углом к поверхности дороги.

Снег большой плотности $\rho_{\text{сн}} > 300 \text{ кг/м}^3$ целесообразно разрабатывать фрезерно-роторными снегоочистителями. Фрезерный питатель выполнен в виде трех- или четырехзаходной фрезы ленточного или барабанного типа.

По типу трансмиссии снегоочистители изготавливают с однодвигательным приводом, когда двигатель базовой машины используют одновременно для движения машины и привода рабочего органа, а также с двухдвигательным приводом раздельного ходового устройства и рабочего органа.

В качестве дополнительного оборудования роторных снегоочистителей применяют устройства для обрушения верхнего свода снежного забоя при большой толщине снежного покрова и разрушения снежного забоя при повышенной прочности снега, регуляторы окружных скоростей питателя и метательного аппарата, попутный поддув аппарата метания (см. рис. 4.4).

4.2. Машины для борьбы с зимней скользкостью

Для обеспечения безопасности движения транспортных средств по поверхности дорожного покрытия лесных дорог распределяют пескосоляные смеси или другие реагенты, снижающие скользкость дороги или разрушающие ледяную корку. Для разбрасывания песка и химических реагентов таяния используют распределители (разбрасыватели), которые бывают самоходные (на автомобильном шасси) и прицепные.

Выпускаемые промышленностью распределители твердых реагентов имеют общую схему устройства (рис. 4.5).

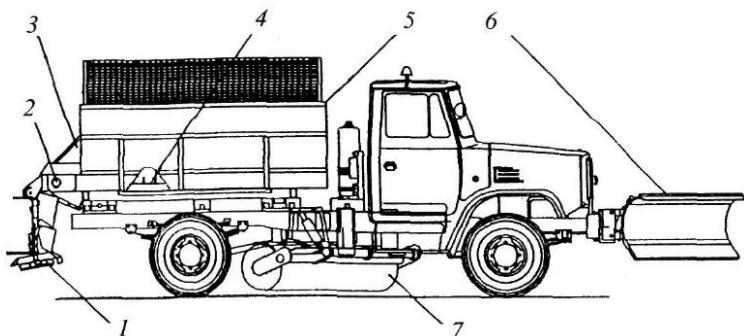


Рис. 4.5. Распределитель твердых технологических материалов:
 1 – разбрасывающий (распределительный) диск;
 2 – редуктор привода транспортера; 3 – бункер; 4 – скребковый транспортер;
 5 – кузов; 6 – отвал; 7 – щетка

В кузове с наклонными боковыми стенками размещены материалы, которые с помощью транспортера, двигающегося по дну кузова, подаются в заднюю часть кузова и через разгрузочное окно под действием силы тяжести поступают на горизонтально вращающийся диск, осуществляющий распределение материала. Оборудование включает гидросистему и механизмы привода. Передняя и задняя стенки сварного кузова имеют окна для прохода верхней несущей ветви транспортера. К передней части кузова присоединен механизм натяжения транспортера. Верхняя ветвь транспортера двигается по днищу кузова, перемещая материал. Разбрасывающий диск снабжен на верхней части ребрами, которые вовлекают материал при вращении диска в движение по периферии диска. В передней части базового автомобиля навешивается плужный снегоочиститель, а в средней части между колесами – цилиндрическая щетка.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные виды дорожно-строительных машин для зимнего содержания.
2. Каковы конструктивные особенности снегоочистительных машин?
3. Каковы конструктивные особенности машин для борьбы с зимней скользкостью?

Глава 5

ЛЕСНЫЕ ЛЕСОВОЗНЫЕ ДОРОГИ ПОСТОЯННОГО ДЕЙСТВИЯ

5.1. Краткие сведения о лесных лесовозных дорогах с дорожными одеждами переходного типа

Анализ транспортной инфраструктуры Свердловской области и Северного Урала показал, что наиболее распространенным типом дорожных одежд являются покрытия переходного и низшего типов. Чаще всего покрытие лесовозных дорог укладывают по способу заклинки из щебеночного и гравийного материала или из местного скального или крупноблочного грунта. Также используют грунты, укрепленные или улучшенные различными скелетными добавками (щебнем, гравием, шлаком и другими местными материалами) [23]. В исследованиях рассмотрены основные методы эффективного использования в покрытиях и основаниях дорог с невысокой интенсивностью движения местных малопрочных каменных материалов, отсевов щебня и даже шлаков [3], [5], [14], [15]. Покрытие лесовозной дороги при этом должно быть жестким, плотным и достаточно сдвигоустойчивым.

Основными технологиями строительства покрытий на сегодняшний день являются способы заклинки из щебня, гравия, неактивного шлакового щебня, из готовых щебеночно-песчаных смесей оптимального зернового состава.

При строительстве дорожных покрытий следует соблюдать основные положения СП 288.1325800.2016 [17] и СП 78.133330.2012 [20].

Конструирование и расчет покрытий необходимо выполнять согласно СП 37.13330.2012 [19].

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 внимание при выполнении работ. От качества каменного материала (прочности, морозостойкости, гранулометрического состава) напрямую зависят эксплуатационные свойства лесовозных дорог [7].

Существующий дефицит прочных каменных материалов и 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.

Однако не все местные материалы или отходы промышленности могут найти применение при строительстве конструктивных слоев 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.

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

В основе оценки прочности конструктивных слоев дорожных одежд положен метод измерения физических характеристик слоев, таких, как упругий прогиб [16], [17]. 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 [23]. 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, показывающее 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.

Как показано в работе [23], рассматриваемая зависимость характерна только для каменных материалов по пластичности не менее Пл. I. Там же приводятся данные, что во время уплотнения рядового щебня из высокопрочных горных пород остаточная пористость может достичь значений от 0,33 до 0,34. При этом начальная насыпная пористость находится в диапазоне от 0,45 до 0,55. При этом взаимосвязь между степенью уплотнения и остаточной пустотностью слоя в процессе выполнения работ не учитывается [23].

Впервые попытка деления каменных материалов на классы была предпринята в ООО «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 также предлагалось учитывать [21], [23].

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 дробленый каменный материал, в большинстве случаев известняковый, с прочностью при сжатии не ниже 600 МПа.

Для слоев щебеночных покрытий используют фракционированный щебень крупностью от 40 до 70 и от 80 до 110 мм; для верхних слоев оснований и покрытий щебень от 40 до 70 мм; для расклинивания применяют щебень от 5 до 10, от 10 до 20 и от 20 до 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 до 20 мм показан в табл. 5.1. По данным таблицы можно сделать вывод, что требо-

вания по зерновому составу могут отличаться узкими числовыми значениями, получить которые возможно только при использовании высококачественного дробильно-сортировочного оборудования [23].

Таблица 5.1

Зерновой состав щебня из осадочных пород
для основного размера 5–20 мм

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	Полные остатки на ситах, % по массе	По требованиям НТД
1,25	96,32	От 95 до 100
2,5	95,84	От 95 до 100
d5	94,48	От 90 до 100
0,5 (d + D) 12,5	46,48	От 30 до 60
D 20	3,96	До 10
1,25 D 25	0,25	До 0,5

Для устройства оснований и покрытий также используют и готовые щебеночно-гравийно-песчаные смеси с оптимальными зерновыми составами. Смеси изготавливают на дробильно-сортировочных установках или путем смешения разных фракций.

В работах по применению щебеночно-гравийно-песчаных смесей указывается, что их использование имеет ряд преимуществ перед традиционными щебеночными покрытиями [22], [23]. Ряд исследований показал, что достижение требуемых показателей возможно только при использовании правильно запроектированных смесей и выбранного технологического режима. Результаты исследований сведены в табл. 5.2.

При этом были рассмотрены только качественные материалы, что существенно ограничивает их использование на лесовозных сетях.

Для устройства гравийных покрытий используют карьерный гравийный материал или искусственно составленные смеси, оптимальные составы которых показаны в табл. 5.3 [23].

Таблица 5.2

Зерновой состав ЦПС фракции 0–80 мм

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	Полные остатки на ситах, % по массе	По требованиям НТД
80	0	0–15
40	29,7	20–60
20	58,9	40–80
10	80,0	55–85
5	85,0	65–85
2,5	89,0	75–90
0,63	94,0	85–95
0,16	95,3	95–100
0,05	95,5	95–100
Менее 0,05	100	–

Таблица 5.3

Оптимальный состав гравийных смесей

Слой покрытия	Количество частиц, %, прошедших через сито, 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

Наиболее известный способ строительства щебеночных покрытий описан в работе [23]. Это метод заклинки. 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 покрытия возникают волны, просадки и других дефекты строительства. В случае использования щебня крупных фракций данный способ становится труднореализуемым и даже полностью неприменимым [23]. Рыхлость щебеночного слоя затрудняет его уплотнение, а отсутствие мелких зерен в нижней части слоя приводит к недостаточному уплотнению. Общая итоговая остаточная пористость оказывается выше нормативных значений.

В работе [23] изучен характер взаимодействий связей между частицами каменного материала. Показано, что при взаимодействии частиц друг с другом щебёночный материал с дискретной структурой требует приложения значительных энергозатрат при уплотнении, что влияет на скорость строительства и 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 из-за дискретной структуры разобщенности уплотняются хуже, чем иные связные материалы. У них отсутствуют структурные связи между частицами, т. е. общая деформируемость их значительно выше [23].

Одной из особенностей всех каменных материалов, например, щебеночно-песчаных смесей или щебня фракционированного, является их 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 способ оценки бокового распора по усилию, измеренному при извлечении стального объемного штампа, уплотненного совместно со щебенистым слоем. Способ основан на измерении коэффициента трения щебня по стальной поверхности штампа.

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 (табл. 5.4) [20].

Таблица 5.4

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

5.2. Технологии строительства лесных 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 происходят обжатие зернистой среды, перепакровка отдельных частиц и уменьшение 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. Отсутствие в них структурных связей увеличивает деформации материалов, при этом энергозатраты на уплотнение увеличиваются.

При устройстве дорожных покрытий, помимо физико-механических свойств применяемых каменных материалов и их технологических особенностей, не менее важным является учет уплотняющей способности 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 табл. 5.5 и на рис. 5.1–5.5.

Таблица 5.5

Обобщенные технические параметры вибрационных и комбинированных катков

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

Анализ характеристик 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.

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 валцах катков тандемного типа динамическая сила существенно зависит от общей массы катка (см. рис. 5.5).

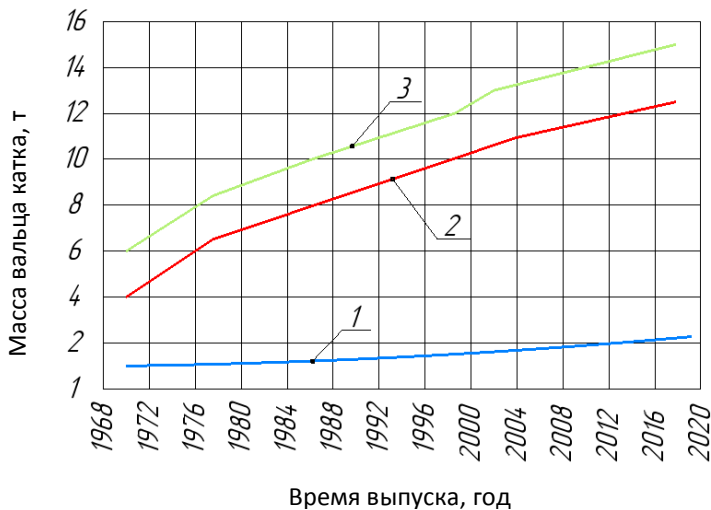


Рис. 5. 1. Изменение массы катков по годам выпуска:
 1 – катки статического действия; 2 – катки вибрационного действия;
 3 – катки комбинированные

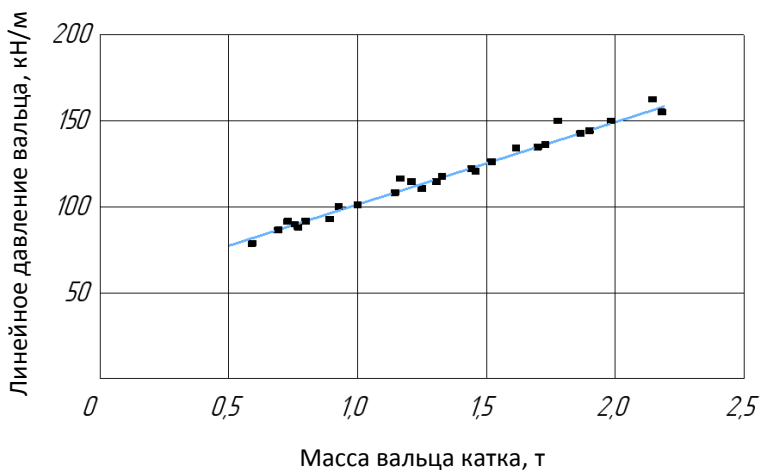


Рис. 5.2. Зависимость линейного давления вальца от массы вибромодуля

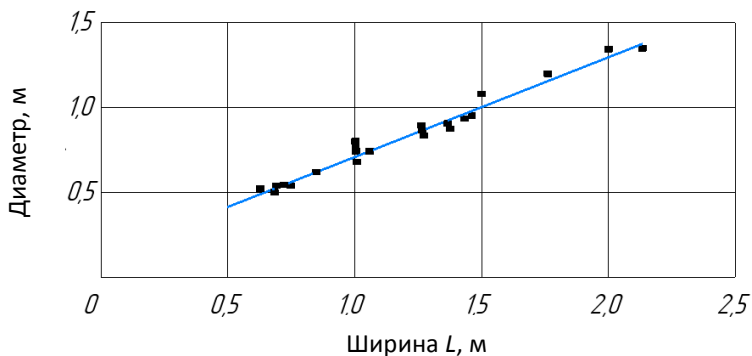


Рис. 5.3. Зависимость диаметра валцов виброкатков от ширины вибромодулей

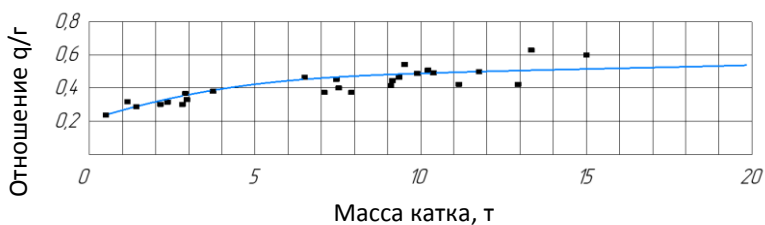


Рис. 5.4. Зависимость относительного уплотняющего воздействия от массы катков

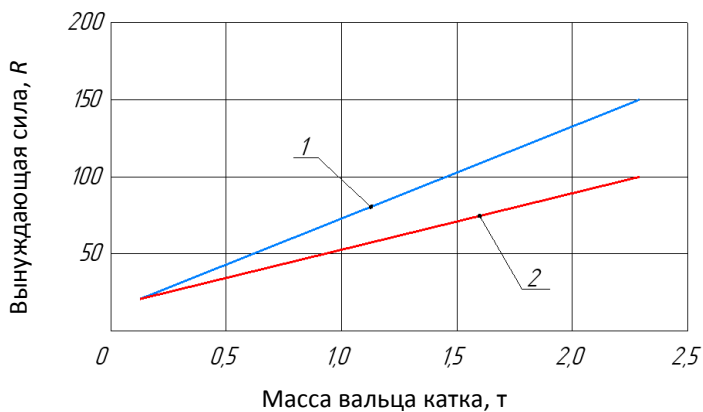


Рис. 5.5. Зависимость динамической силы от массы вальца для двухвальцовых катков:
1 – ведомый валец; 2 – ведущий валец

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 следующее условие [5]:

$$\sigma \leq R_{сж}, \quad (5.1)$$

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

$$\sigma_0 = \frac{3}{2} p_k \sqrt[3]{\frac{E_0 \Delta_h}{h_0 \Delta_\varepsilon}}, \quad (5.2)$$

где E_0 – модуль деформации уплотняемого слоя, МПа;

Δ_h – элементарный слой уплотняемого материала, м;

h_0 – слой материала до уплотнения, м;

Δ_ε – единичное значение модуля деформации в слое, МПа;

p_k – уплотняющая способность катка, МПа.

$$p_k = \sqrt[3]{\frac{P_0^2 \Delta_\varepsilon}{B^2 D \Delta_h}}. \quad (5.3)$$

Здесь P_0 – уплотняющее усилие от катка, кН;

B – ширина вальца катка, м;

D – диаметр вальца катка, м.

В процессе работы вибрационным катком на уплотняемую поверхность действует обобщающая сила, состоящая из статической составляющей от веса катка, и динамической составляющей от вибровозбудителей [11]:

$$P_0 = P_{ст} + P_{дин}, \quad (5.4)$$

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 [18].

Как показано в работе [10], уплотняющее воздействие, с учетом пятна контакта и деформации уплотняемого материала, можно определить как

$$t_{возд} = (0,5-1,0)T, \quad (5.5)$$

где T – период колебания вибровозбудителей, с.

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

$$t_{конт} = S_{конт} / v_{рх}, \quad (5.6)$$

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

$S_{конт}$ – 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 [10], 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 до 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

$$NC = t_{конт} / T. \quad (5.7)$$

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

$$I_6 = NC P_0. \quad (5.8)$$

Количество циклов приложения нагрузки на первых проходах катка максимально и снижается 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 также оказывает влияние и скорость движения катка. Это обстоятельство учитывается в рекомендациях по уплотнению дорожных конструкций. Как показано в своде правил [20], последние проходы катков необходимо осуществлять на пониженных скоростях. 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 табл. 5.6 показаны зависимости контактных усилий между частицами материала от зернового состава и от приложенной нагрузки для различных видов уплотняющих машин.

Таблица 5.6

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 ДН-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
	Дунарас СА 3000	13,8	13,3	72,3	43,1	20,1	5,0
	Вomag BW 214 ДН-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 ДН-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
	Дунарас СА 3000	13,8	5,8	35,2	19,5	8,9	2,4
	Вomag BW 214 ДН-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 рис. 5.6 показана зависимость относительной деформации от количества приложений нагрузжений для низкопрочных известняковых щебней, полученная при опытно-экспериментальных исследованиях.

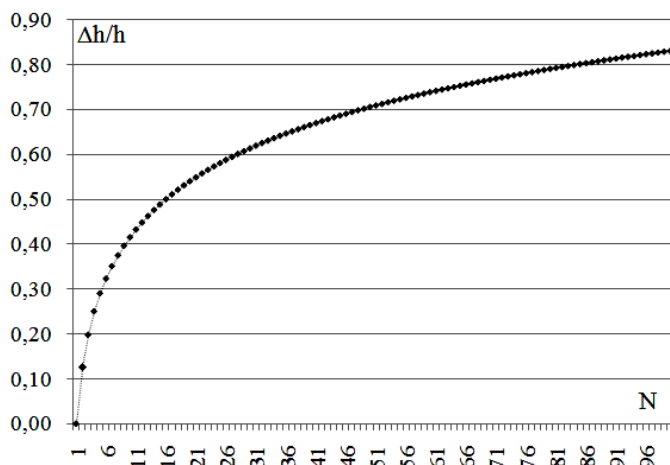


Рис. 5.6. Зависимость относительной деформации от количества приложений нагрузжений для низкопрочного известнякового щебня

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

На основании обобщенных данных [10] можно построить зависимости толщины активной зоны уплотнения от уровня контактных давлений на площадке нагружения. В относительных единицах эти зависимости представлены на рис. 5.7. 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.

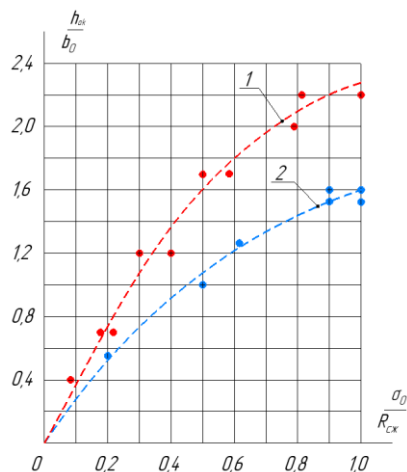


Рис. 5.7. Зависимость глубины активной зоны уплотнения от контактных давлений:
 1 – статическое воздействие; 2 – динамическое воздействие

В общем виде глубина активной зоны уплотнения определится как

$$h_{акт} = \alpha D_{кон} k_{увл} \left(1 - e^{-\frac{\beta \sigma_0}{R_{сж}}} \right), \quad (5.9)$$

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

$D_{кон}$ – 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;

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

На рис. 5.8 представлено изменение затухания по глубине амплитуды колебаний у виброкатков в относительных единицах.

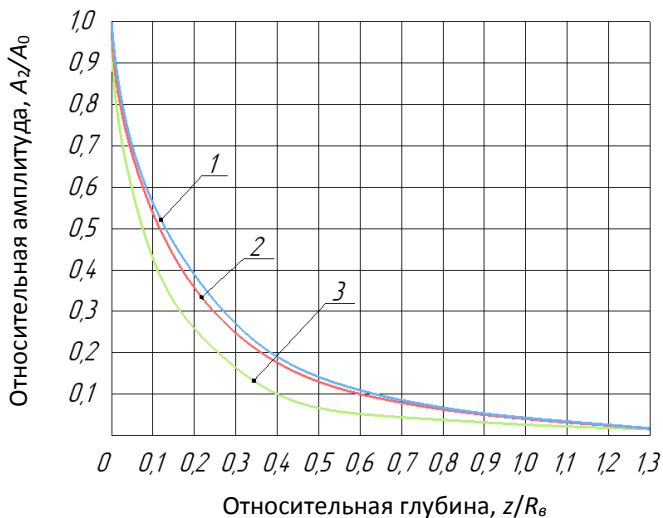


Рис. 5.8. Затухание по глубине амплитуды колебаний при различных скоростях виброкатка:
 1 – 1,5 км/ч; 2 – 2,5 км/ч; 3 – 5 км/ч; R_0 – радиус вальца

Разработанные в работе [23] рекомендации распространяются 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, горноперерабатывающих и горнодобывающих 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.

При проектировании, строительстве и реконструкции дорожных покрытий лесовозных дорог наряду с разработанными требованиями следует соблюдать основные положения, изложенные в СП 78.13330.2012, СП 288.1325800.2016, СП 37.13330.2012 и СП 243.1326000.2015 [16], [17], [19], [20].

Требования к материалам. Для устройства дорожных покрытий лесовозных дорог применяют местные некондиционные каменные дорожно-строительные материалы и отходы горно-обогатительных, горноперерабатывающих и горнодобывающих предприятий. В случае несоответствия каменных материалов требованиям смеси готовятся на дробильно-сортировочных установках или путем смешения разных фракций [23]. Требования по форме зерен, по прочности, истираемости и морозостойкости к щебню, входящему в состав щебеночно песчаных смесей, не предъявляются.

Требования к уплотняющей технике. Для оптимизации процесса строительства подбор уплотняющей техники проводится, 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 (табл. 5.7).

Таблица 5.7

Основные технические характеристики вибрационных катков, 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_u , 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

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.

Данные табл. 5.7 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 дороги.

Технологический процесс устройства слоев дорожной одежды из щебеночных материалов включает [20]:

- вывозку материала на подготовленное в соответствии с требованиями СП 78.133330.2012 земляное полотно или на нижележащий слой дорожной одежды, планировку и уплотнение поверхности земляного полотна;
- 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 рис. 5.9.

Щебеночные 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 ($V, \text{м}^3$) на каждую захватку определяется по формуле

$$V = LBhk_{\text{зан}}, \quad (5.10)$$

где L – длина захватки, м;

B – ширина слоя, м;

h – толщина слоя в уплотненном состоянии, м;

$k_{зан}$ – коэффициент запаса на уплотнение и измельчение, для ЦПСН принимают равным 1,25–1,35 и уточняют по результатам пробной укатки.



Рис. 5.9. Последовательность работ при строительстве лесовозных дорог

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 и шлака 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, его распределением и уплотнением не регламентируется.

Увлажнение материала начинают в процессе его распределения 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 [10]

$$\Pi = \frac{QK_3K_{II}60}{q\left(\frac{QK_360}{qbv} + \frac{2l60}{v_{тр.ср.}} + t_{II} + t_{п.з.}\right)}, \quad (5.11)$$

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_{II} – время наполнения цистерны, мин;

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

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

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

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

Планировку материала следует проводить 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

$$\Pi = \frac{3600K_B L(B \sin \phi - a_n)}{\left(\frac{L}{V_{p.x}} + t_n\right)m}, \quad (5.12)$$

где Π – эксплуатационная производительность, м²/ч;
 L – длина планируемого участка (захватки), м;
 B – ширина отвала, м;
 φ – угол захвата, град;
 a_n – ширина полосы перекрытия, $a_n = 0,15-0,20$ м;
 $V_{p.x}$ – рабочая скорость перемещения машины, м/с;
 t_n – продолжительность разворота, $t_n = 10-20$ с;
 m – число проходов по одному месту, $m = 1-2$.

Уплотнение необходимо проводить виброкатками массой не менее 9 т, ориентировочно за 6–10 проходов катка по одному следу. Количество проходов уточняют по результатам пробного уплотнения при начале производства работ. Согласно СП 78.13330. 2012 [20], 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 [23]. Эксплуатационную производительность ($\Pi_э$, м²/ч) виброкатков по уплотнению определяют по площади поверхности, уплотняемой в единицу времени:

$$\Pi_э = \frac{1000(B_B - a_B)v_k k_B}{z}, \quad (5.13)$$

где B_B – ширина укатываемой полосы, равная ширине вальца, м;
 a_B – размер перекрытия рабочего прохода, $a_B = 0,05-0,1$ м;
 v_k – рабочая скорость, для виброкатка с гладкими вальцами
 $v_k = 1,5-6$ км/ч,
 z – число проходов;
 k_B – коэффициент использования машины во времени, $k_B = 0,8-0,9$.

В процессе уплотнения необходимо соблюдать следующие правила:

- 1) уплотнение следует проводить 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 проводить 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 следует проводить только в процессе движения катка. Включать и отключать вибрацию необходимо за пределами уплотняемой поверхности на двигающемся катке;

8) для исключения образования волны каждый последующий след катка должен быть смещен в направлении уплотнения относительно предыдущего на величину, примерно равную диаметру вальца (рис. 5.10).

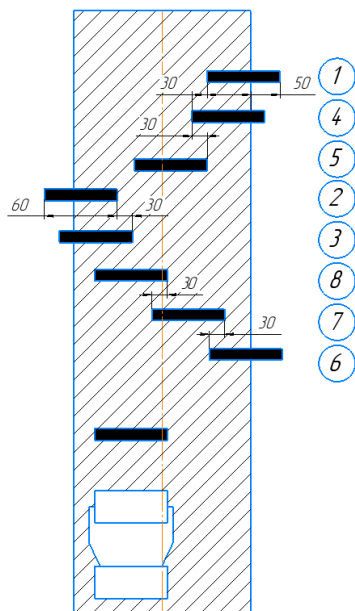


Рис. 5.10. Последовательность прохода катков по слою, уложенному на всю ширину покрытия

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

Первый этап уплотнения [23]. Проводится 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 с предварительным 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 [23]. По мере сближения крупных щебенки между собой и формирования каркасной структуры за счет включения максимального режима вибрации катка за 2–4 прохода по одному следу на скорости 3,0–3,5 км/час происходят дробление и переупаковка щебенки материала.

Прикатывание проводится 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 служат отсутствие деформации слоя в виде волны перед вальцом катка и отсутствие заметной на глаз осадки покрытия лесной дороги.

Третий этап уплотнения [23]. Происходит 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 должен перекрывать предыдущую полосу на 30–40 см. Уплотнение проводится от краев к середине основания. Общее количество циклов нагружения на материал должно составлять не менее 50–70.

Признаками окончания уплотнения служат [23]:

- отсутствие подвижности зерен каменного материала;
- прекращение образования деформации покрытия лесной дороги перед вальцом виброкатка;
- отсутствие следа от прохода виброкатка.

Как показано в работе [23], в случае, если после уплотнения не достигнуты требуемые плотность и прочность покрытия с появлением большого количества деформаций покрытия, проводятся досыпка и укрепление верхнего слоя покрытия.

По уплотненному слою разрешается открывать движение лесовозных автомобилей при условии ограничения скорости до 20 км/час и регулирования движения 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 проводится исправление неровностей. При необходимости впадины на поверхности основания заполняют новой щебеночной смесью оптимальной влажности и уплотняют виброкатками [23].

Однако при проведении строительных работ не всегда учитываются физико-механические и технологические свойства уплотняемого слоя щебеночного покрытия. 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.

Устройство щебеночных покрытий при отрицательных температурах воздуха имеет следующие особенности:

1) работу следует проводить по земляному полотну или нижележащему слою, полностью законченному и принятому;

2) к щебеночным покрытиям следует предъявлять те же требования, что и к слоям, уложенным при положительных температурах;

3) работы 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 слоя при отрицательных температурах следует проводить, используя данные табл. 5.8. 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 1 л 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 5.8

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 проводить 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 должны 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. Результаты входного контроля качества поступающих материалов следует фиксировать в журналах испытаний.

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-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.

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. 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.

Работы по устройству покрытия выполняются в разработанной технологической последовательности поточным методом на трех захватках.

На первой захватке (400 м) выполняются технологические операции – погрузка и транспортировка материала. Работает (на месте складирования каменного материала) 1 экскаватор в течение 8,1 ч; 13 автомобилей-самосвалов в течение 8,2 часа вывозят щебень и разгружают его по оси дороги.

На второй захватке (400 м) выполняются технологические операции – разравнивание материала по грунтовой поверхности и увлажнение слоя. Работает 1 автогрейдер в течение 7,2 часа, который разравнивает щебень по всей ширине основания; 2 поливочные машины в течение 5,24 часа увлажняют смесь в процессе ее разравнивания.

На третьей захватке (400 м) выполняются технологические операции – разравнивание и планировка материала по грунтовой поверхности, уплотнение слоя и измельчение материала. В течение 3,6 часа 1 автогрейдер разравнивает оставшийся щебень и затем проводит окончательную планировку основания; 2 катка в течение 6,9 часа проводят 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 проходы с усиленной вибрацией. Первые два и последние два прохода следует прово-

дуть на скорости 2–3 км/ч, остальные 5–7 км/ч с. Уплотнение следует проводить с перекрытием предыдущего следа не менее чем на 0,3 м. Об окончании работ можно судить по отсутствию следа от катка.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение лесовозных дорог постоянного действия.
2. Какие существуют дорожные одежды на лесовозных автомобильных дорогах?
3. Какие способы строительства конструктивных слоев дорожных одежд из каменных материалов вы знаете?
4. Перечислите основные этапы при строительстве дорожных одежд из каменных материалов.
5. Как правильно выбрать тип уплотняющей дорожно-строительной машины?
6. Какие требования предъявляются к каменным материалам для строительства лесовозных дорог?
7. Приведите последовательность работ при строительстве лесовозных дорог.

Контрольные вопросы к зачету (промежуточный контроль)

1. Лесотранспортная система лесопромышленного комплекса.
2. Особенности формирования лесотранспортной сети.
3. Показатели работы транспорта леса.
4. Лесовозные автомобильные дороги постоянного действия.
5. Временные лесные дороги.
6. Зимние лесовозные автомобильные дороги.
7. Показатели и критерии оптимальности работы транспорта леса.
8. Оценка продольной ровности дорожного покрытия.
9. Задачи и направления технологического прогресса дорожного строительства.
10. Основные транспортно-эксплуатационные показатели автомобильной дороги.
11. Комплексная оценка транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог.
12. Определение прочности дорожных конструкций.
13. Характеристики поверхности дороги и движения автомобилей.
14. Состояние покрытия и условия движения автомобилей.
15. Влияние природно-климатических факторов на дорожную конструкцию.
16. Поверхность покрытия и условия движения по периодам года.
17. Процесс деформирования дорожной конструкции под воздействием автомобилей и природных факторов.
18. Определение показателя уровня эксплуатационного содержания автомобильной дороги.
19. Оценка скользкости дорожных покрытий.
20. Зимнее содержание лесовозных дорог.
21. Летнее содержание лесовозных дорог.
22. Дорожно-строительные машины для строительства зимних лесовозных дорог.
23. Дорожно-строительные машины для строительства летних лесовозных дорог.
24. Дорожно-строительные машины для зимнего содержания лесовозных дорог.
25. Требования к сцепным качествам дорожных покрытий.
26. Оценка скользкости дорожных покрытий.

27. Дорожно-строительные машины уплотняющего действия.
28. Каменные материалы, используемые для строительства лесовозных автомобильных дорог.
29. Технологии строительства дорожных одежд лесовозных дорог переходного типа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алябьев В. И. Сухопутный транспорт леса: учебник для вузов. – М. : Лесная промышленность, 1990. – 416 с.
2. Афанасьев И. А., Кручинин И. Н. Зимнее содержание лесовозных автомобильных дорог Уральского региона : монография. – Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. – 135 с.
3. Бархатов В. И., Добровольский И. П., Капкаев Ю. Ш. Отходы производств и потребления – резерв строительных материалов : монография. – Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2017. – 477 с.
4. Васильев А. П. Строительство и реконструкция автомобильных дорог : справочная энциклопедия дорожника. Т. I. – М. : Информавтодор, 2005. – 236 с.
5. Вырко Н. П. Сухопутный транспорт леса : учебник для студентов вузов. – Минск : Выш. шк., 1987. – 437 с.
6. ГОСТ 33181-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню зимнего содержания. Введ.2015-12-01. – М.: ФГУП Стандартинформ, 2016. – 24 с.
7. ГОСТ Р 50597-2017 Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля. Введ. 2018-06-01. – М. : ФГУП Стандартинформ, 2017. – 18 с.
8. Дюнин А. К. В царстве снега. – Новосибирск : Наука, 1983. – 128 с.
9. Ильин Б. А. Основы размещения лесовозных дорог в сырьевых базах лесозаготовительных предприятий : лекции для студентов. – Л. : ЛТА, 1987. – 64 с.
10. Кручинин И. Н., Шомин И. И. Специализированные машины и оборудование для транспортного строительства : учеб. пособие. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т., 2011. – 184 с.
11. Кручинин И. Н. Повышение транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог при освоении лесосырьевых баз многолесных регионов : дис. ... д-ра техн. наук. [Место защиты ВГЛТУ, 24.03.2017]. – Воронеж, 2017. – 347 с.
12. «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). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/

13. 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.

14. Павлов Ф. А. Покрытие лесных дорог. – М. : Лесная промышленность, 1980. – 176 с.

15. 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.

16. СП 243.1326000.2015 Проектирование и строительство автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения. – М. : ФАУ «ФЦС». – 2015. – 25 с.

17. СП 288.1325800.2016 Дороги лесные. Правила проектирования и строительства (с изменением № 1) Официальное издание. – М. : Стандартинформ, 2017. – 114 с.

18. СП 318.1325800.2017 Дороги лесные. Правила эксплуатации. – М. : ФАУ «ФЦС». – 2017. – 85 с.

19. СП 37.13330.2012 Промышленный транспорт. Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91.* – М. : ФАУ «ФЦС». – 2012. – 195 с.

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

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

22. Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 сентября 2018 г. № 1989-р. – URL: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdIxID77KCTL.pdf>

23. Шакирзянов Д. И. Совершенствование технологии строительства лесовозных дорог из некондиционных щебеночных материалов: дис. ... канд. техн. наук. Специальность 05.21.01. [Место защиты УГЛТУ, 23.12.2021]. – Екатеринбург, 2021. – 216 с.

Приложение

Лесотранспортная инфраструктура Свердловской области

Наименование лесничества	Виды дорог	Протяженность дорог, км					
		Итого	В том числе				Дороги общего пользова- ния
			Типы лесохозяйственных дорог			Лесовоз- ные дороги	
1	2	3	И	II	III		7
Алапаевское	Дороги, в с е г о в том числе:	2880	122	969	1268	99	422
	а) железные	83	50	0	0	26	7
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	1928	58	511	889	61	409
	из них с твердым покрытием	55	2	1	1	2	49
	грунтовые	1873	56	510	888	59	360
в т. ч. круглогодо- вого действия	621	10	326	232	6	47	
в) зимники	869	14	458	379	12	6	
Байкаловское	Дороги, в с е г о в том числе:	661	22	80	513	37	9
	а) железные	0	0	0	0	0	0
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	658	22	80	513	34	9
	из них с твердым покрытием	11	0	0	0	2	9
	грунтовые	647	22	80	513	32	0
	в т. ч. круглогодо- вого действия	184	6	19	159	0	0
в) зимники	3	0	0	0	3	0	
Березовское	Дороги, в с е г о в том числе:	1352	71	229	729	45	45
	а) железные	0	0	0	0	0	0
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	1296	71	226	726	11	11
	из них с твердым покрытием	104	4	8	3	0	0
	грунтовые	1192	67	218	720	11	11
	в т. ч. круглогодо- вого действия	633	56	197	509	4	4
	в) зимники	56	0	3	6	34	34

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
Билимбаевское	Дороги, в с е г о в том числе:	1777	56	176	1018	140	387
	а) железные	0	0	0	0	0	0
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	1728	52	173	1001	140	362
	из них с твердым покрытием	209	21	0	6	16	166
	грунтовые	1519	31	173	995	124	196
	в т. ч. круглогодого действия	144	5	15	93	10	21
в) зимники	49	4	3	17	0	25	
Верх-Исетское	Дороги, в с е г о в том числе:	367	8	136	77	10	136
	а) железные	46	0	0	0	0	46
	из них широкой колеи	46	0	0	0	0	46
	б) автомобильные	311	8	136	77	0	90
	из них с твердым покрытием	98	8	0	0	0	90
	грунтовые	213	0	136	77	0	0
	в т. ч. круглогодого действия	213	0	136	77	0	0
в) зимники	10	0	0	0	10	0	
Верхотурское	Дороги, в с е г о в том числе:	2667	99	275	1572	98	625
	а) железные	13	0	0	0	0	13
	из них широкой колеи						
	б) автомобильные	0	0	0	0	0	0
	из них с твердым покрытием	2620	85	261	1568	94	612
	грунтовые	173	17	0	20	16	120
	в т. ч. круглогодого действия	2447	68	261	1548	78	492
в) зимники	34	14	14	4	2	0	
Гаринское	Дороги, в с е г о в том числе:	895	130	0	0	530	235
	а) железные	0	0	0	0	0	0
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	365	130	0	0	0	235
	из них с твердым покрытием	130	130	0	0	0	0
грунтовые	235	0	0	0	0	235	

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
Гаринское	в т. ч. круглогодого действия	0	0	0	0	0	0
	в) зимники	530	0	0	0	530	0
Егоршинское	Дороги, в с е г о в том числе:	1245	41	191	724	59	230
	а) железные	105	0	0	0	0	105
	из них широкой колеи	105	0	0	0	0	105
	б) автомобильные	1087	41	191	724	6	125
	из них с твердым покрытием	125	0	0	0	0	125
	грунтовые	962	41	191	724	6	0
	в т. ч. круглогодого действия	39	7	0	32	0	0
в) зимники	53	0	0	0	53	0	
Ивдельское	Дороги, в с е г о в том числе:	8390	1044	1186	3429	2136	595
	а) железные	308	0	0	0	303	5
	из них широкой колеи	5	0	0	0	0	5
	б) автомобильные	5415	710	751	2633	863	458
	из них с твердым покрытием	296	81	54	4	49	108
	грунтовые	5119	629	697	2629	814	350
	в т. ч. круглогодого действия	1413	165	225	786	79	158
в) зимники	2667	334	435	796	970	132	
Камышловское	Дороги, в с е г о в том числе:	1590	41	361	410	15	763
	а) железные	42	0	0	0	0	42
	из них широкой колеи	42	0	0	0	0	42
	б) автомобильные	1527	41	341	410	14	721
	из них с твердым покрытием	230	0	0	0	8	222
	грунтовые	1297	41	341	380	6	499
	в т. ч. круглогодого действия	92	6	0	75	0	11
в) зимники							
Карпинское	Дороги, в с е г о в том числе:	27117	867	5092	10735	2028	8395
	а) железные	360	0	0	0	0	360
	из них широкой колеи	360	0	0	0	0	360
	б) автомобильные	26341	728	4997	10635	1997	7984
из них с твердым покрытием	1949	12	12	3	270	1349	

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
Карпинское	грунтовые	24392	713	4985	10632	1427	6635
	в т. ч. круглогодого действия	8124	128	319	1103	314	6260
	в) зимники	416	139	95	100	31	51
Красноуфимское	Дороги, в с е г о в том числе:	2753	295	462	1575	230	191
	а) железные	50	0	0	0	0	50
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	2658	295	459	11572	191	141
	из них с твердым покрытием	137	32	1	5	9	90
	грунтовые	2521	263	458	1567	182	51
	в т. ч. круглогодого действия	404	79	146	78	61	40
	в) зимники	45	0	3	3	39	0
Кушвинское	Дороги, в с е г о в том числе:	16894	362	1320	3827	1442	9943
	а) железные	254	0	0	0	236	18
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	16195	317	1290	3794	1180	9614
	из них с твердым покрытием	975	4	3	1	2	965
	грунтовые	15220	313	1287	1356	21	6272
	в т. ч. круглогодого действия	6779	104	250	108	21	6198
	в) зимники	445	45	30	33	26	311
Невьянское	Дороги, в с е г о в том числе:	1938	68	249	1287	35	299
	а) железные	54	0	0	0	0	54
	из них широкой колеи	25	0	0	0	0	25
	б) автомобильные						
	из них с твердым покрытием	1866	68	249	1287	17	245
	грунтовые	213	0	0	0	0	213
	в т. ч. круглогодого действия	330	17	50	246	17	0
	в) зимники	18	0	0	0	18	0
Нижне-Тагильское	Дороги, в с е г о в том числе:	2964	163	422	1535	320	524
	а) железные	104	0	0	0	0	104
	из них широкой колеи	104	0	0	0	0	104

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	
Ниже- Тагильское	б) автомобильные из них с твердым покрытием грунтовые в т. ч. круглогодо- вого действия	2860	163	422	1535	320	420	
		485	18	0	0	220	247	
		2375	145	422	1535	100	173	
	в) зимники	347	44	35	102	37	129	
		0	0	0	0	0	0	
	а) железные из них широкой колеи	Дороги, в с е г о в том числе:	3707	173	1145	1462	289	638
		0	0	0	0	0	0	
		0	0	0	0	0	0	
		б) автомобильные из них с твердым покрытием	3491	171	1094	1375	253	598
		324	24	0	4	103	193	
		б) автомобильные из них с твердым покрытием грунтовые в т. ч. круглогодо- вого действия	3167	147	1094	1371	150	405
	1452	37	706	402	21	286		
в) зимники	216	2	51	87	36	40		
Ново-Лялинское	а) железные из них широкой колеи	Дороги, в с е г о в том числе:	3913	354	1141	1562	491	365
		0	0	0	0	0	0	
	б) автомобильные из них с твердым покрытием грунтовые в т. ч. круглогодо- вого действия	3595	291	1012	1470	459	363	
		173	61	11	7	5	89	
		3422	230	1001	1463	454	274	
		1568	54	615	594	93	212	
		в) зимники	318	63	129	92	32	2
Режевское	а) железные из них широкой колеи	Дороги, в с е г о в том числе:	787	8	55	499	27	198
		0	0	0	0	0	0	
	б) автомобильные из них с твердым покрытием грунтовые в т. ч. круглогодо- вого действия	787	8	55	499	27	198	
		198	0	0	0	0	198	
в) зимники	0	0	0	0	0	0		
Свердловское	а) железные	Дороги, в с е г о в том числе:	923	49	47	813	0	14
		0	0	0	0	0	0	

Продолжение таблицы

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

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
Сухоложское	Дороги, в с е г о в том числе:	1309	58	119	777	68	287
	а) железные	16	0	0	0	0	16
	из них широкой колеи	16	0	0	0	0	16
	б) автомобильные	1266	57	100	771	68	270
	из них с твердым покрытием	66	0	55	0	0	11
	грунтовые	1200	57	45	771	68	259
	в т. ч. круглогодого действия	527	33	37	180	68	209
в) зимники	27	1	19	6	0	1	
Сысертское	Дороги, в с е г о в том числе:	2276	155	208	1645	33	235
	а) железные	50	0	0	0	0	50
	из них широкой колеи	50	0	0	0	0	50
	б) автомобильные	2199	153	205	1639	17	185
	из них с твердым покрытием	191	22	15	69	0	85
	грунтовые	2008	131	190	1570	17	100
	в т. ч. круглогодого действия	621	83	74	439	9	16
в) зимники	27	2	3	6	16	0	
Таборинское	Дороги, в с е г о в том числе:	908	0	45	0	414	449
	а) железные	0	0	0	0	0	0
	из них широкой колеи	0	0	0	0	0	0
	б) автомобильные	443	0	45	0	69	329
	из них с твердым покрытием	75	0	0	0	0	75
	грунтовые	368	0	45	0	69	254
	в т. ч. круглогодого действия	246	0	0	0	0	246
в) зимники	465	0	0	0	345	120	
Тавдинское	Дороги, в с е г о в том числе:	2204	91	234	942	541	396
	а) железные	1	0	0	0	0	1
	из них широкой колеи	1638	60	181	760	250	387
	б) автомобильные	114	3	1	0	76	34
	из них с твердым покрытием	1524	57	180	760	174	353
	грунтовые	702	25	84	279	67	247
	в т. ч. круглогодого действия	565	31	53	182	291	8
в) зимники	565	31	53	182	291	8	

Окончание таблицы

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

Учебное издание

Кручинин Игорь Николаевич

**ТРАНСПОРТНАЯ
ИНФРАСТРУКТУРА ЛЕСОВ**



Редактор А. Л. Ленская
Оператор компьютерной верстки О. А. Казанцева

Подписано в печать 16.06.2022

Формат 60x84/16

Уч.-изд. л. 6,7 Печ. л. 7,9

Тираж 300 экз. (1-й завод 35 экз.)

Заказ № 7458

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
Редакционно-издательский отдел. Тел.: 8(343) 221-21-44

Типография ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ»
620062, РФ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2.
Тел.: 8(343)362-91-16