

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. И.Раззакова**

На правах рукописи

УДК 625.7/8(043.3)

**ГАПАРОВА ЖАНАРКАН ТАХТАХУНОВНА**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА  
ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТЕЙ НА ЛЕДЯНОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ ГОРНОЙ ДОРОГИ**

05.05.04 - дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Научный руководитель:**  
доктор технических наук, профессор  
ТУРГУМБАЕВ ЖЕНИШБЕК ЖУМАДЫЛОВИЧ

**Бишкек - 2021**

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>ГЛАВА 1 АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ МАШИН ДЛЯ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ДОРОГ</b> .....	10
1.1 Анализ состояний горных дорог Кыргызстана в зимнее время .....	10
1.2 Анализ устройств и технологий для борьбы со скользкостью на дорогах .....	13
1.3 Способы борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах .....	27
1.4 Обзор и анализ исследований процессов взаимодействия с ледяным покровом и ходовым оборудованием транспортных машин .....	32
Заключение по главе 1 .....	42
<b>ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ХОДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ЛЕДЯНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ГОРНОЙ ДОРОГИ</b> .....	44
2.1 Системный анализ процесса распределения каменистых частиц на ледяную поверхность горной дороги .....	44
2.2 Особенности процесса распределения каменистых частиц на ледяной поверхности горных дорог .....	48
2.3 Определение эффективности работы модернизированного распределительного оборудования.....	51
2.4 Математическое моделирование взаимодействия пневматических колес с ледяной поверхностью при наличии каменистой шероховатости .....	64
2.5 Определение теплопроводности трехслойного пакета для	

	нагретых каменистых частиц.....	68
2.6	Определение параметров распределительного барабана с учетом размера каменистых частиц.....	72
	Заключение по главе 2 .....	77
<b>ГЛАВА 3</b>	<b>МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТЕЙ.....</b>	<b>79</b>
3.1	Программа и технология экспериментальных исследований образования шероховатости на ледяной поверхности горной дороги.....	79
3.2	Устройство для распределения нагретых каменистых частиц на ледяную поверхность горной дороги.....	82
3.3	Теплосохранивающий трехслойный пакет для транспортирования горячих каменистых частиц.....	87
3.4	Экспериментальное оборудование для определения коэффициента теплопроводности.....	89
3.5	Стендовая установка для определения характеристик снега	92
3.6	Методика проведения экспериментальных исследований	96
	Заключение по главе 3 .....	101
<b>ГЛАВА 4</b>	<b>РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТЕЙ.....</b>	<b>102</b>
4.1	Оценка процесса погружения нагретых каменистых частиц в ледяной слой в лабораторных условиях.....	102
4.2	Определение глубины погружения нагретых каменистых частиц в ледяное покрытие горной дороги Кыргызстана....	110
4.3	Определение теплопроводности теплосохранивающих пакетов. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований .....	117

4.4	Испытание теплозащитного трехслойного пакета на горных дорогах Кыргызстана.....	123
4.5	Результаты лабораторных исследований по оценке физико-механических свойств снега.....	125
4.6	Результаты экспериментальных исследований по определению сопротивлений ледяного покрытия отрыву и сдвигу.....	127
4.7	Экспериментальное определение сцепных параметров пневматических колес в зоне шероховатости ледяного покрытия горной дороги.....	133
	Заключение по главе 4 .....	137
<b>ГЛАВА 5</b>	<b>ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ НА ЛЕДЯНОЙ ПОВЕРХНОСТИ</b>	<b>139</b>
5.1	Рекомендации по проектированию устройства для образования шероховатости на ледяной поверхности горной дороги .....	139
5.2	Методика расчета параметров устройства для образования шероховатости на ледяной поверхности горной дороги.....	142
5.3	Оценка экономической эффективности применения устройства для образования шероховатости на ледяной поверхности горной дороги.....	146
	Заключение по главе 5 .....	148
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>150</b>
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>152</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>165</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы диссертации.** Кыргызская Республика как горная страна имеет сеть автомобильных дорог, расположенных в горной местности, которые по статистике являются самыми высокогорными дорогами в мире. Дороги имеют сложные перевальные участки, проходящие на высоте 3 000 метров и более. Особая опасность для передвижения транспортных средств создается в зимнее время. Ледяной покров, низкая температура окружающей среды обуславливают образование ледяной корки на поверхности автомобильных дорог. Дорога становится скользкой, возрастает длина тормозного пути, увеличивается опасность заноса транспортных средств вследствие резкого уменьшения коэффициента сцепления колес с ледяной поверхности дороги. Возникает реальная угроза дорожной и транспортной безопасности, прежде всего для водителей и пассажиров. Кроме того, прекращение движения транспортных средств в экстремальных ситуациях ведет к экономическим потерям, порче сельскохозяйственных продуктов, несвоевременной доставке грузов и т.д. С учетом реализации строительства и содержания дорог стратегического назначения как внутри страны (дороги Бишкек - Торугарт, Бишкек - Ош, Ош - Эркечтам, Суусамыр - Тараз и т.д.), так и межгосударственного масштаба (дорога, выходящая к морю: Россия - Казахстан - Кыргызстан - Китай - Афганистан - Пакистан) становится актуальной проблемой качественного содержания горных дорог, особенно в зимнее время.

Применяемые в настоящее время машины для распределения химических концентратов (смесь соли с песком) при борьбе с гололедицей являются экологически вредными и могут нанести урон растительности. Кроме того, применение традиционных пескоразбрасывателей малоэффективно на горных дорогах, имеющих значительные продольные уклоны, так как каменистые частицы, разбрасываемые на ледяную поверхность горной дороги,

скатываются вниз, в результате чего эти участки поверхности дорог остаются «чистыми». Эти участки дороги с уклонами являются особо опасными с точки зрения скользкости. Вышеизложенные обстоятельства обуславливают разработку устройств для образования на ледяной поверхности горных дорог антискользких шероховатостей, например, из каменистых частиц.

**Связь темы диссертации с крупными научными программами (проектами) и основными научно-исследовательскими работами.** Работа выполнена по государственным научно-исследовательским планам Кыргызской Республики «Повышение дорожно-транспортной безопасности горных дорог в экстремальных условиях», № государственной регистрации 0004934 и «Разработка технологии и термо-механического оборудования для повышения сцепления колес транспортных машин с ледяной поверхностью горной дороги», № государственной регистрации 0007063.

**Целью диссертационной работы** является повышение безопасности транспортных средств на ледяной поверхности горной дороги путем модернизации устройства для образования каменистых шероховатостей.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи исследования:

- провести теоретические исследования процесса взаимодействия пневматических колес транспортных средств с ледяной поверхностью горной дороги при наличии каменистых (песчаных) шероховатостей.

- определить параметры распределительного барабана устройства для образования шероховатостей на ледяном покрове горной дороги.

- разработать экспериментальные устройства и методики экспериментальных исследований процессов распределения и погружения нагретых каменистых частиц в ледяной покров горной дороги.

- провести экспериментальные исследования в лабораторных и натурных условиях процесс образования каменистых шероховатостей на ледяном покрове горной дороги.

- оценить тяговые и тормозные характеристики колесных движителей транспортных средств на ледяном покрове горной дороги с каменистыми шероховатостями.

- разработать методику расчета параметров и рекомендации по проектированию устройства для распределения нагретых каменистых частиц на ледяную поверхность горной дороги.

#### **Научная новизна работы:**

- разработаны математические модели взаимодействия пневматических колес с ледяной поверхностью, позволяющие определить тяговую силу транспортных средств на горной дороге при наличии каменистых (песчаных) шероховатостей;

- получены зависимости, позволяющие определять углы захвата и соотношения диаметров каменистых частиц и распределительного барабана устройства для образования шероховатостей на ледяном покрове горной дороги;

- получены уравнения регрессии процесса погружения нагретых каменистых частиц в ледяной покров горной дороги при действии следующих факторов: температуры каменистых частиц; температуры окружающей среды (льда) и диаметра каменистых частиц.

**Практическая значимость полученных результатов.** Определена эффективность распределения и погружения нагретых каменистых частиц на ледяную поверхность горной дороги от размеров и температуры нагрева каменистых частиц и температуры внешней среды.

Разработана методика расчета параметров устройства для образования шероховатостей на ледяной поверхности горной дороги; рекомендации по проектированию устройства для распределения нагретых каменистых частиц на ледяную поверхность горной дороги; оригинальное устройство для образования шероховатости на ледяной поверхности дороги (на конструкцию устройства получен патент КР на изобретение № 1377).

### **Экономическая значимость полученных результатов.**

Реализация инженерно-конструктивного решения «Устройство для образования шероховатости на ледяной поверхности дороги» позволит снизить время распределения нагретых каменистых частиц на наклонной ледяной поверхности горной дороги. Экономический эффект от снижения энергии на дополнительный нагрев каменистых частиц на одну машину в год составит примерно 25 тысяч сомов.

### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- математические модели для определения тяговой силы транспортных средств на горной дороге при наличии каменистых шероховатостей.
- уравнения регрессии процесса погружения нагретых каменистых частиц в ледяной покров горной дороги.
- экспериментально выявленные закономерности по росту тяговых усилий транспортных средств на ледяной поверхности с каменистой шероховатостью.
- методика расчета параметров устройства для распределения нагретых каменистых частиц на ледяную поверхность горной дороги.

**Личный вклад соискателя.** Соискателем лично разработаны теоретические зависимости для определения кинематических параметров движения каменистых частиц; математические модели взаимодействия пневматических колес с ледяной поверхностью. Получены уравнения регрессии процесса погружения нагретых каменных частиц в ледяной покров горной дороги. Разработаны методика экспериментальных исследований, проведены экспериментальные исследования и получены результаты экспериментальных исследований.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены на: международных научно-технических конференциях (Ош, ОшТУ, 2001–2003 гг.); международной научно-практической конференции «Инновационные



технологии: теория и практика» (Алматы, 2004 г.); международной научно-практической конференции «Автомобильные дороги и транспортные машины: проблемы и перспективы развития» (Алматы, 2004 г.); Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы экономики и прогрессивные технологии в текстильной, легкой и полиграфической промышленности» (Санкт-Петербург, 2004 г.); международных научно-технических конференциях студентов и молодых ученых (Бишкек, КГТУ, 2005–2017 гг.); международных научно-технических конференциях КГТУ им. И. Раззакова (Бишкек, КГТУ, 2004–2017 гг.); международной научно-технической конференции «Совершенствование конструкций и системы эксплуатации транспортной техники» (Алматы, 2010 г.); научно-техническом совете научно-исследовательского института физико-технических проблем при КГТУ им. И. Раззакова (Бишкек, 2007–2015 гг.).

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.** По результатам диссертационной работы опубликовано 25 научных публикаций, в том числе 12 из списка НАК КР, 2 РИНЦ РФ и 2 патента на изобретение Кыргызской Республики.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 164 страницах машинописного текста и содержит 67 рисунка и 9 таблиц. Состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Список литературы содержит 106 наименований.

Автор выражает свою признательность сотрудникам Кыргызского Государственного технического университета им. И.Раззакова, Ошского технологического университета, Санкт-Петербургского Государственного университета технологии и дизайна, а также лично профессору Кошакову М.Ж. за помощь и поддержку при работе над диссертацией.

# ГЛАВА 1. АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ МАШИН ДЛЯ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ДОРОГ

## 1.1. Анализ состояний горных дорог Кыргызстана в зимнее время

В Кыргызстане более 90 процентов грузо- и пассажироперевозок осуществляется автомобильным транспортом. Значительная территория Кыргызстана расположена в горных районах. Причем, площадь, находящаяся свыше 2 000 м над уровнем моря в Кыргызстане составляет около 70 процентов [68].

Общая протяженность автомобильных дорог Кыргызстана составляет примерно 25 тыс. км. Из них дороги с твердым покрытием составляют 18 тыс. км, и преимущественно расположены на равнинных участках дорог [6, 50, 84].

Горные дороги характеризуются крутыми подъемами и спусками, малыми радиусами поворотов в плане, составляющие нередко всего 8 - 12 м, при небольшой ширине дороги, углы поворота на серпантинах достигают до 300 градусов.

На склонах Кыргызского хребта толщина покрова достигает в среднем до 27 см. Мощный снежный покров образуется на склонах Ферганского хребта. Число дней в году со снежным покровом составляет, в зависимости от высоты, 90 - 130 дней на северном склоне Кыргызского хребта, на северном склоне гор Алайской долины до 230 дней [34].

Уровень осадков также зависит от высоты местности. С увеличением высоты местности над уровнем моря возрастает количество осадков. Годовая сумма осадков на склонах Кыргызского хребта достигает до 2000 мм.

Эксплуатация строительно-дорожных машин в Кыргызской Республике протекает в экстремальных природно-климатических условиях. На равнинных

местностях в летний период температура окружающего воздуха достигает  $40^{\circ}\text{C}$  на высоте до 700 м над уровнем моря. В зимний период на высоте 4 000 м над уровнем моря температура снижается до  $-35^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, эксплуатация строительных машин на высотах до 4 000 метров и выше значительно снижает эффективность их использования, что проявляется в виде повышения удельного расхода топлива, снижения мощности двигателя, снижения производительности и долговечности машин. В горных условиях действует также такой фактор как рельеф местности, создающий большую опасность при эксплуатации машин на горных склонах.

Снежный покров существенно влияет на тягово-сцепные свойства дорожно–строительных машин и меняет свое состояние под действием различных факторов. Наиболее важными физическими свойствами снега, определяющими условия эксплуатации бульдозерного оборудования для зачистки снежных масс, являются его плотность (объемная масса), сопротивление снега деформации и перемещению, которые зависят от температуры снега, равной в естественном залегании при установившемся режиме температуре окружающего воздуха [85].

Следует отметить, что на перевальных участках дорог снежные покровы лежат с сентября месяца по май, а на некоторых высокогорных участках снежный покров остается практически круглый год.

В Кыргызстане расположены самые высокие перевальные участки мира. Скользкость дорожной поверхности горной дороги является существенным фактором в снижении безопасности транспортного движения в зимнее время [62, 71]. Нередки случаи, когда транспортные средства, потеряв управляемость из-за гололедицы на дорогах, срывались по откосу вниз (рисунки 1.1 и 1.2), и к сожалению, в некоторых случаях приводит к гибели людей.

Анализ природно-климатических состояний дает картину изменения погоды в различных районах на различных уровнях высот [1, 90]. Имеется большая вероятность того, что в любое время года на горных дорогах

ожидаются непредсказуемые погодные условия, особенно на верхних уровнях горной местности. В самый разгар лета плохие погодные условия могут повлечь образование снежного покрова на территориях, расположенных выше 3 000 м над уровнем моря, что приводит к появлению опасности остановки движения автотранспорта или уменьшения пропускной способности перевальных дорог.



Рисунок 1.1 - Последствие скользкости горной дороги. Автомобиль потерял управляемость, вышел на встречную полосу и перекрыл дорогу



Рисунок 1.2 - Последствие скользкости горной дороги

Обвалы и оползни возникают в основном на юге Республики, где на отдельные участки территории приходится до 30-40 оползней на 1 км<sup>2</sup>. Всего на

юге Республики зарегистрировано более 2500 оползней, это основной ущерб, который испытывают автомобильные дороги [40, 41].

Движение лавин начинается на склонах, чаще имеющих крутизну более  $20^{\circ}$ . Мокрые лавины, близкие к водно-снежным потокам, могут сходить со склонов крутизной  $10^{\circ} \dots 12^{\circ}$ . Наиболее лавиноопасными являются склоны в  $25^{\circ} \dots 45^{\circ}$ . Лавиноопасные участки горной автодороги Кыргызстана описаны в работе [40].

На горных дорогах борьба со снежными массами от лавин и заносов также ведется путем применения снегозадерживающих и снегопередувающих оград, различных стеновых щитов, галерей. Однако, необходимость механической очистки дорог в этих искусственных сооружениях, остается неизбежной [34, 43].

## **1.2. Анализ устройств и технологий для борьбы со скользкостью на дорогах**

Для разбрасывания (распределения) каменистых инертных материалов и солей на дорогах выпускаются различные типы и конструкции машин, называемых песко- или солеразбрасывателями. Большинство песко- и солеразбрасывателей имеют специальное оборудование, смонтированное на шасси грузового автомобиля или на прицепе (полуприцепе) к тягачу. Как правило, такие машины имеют дополнительное оборудование, которое кроме распределения сыпучих материалов, позволяет выполнять операции по уборке улиц. Эти машины могут быть использованы также в качестве транспортных средств. Другие машины для распределения материалов имеют оборудование, которое выполнено в виде отдельного агрегата, установленного на грузовой платформе автомобиля или прицепа. Такой агрегат имеет привод от собственного двигателя [49].

Широко применяемая пескоразбрасывающая машина ПР-53 смонтирована на шасси автомобиля ГАЗ-53А (рисунок 1.3). Пескоразбрасывающее оборудование состоит из бункера, питателя, выполненного в виде погружного скребкового транспортера, разбрасывающего диска и узлов трансмиссии привода рабочих органов [61].

Бункер для песка имеет трапециевидное сечение, расположен горизонтально. Он сварен из листовой стали и усилен ребрами жесткости. Наклон боковых стенок бункера к горизонтали под углом  $50^\circ$  обеспечивает сползание материала к транспортеру при разгрузке машины. В передней и задней стенках бункера имеются прямоугольные отверстия для прохода транспортера. Заднее отверстие образуется полом бункера и резиновым отсекающим устройством. Задняя стенка бункера - съемная. По требованию заказчика, машина может быть оборудована специальной решеткой, устанавливаемой над бункером, для предотвращения попадания в него камней при загрузке.

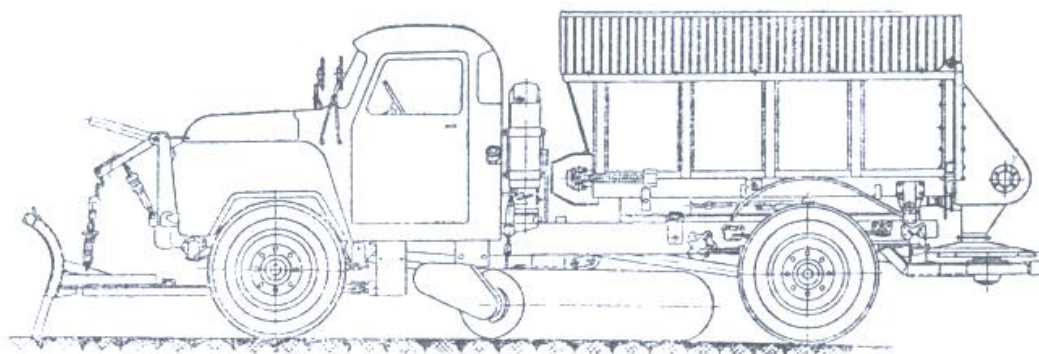


Рисунок 1.3 - Общий вид пескоразбрасывателя ПР–53

Транспортер представляет собой две бесконечные якорные цепи, к звеньям которых с помощью болтов прикреплены скребки. Приводной вал транспортера расположен за бункером, а натяжная станция - в передней его части. Приводной вал закрыт кожухом, установленным на задней стенке бункера. В нижней части кожух имеет направляющую горловину для выхода

песка, под которой расположен разбрасывающий диск с лопатками. К горловине прикреплен отражательный щиток, прикрывающий диск [9].

Снегоочистительное оборудование ПР-53, ПР-130, КДМ-130 имеет одинаковую конструкцию и унифицировано со снегоочистительным оборудованием машины ПМ-130. На машинах ПР-130 и КДМ-130 установлена раздаточная коробка РК-12. Конические редукторы разбрасывающего диска машины ПР-53 и ПР-130 - также одинаковой конструкции [8, 9, 17, 35].

Основными производителями пескоразбрасывающих машин и их рабочего оборудования в СНГ являются: "Смоленский завод КДМ" (группа компаний "Меркатор", "Смоленский автоагрегатный завод АМО ЗИЛ", "Кемеровский опытный ремонтно-механический завод", "Тосненский механический завод", "Севдормаш", "НПО Росдормаш", "Ирмаш", "Кургандормаш", "Мценский КомМаш", "Рязский АРЗ", "Арзамасский КомМаш", "Новосибирский ДорМаш", "Московский Дормаш", "Мотовилихинские заводы" и др.

Специалисты «РОСДОРНИИ» разработали и изготовили новую комбинированную машину для зимнего содержания дорог - самосвал пескоразбрасыватель на базе шасси КамАЗ-53229 с унифицированными передним отвалом и средней щеткой.

Конструктивная особенность данной машины заключается в использовании одного общего кузова как в режиме работы самосвала, так и в режиме пескоразбрасывателя. Отечественными производителями в настоящее время выпускаются варианты комбинированных машин, где в кузов доработанного самосвала устанавливается еще один кузов пескоразбрасывателя.

Основными недостатками такого технического решения являются снижение грузоподъемности, повышение затрат на ГСМ (даже неразгруженная автомашина перевозит еще один кузов весом около 3 т) и ухудшение управляемости [22].

Основные конструктивные особенности определяются оригинальным исполнением самосвального кузова автомашины. В данном техническом решении используется только один самосвальный кузов, но с трансформирующимися боковыми бортами и задним откидным бортом.

Технические характеристики пескоразбрасывателей, выпускаемых в странах СНГ приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Технические характеристики пескоразбрасывателей СНГ

Наименование показателей	Единица измерения	ПР-53	ПР-130	КДМ-130
Шасси		ГАЗ-53А	ЗИЛ-130	ЗИЛ-130
Емкость бункера для песка, (геометрическая)	м <sup>3</sup>	2,2	3,3	3,25
Ширина посыпки	м	7-8	6-7	6-7
Плотность посыпки	л/м <sup>2</sup>	0,15-0,3	0,15-0,3	0,15-0,3
Рабочие передачи		II, III	I, II	II, III
Рабочая скорость машин	км/ч	12-25	8-13	10-25
Транспортная скорость с грузом	км/ч	до 40	до 40	до 40
Высота загрузки	мм	1950	2080	2090
Масса порожней машины с зимним оборудованием	кг	4500	5860	5877
Габаритные размеры машины с комплектом зимнего оборудования:	мм			
длина		7420	7490	8366
ширина		2970	3060	3060
высота		2190	2606	2520



Трансформация бортов заключается в изменении угла их наклона от крайнего вертикального положения до наклонного под углом в  $30^{\circ}$  (рисунок 1.4).

Режим изменения угла наклона бортов включается после полной загрузки кузова противогололедным материалом и по мере его убывания для устранения эффекта «зависания» материала. Как только материал в кузове заканчивается, боковые борта вновь перемещаются в вертикальное положение, и машина идет под загрузку. За счет использования данного режима грузоподъемность новой машины на 30 % больше, чем у всех остальных комбинированных машин для зимнего содержания дорог.



Рисунок 1.4 - Комбинированная машина для зимнего содержания дорог на базе шасси КАМАЗ

Комплексная дорожная машина КДМ-313 предназначена для содержания автодорог в зимний период и для ямочного ремонта летом. Технологическое оборудование машины смонтировано на базе автомобильного шасси КАМАЗ-53229.

Конструкция машины КДМ-313 позволяет устанавливать на шасси быстросменное оборудование для ямочного ремонта или оборудование для содержания дорог зимой. Это обеспечивает круглогодичную эксплуатацию

КДМ-313 в отличие от узкоспециализированных машин, эксплуатируемых только в определенные сезоны.

КДМ-313 с установленными сменными передним скоростным и боковым отвалами и пескоразбрасывателем осуществляет работы по уборке снега и шуги на дорогах, обочинах и распределению сыпучих противогололедных материалов по дорожному полотну.

Сменное пескоразбрасывающее оборудование (рисунок 1.5) предназначено для разбрасывания пескосоляной смеси на дорогах с твердым покрытием в осенне-зимний период. Передний скоростной отвал служит для скоростной патрульной очистки автодорог с твердым покрытием от свежесвыпавшего снега (устанавливается спереди автомобиля с помощью специального кронштейна). Отвал копирует профиль дорожного покрытия, что обеспечивает чистый след. Боковой отвал предназначен для удаления снега и шуги с дорожного полотна и обочины дороги (устанавливается с правой стороны по ходу движения машины).



Рисунок 1.5 - Комплексная дорожная машина КДМ-313

Режим работы установки для распределения сыпучих противогололедных материалов соответствует для температуры окружающего воздуха до  $-40^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности до 90 % при осадках средней интенсивности.

Зарубежные фирмы выпускают различные по принципу действия и конструкции машины для распределения каменистых частиц на автодорогах [13, 61, 95, 105]. Ведущими мировыми производителями машин и рабочего

оборудования для разбрасывания каменистых частиц на снежную дорогу являются фирмы Atkinson (Англия), "SCHMIDT"(Германия),"Giletta" (Италия и Франция), "Arctic Machine"(Финляндия) "Boschung" (Швейцария), "Swenson" (США), "Ероке" (Дания), "ТАТРА" (Чехия), "Аcometis" (Франция), "Falkoping" (Швеция).

Фирма Atkinson (Англия) и ее отделения выпускают песко-солеразбрасыватели на автомобильных шасси различной грузоподъемности. Фирма выпускает также песко-солеразбрасыватель на одноосном прицепе к тягачу оригинальной конструкции грузоподъемностью 7 т, который устанавливают на шасси CD-762. Бункер для распределяемого материала разделен на две секции. На дне каждой секции расположены ленточные питатели, перемещающиеся при работе машины навстречу друг другу к середине бункера. Количество материала, сходящего с каждого питателя, можно изменять с помощью подвижных заслонок.

Другая английская фирма Sisis выпускает четыре основных модели распределителя (TSD 36, TSD 60, TSD 72, TSD 90) с девятью модификациями, которые имеют однотипное рабочее оборудование и различаются емкостью бункера, шириной посыпки и конструкцией привода рабочего оборудования.

Каждый распределитель имеет бункер, дном которого является короткий ленточный транспортер, выполненный из рифленой резины. Привод ведущего барабана транспортера осуществляется от ходовых колес тележки, на которой установлено оборудование, или от колеса тягача. Скорость перемещения ленты транспортера пропорциональна скорости движения тележки или тягача, что обеспечивает постоянную плотность посыпки. Во время работы оборудования песок или соль просыпаются через щель в передней или задней стенке бункера по всей его ширине. Высоту щели можно регулировать.

На рисунок 1.6 показана пескоразбрасывающая установка Sisis. Небольшие габариты и малый вес распределителей Sisis позволяют использовать их для посыпки тротуаров, дворов, парков и заводских

территорий. Простота конструкции обеспечивает надежную работу распределителей и облегчает их техническое обслуживание.



Рисунок 1.6 - Пескоразбрасывающая установка Sisis (Англия)

Фирма Kuка (ФРГ) выпускает распределители песка и соли, которые имеют однотипное оборудование, установленное на шасси различной грузоподъемности, и отличаются емкостью бункера. Распределители имеют закрытый цилиндрический вращающийся кузов с внутренним шнеком. Разбрасывающий диск может быть расположен с левой стороны машины между осями или за задней осью. Вращающийся кузов имеет механический привод от коробки отбора мощности автомобиля.

Фирма Adolf Ries (ФРГ) изготавливает распределитель песка и соли для посыпки улиц и загородных дорог. Он имеет несколько модификаций, предназначенных для использования в различных условиях. Специальное оборудование может быть установлено в кузове бортового автомобиля или смонтировано на автомобильном шасси. На рисунке 1.7 показана данная машина модели 379-US, смонтированная на одноосном прицепе. Она работает совместно с тягачом, в качестве которого используется автомобиль Unimog. Распределитель имеет бункер с наклонными стенками. На дне бункера расположен шнек, который подает распределяемый материал к разбрасывающему диску, установленному в задней части прицепа. Привод механизмов осуществляется от коробки отбора мощности автомобиля-тягача с

помощью карданного вала. Диск может иметь механический привод или привод от гидромотора. Электропневматическая система позволяет водителю управлять механизмами распределителя из кабины [92].



Рисунок 1.7 - Прицепной распределитель для песка и соли модели 379-US фирмы Adolf Ries (Германия)

Разбрасыватель Junior фирмы Hubert Weisser установлен на самоходном шасси, что позволяет увеличить загрузку бункера на 40 % по сравнению с нормальной. Выходной конец шнекового транспортера заключен в кожух, из которого распределяемый материал по вертикальному цилиндрическому желобу попадает на разбрасывающий диск. Над диском установлен конический экран с цилиндрической направляющей частью, охватывающей вертикальный желоб. На направляющей части имеются косые пазы, куда входят штифты желоба. При повороте экрана его положение по высоте изменяется, чем достигается регулирование ширины посыпки от 0,5 м до 4 м. Управление двигателем разбрасывателя осуществляется с помощью гибкого тросика с рабочего места водителя [97].

Распределитель фирмы Biumhard (ФРГ) на шасси автомобиля Unimog-406 может быть применен как в коммунальном хозяйстве при посыпке дорожной поверхности солями, так и в сельском хозяйстве для разбрасывания удобрений. В оборудование для посыпки входит кузов, подающий механизм, состоящий из

двух шнеков и двухдисковый разбрасывающий механизм с небольшим бункером-накопителем. Во время работы машины два шнека подают материал в бункер-накопитель, состоящий из двух воронкообразных секций. В каждой секции имеется дозирующее отверстие с заслонкой для подачи материала к разбрасывающему диску. На дне каждой воронки установлена небольшая мешалка, посаженная на одном валу с разбрасывающим диском. При вращении мешалки материал свободно просыпается через дозирующее отверстие на разбрасывающий диск.

В Чехии выпускается распределитель песка, смонтированный на автомобильном шасси Шкода 706 RTH. Машина представляет собой универсальную конструкцию, обеспечивающую не только разбрасывание песка и соли, но также транспортировку и выгрузку сыпучих материалов.

Она имеет кузов прямоугольной формы с перемещающимся на роликах днищем, которое служит для подачи песка в заднюю часть кузова. В задней части кузова, снизу, на специальных защелках крепят устройство, подающее материал на разбрасывающий диск. Это устройство легко может быть демонтировано для использования машины в качестве транспортного средства.

Фирма King Seagrave Limited (Канада) выпускает разбрасыватели, смонтированные на автомобильном шасси. Разбрасывающее оборудование этих машин состоит из сварного бункера с четырьмя наклонными стенками, ленточного питателя и разбрасывающего диска. В верхней части бункера имеется защитная решетка.

Интересной особенностью является расположение питателя небольшой длины поперек продольной оси машины, что снижает мощность, необходимую для его привода. Привод питателя - гидравлический [99].

Фирма Good Roads (США) выпускает четыре модели разбрасывателей песка и соли: M1, M2, PT и NY. Рабочее оборудование всех четырех моделей унифицировано. На каждой из них может быть установлен бункер емкостью от

4 до 5,5 м<sup>3</sup>. Бункер сварной конструкции, стенки его наклонены к горизонтали под углом 40°. Сверху бункер закрыт металлической сеткой.

Питателем является транспортер шириной 457 мм, состоящий из двух втулочно–роликовых цепей с прикрепленными к ним стальными пластинками. Транспортер имеет натяжное устройство для компенсации вытяжки. Отверстие для выхода материала на диск в задней стенке бункера закрыто заслонкой, положение которой по высоте может меняться. На разбрасывателях устанавливают один или два диска, имеющие по восемь лопаток. Диски перед сборкой статически и динамически уравнивают.

Фирма «Кэбиэру» (Япония) является мировым лидером в разработках такого оборудования, активным его производителем и поставщиком. Это оборудование (рисунок 1.8) обеспечивает качественное выполнение работ по разбрасыванию (разбрызгиванию) антигололедных реагентов с целью поддержания требуемого уровня эксплуатационной готовности дорог [32, 33].

Оборудование серии КА 1000 (рисунок 1.9) предназначается для эффективной обработки дорожного полотна антигололедными реагентами с оптимальными параметрами обеспечения режимов технологических процессов, при этом масса навесного технологического оборудования составляет 230-300 кг за счет широкого использования высокопрочных нержавеющей материалов.



Рисунок 1.8 - Машины для разбрасывания антигололедных материалов



Рисунок 1.9 - Машина для разбрасывания антигололедных материалов,  
модель КА 1000

Машина для разбрасывания антигололедных материалов типа KS 2000 (рисунок 1.10) обладает высокими показателями приспособленности к регламентному техническому обслуживанию к текущим ремонтам, что существенным образом облегчает ее подготовку к работе и снижает трудоемкость проведения профилактических мероприятий. Кроме этого, модель имеет значительно меньшую конструкционную массу по сравнению с изделиями аналогичного типоразмера.



Рисунок 1.10 - Машина для разбрасывания антигололедных материалов,  
модель KS 2000 D



Техническая характеристика основных моделей пескоразбрасывателей зарубежных фирм представлена в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Техническая характеристика основных моделей пескоразбрасывателей зарубежных фирм

Параметры	PG 450	КА 1000	KS 2000 D	HF 4035
Вместимость рабочего бункера, м <sup>3</sup>				
номинальная	0,5	1,35	2,2	3,8
максимальная	0,5	1,5	2,5	4,4
Возможный объем заправки жидкой рабочей среды, л	450	-	700	1710
Ширина обрабатываемой рабочей полосы дорожного покрытия за один проход оборудования, м	1-6	1-8	2-10	2-12
Расход рабочей среды, г/м <sup>2</sup>				
солевой раствор	5-40	-	-	-
речной песок	30-200	5-350	-	-
Технологическая скорость перемещения оборудования, км/ч	0-50	0-80	-	-
Количество водного раствора при перемешивании разбрасываемой рабочей среды, л	260	-	-	-
Габаритные размеры, мм				
длина	1760	1820	2600	3500
ширина	1200	1250	1950	2000
Эксплуатационная масса, кг	170	218	730	1150

Фирма «Кэбиру» поставляет антигололедное оборудование KS2000DKBL и HF4035KBL. На этих моделях упрощена конструкция, значительно уменьшена масса и облегчены операции обслуживания и профилактики. Исключено зависание смеси в бункерах с вертикальным направлением подачи антигололедных химикатов. Используются электронные блоки управления, выполняющие функции обработки и оптимизации числовых параметров на каждом режиме работы (разгрузке, перемешивании, транспортировке и рассеивании). Устройства управления этими блоками удобно сосредоточены в кабине перед оператором [98].

Фирма «Нихон Дзейсэцуки Сэйсакудзе» предлагает оборудование NWS25 для рассеивания антигололедных смесей, имеющее электронное управление и позволяющее разбрызгивать жидкие антигололедные химикаты. Непосредственно перед рассеиванием возможно перемешивание отвержденных ингредиентов с жидкими составляющими, что позволяет ускорить процесс разрушения ледяной пленки и проводить рассеивание более экономично.

Фирма «Ханта Кикай» представляет для рассеивания антигололедных смесей и предотвращения образования гололеда на автомагистралях мобильное оборудование MS-BIT (D), MS-BWT, а для выполнения маломасштабных работ малогабаритное оборудование MS-H, монтируемое на легких грузовиках. На всех этих моделях применяется система автоматического управления процессом рассеивания антигололедных соединений. Параметры рассеивания и ширина зоны рассеивания регулируется с места оператора. Оборудование снабжено механизмом регулирования технологической скорости его перемещения, однако каждая модель имеет свои отличительные особенности [10].

На оборудовании MS-BWT используется система многоступенчатого инъекционного перемешивания жидких антигололедных реагентов в бункере. Предложена вновь разработанная система полного перемешивания жидких и отвержденных антигололедных ингредиентов, защищенная патентами Японии.

Особенностью этого оборудования является также то, что по обеим сторонам бункера располагаются резервуары вместимостью 1800 и 2600 л с жидкими составляющими, снижен центр тяжести оборудования, значительно уменьшена масса передней оси базового шасси, что улучшило динамическую устойчивость машины при транспортировке и маневрировании.

Оптимальным техническим решением для проведения маломасштабных работ по предотвращению гололеда оказалось создание агрегируемого на грузовике необходимого типоразмера малогабаритного оборудования серии MS–H.

В последние годы появляются машины для просушивания дорожных покрытий (грунта). Фирма «Кавасаки Кикай Киндзоку» предлагает оборудование модели 301 для просушивания грунта при строительстве дорог, особенно в зимнее время, с использованием шести мощных горелок.

Предполагается, что такое оборудование может быть применено при просушивании дорожных и аэродромных покрытий.

Предлагаемые машины и оборудование являются мобильными, многофункциональными и универсальными благодаря скоростному базовому шасси (колесные погрузчики, автомобили) и значительной номенклатуре сменного рабочего оборудования, приспособленного к различным условиям работы (меняющиеся рабочие углы плугов, поворотные насадки и др.), удобной и оперативной смене навесных агрегатов без выхода оператора из кабины.

### **1.3. Способы борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах**

Борьбу с зимней скользкостью можно вести по трем направлениям: улучшать сцепление колес автомобилей с обледенелым покрытием; удалять снежно–ледяные образования с дорожного покрытия; предотвращать образование скользкости. В соответствии с этими направлениями разработаны

различные способы борьбы с зимней скользкостью: фрикционный, тепловой, механический, химический [21, 25, 38].

Фрикционный способ, заключающийся в россыпи по поверхности обледенелого слоя материалов, повышающих коэффициент сцепления шин с дорогой (песка, шлака, золы и т.д.), был до последнего времени наиболее широко распространен. Однако исследования выявили его недостаточную эффективность и малую экономичность. Опыты, проведенные учеными [9] показали, что при россыпи песка по обледенелой дороге коэффициент сцепления шин с дорогой не превышает 0,15 уже сразу после россыпи. В дальнейшем песок сравнительно быстро сдвигается с проезжей части колесами автомобилей, а в ветреную погоду сдувается ветром с обледенелого покрытия. Добавление соли к фрикционным материалам улучшает их закрепление на поверхности ледяного слоя, благодаря чему повышается и коэффициент сцепления. Однако и в этом случае коэффициент сцепления, лишь изредка приближается к 0,4, т. е. к тому предельному значению, ниже которого безопасность движения по дороге не может считаться обеспеченной [39, 51, 63].

Другим крупным недостатком фрикционного способа является большая потребность в машинах для распределения фрикционных материалов. На дорогах с интенсивным движением обледеневшие покрытия должны быть обработаны на всем протяжении в кратчайшие сроки, как правило, не дольше 2 ч. Чтобы выполнить такие высокие требования на дорогах с шириной проезжей части 7 м при норме россыпи фрикционных материалов  $0,2 \text{ м}^3/1000 \text{ м}^2$  необходимо иметь 14-15 пескоразбрасывателей на каждые 100 км протяжения дороги. Обеспечить дорожные хозяйства таким количеством машин в условиях Кыргызстана невозможно [1, 50, 52].

В связи с указанными недостатками в настоящее время необходимо заменить фрикционный способ борьбы с зимней скользкостью более эффективными способами. Основной путь повышения эффективности борьбы с зимней скользкостью - это переход к полному удалению ледяного или снежно-

ледяного слоя. В этом случае восстанавливаются первоначальные качества покрытия по сцеплению, что обеспечивает необходимые условия безопасности движения [58, 106].

Ледяной или снежно–ледяной слой, образовавшийся на покрытии, удаляют тепловым или химическим способом.

Тепловой способ борьбы с зимней скользкостью применяется в основном в двух видах:

1. Удаление снежно-ледяных отложений путем подогрева покрытий нагревательными элементами, закладываемыми в покрытие. Нагревательными элементами служат трубы, по которым циркулирует жидкостный теплоноситель (чаще всего нагретое масло), или сетка и кабели, по которым пропускают электрический ток. Такой способ борьбы с зимней скользкостью требует капитальных затрат и высоких эксплуатационных расходов [22, 77]. За рубежом он применяется на участках дорог небольшого протяжения с высокой интенсивностью движения [24, 93]. В СНГ по экономическим соображениям этот способ производственного применения пока не получил и испытывался только на опытных участках.

2. Удаление снежно-ледяного слоя с покрытий с помощью тепловых машин. Этот способ в настоящее время применяется на аэродромах.

Проводились испытания тепловых машин, применяемых на аэродромах и для борьбы с обледенением покрытий на загородных автомобильных дорогах. При испытаниях толщина ледяных и снежно–ледяных слоев составляла от 1-2 до 25-30 мм. Газовая струя тепловой машины растапливала тонкий лед, отрывала куски толстого снежно–ледяного наката и отбрасывала их на расстояние до 30 м. Поверхность покрытия после работы машины становилась сухой. Техническая производительность тепловой машины во время испытаний составила: при удалении тонкого (до 2 мм) ледяного слоя - 6000 м<sup>2</sup>/ч, а при удалении снежно–ледяного наката (до 50 мм) - 1800 м<sup>2</sup>/ч.

Однако испытания показали следующие существенные недостатки

тепловых аэродромных машин при использовании их для борьбы с зимней скользкостью на загородных автомобильных дорогах:

- движение по дороге во время работы тепловой машины приходится прерывать, что приводит к образованию транспортных «пробок» на участке, где работает машина, и вызывает необходимость ее периодических остановок для пропуска скопившихся автомобилей;

- производительность существующих тепловых аэродромных машин невысокая, а расход топлива большой (до 1,3 т/ч), что делает тепловой способ сравнительно дорогим;

- работа тепловой машины сопровождается сильным шумом и отбрасыванием на значительное расстояние кусков льда и уплотненного снега, что делает невозможным использование таких машин в населенных пунктах;

- применение тепловых машин на покрытиях, построенных с использованием органических вяжущих материалов, может вызвать местные повреждения покрытий вследствие выгорания вяжущего материала;

- при работе тепловых машин на участках дорог, огражденных тумбами или криволинейным брусом, а также на местах с перилами наблюдается так называемый «отбойный эффект». Он выражается в отбрасывании обратно на дорогу снежных и ледяных частиц, переносимых газовой струей тепловой машины, когда струя отражается от устройств, ограждающих дорогу.

В связи с указанными недостатками тепловые машины пока не применяются для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах.

Механический способ борьбы с зимней скользкостью имеет ограниченное применение. Он предусматривает использование самоходных и прицепных машин и механизмов ударного, скребкового, вибрационного или срезающего действия для разрыхления и отделения льда и уплотненного снега от покрытия. Применение таких машин показало, что они могут быть пригодны лишь для скалывания и срезания толстых уплотненных снежно-ледяных корок [10, 27]. Для удаления тонких ледяных пленок механический

способ оказался неприемлемым. Это связано с тем, что прочность смерзания льда с бетоном и асфальтобетоном, как уже было сказано выше, велика. Под действием нагрузки разрушение льда часто происходит не по контакту лед - покрытие, а по льду. Кроме того, образующаяся в результате замерзания талой или дождевой воды ледяная пленка имеет толщину до 3 мм, что также значительно усложняет удаление механическими средствами таких тонких пленок.

Поэтому механический способ борьбы с зимней скользкостью применяется чаще всего не самостоятельно, а как вспомогательный в сочетании с химическим. В этом случае предварительно ослабляют снежно-ледяной слой химическими веществами, затем ослабленный слой с пониженными прочностными показателями удаляют с дороги машинами [36,37].

Химический способ борьбы с зимней скользкостью в основном применяется в особых условиях для эксплуатации городских и внегородских автомобильных дорог. Химические материалы в «чистом» виде, т. е. не смешанные с песком, можно применять как для полного расплавления, образовавшегося на покрытии снежно-ледяного слоя, так и для его ослабления, для уменьшения сил смерзания между этим слоем и покрытием, а также для предотвращения образования снежно-ледяного слоя. В зависимости от поставленной задачи применяются разные материалы и разная технология работ [53].

Уменьшение сил смерзания снежно-ледяного слоя с покрытием может быть достигнуто обработкой дороги органическими составами на основе кремния. Эти составы наносят на поверхность покрытия в виде устойчивых микропленок (поверхностная обработка) или вводят в покрытие в процессе строительства дороги (объемное введение). В результате покрытие приобретает гидрофобные (водоотталкивающие) свойства. Благодаря гидрофобизации покрытия сила смерзания льда с поверхностью дороги уменьшается, что существенно облегчает удаление льда [11, 57].

Многолетние наблюдения за эксплуатацией автомобильных дорог в зимнее время, проведенные как в СНГ, так и зарубежном, показывают, что на асфальтобетонные покрытия химические противогололедные реагенты существенного агрессивного влияния не оказывают. При прочих равных условиях наибольшее разрушающее действие на бетон оказывают растворы хлористого натрия. Растворы хлористого кальция в меньшей степени влияют на шелушение цементобетона, а растворы хлористого магния оказывают слабое разрушающее воздействие на цементобетон [67].

#### **1.4. Обзор и анализ исследований процессов взаимодействия с ледяным покровом и ходовым оборудованием транспортных машин**

В последние годы наблюдается существенный рост парка транспортных средств Кыргызстана, и, как следствие, возникает необходимость не только расширения дорожной сети, но и качественное ее содержание, особенно в зимний период. В связи с этим возрастает актуальность зимнего содержания горных дорог.

Вопросами совершенствования конструкций пескоразбрасывателей занимались ученые СНГ: Г.Л. Карабан [32], В.П. Сорока [61], Г.В. Бялобжеский [9], В.И. Баловнев [4], В.П. Варфомеев [10], А.П. Васильев [7] и др. Определение физико-механических свойств снега отражены в работах П.П. Кузьмина [38], Е.П. Драневича [25], Н.П. Александровой [3], А.С. Александрова [3] и др. По взаимодействию рабочих органов распределительных машин со снежным покровом известны работы Д.А. Шалмана [89], Л.М. Гусева [22], В.Н. Кузнецовой [37], М.В. Немчинова [49], Ю.В. Кузнецова [36] и др. Процесс взаимодействия со снежным покровом ходового оборудования изучались в трудах Т.В. Самодуровой [57], Ж.Ж.



Тургумбаева [68], М.С. Кульгильдинова [39] и др. За рубежом проблемы борьбы с гололедицей на дорогах известны работы М. Питера [51], К. Джона [24], С. Малика [42], Т. Моута [48], Н.Дж. Сиффели [58], D.E. Peterson [104] и др.

Одним из важнейших условий обеспечения безопасности движения является надежное сцепление шины с дорожным покрытием. Величина, определяющая надежность сцепления шины с покрытием, оценивается коэффициентом сцепления  $\varphi$ , который измеряется приборами (например, динамометрической тележкой) и определяется по формуле [9, 88]

$$\varphi = \frac{T}{P}, \quad (1.1)$$

где  $T$  - сила тяги, необходимая для протаскивания по покрытию заблокированного колеса при заданной скорости;

$P$  - нагрузка на колесо, прижимающая его к дороге.

Величина, полученная по формуле (1.1), представляет собой фактическое сцепление  $\varphi_{\phi}$  в каждом конкретном случае, а отношение этой величины к расчетному коэффициенту сцепления  $\varphi_p$ , т. е. к такому, какое должно иметь покрытие при нормальном состоянии, дает коэффициент скользкости

$$K_{ск} = \frac{\varphi_{\phi}}{\varphi_p}. \quad (1.2)$$

Для обеспечения безопасного движения требуется, чтобы коэффициент сцепления был не ниже минимально допустимого. Таким минимальным значением коэффициента сцепления [62] считается  $\varphi = 0,40$ . При меньших значениях  $\varphi$  резко возрастает вероятность дорожно-транспортных происшествий.

Значение коэффициента сцепления колеблется в достаточно широком диапазоне. Диапазон его колебаний связан не столько с типом, сколько с состоянием дорожного покрытия. На сухой дороге коэффициент сцепления шин со всеми типами твердых покрытий в 1,5-2 раза больше минимально

допустимого значения. На мокром покрытии коэффициент сцепления понижается на 30-50 % по сравнению с его значением для сухих покрытий. Наиболее опасные условия движения возникают при образовании на дорожном полотне снежно–ледяной корки и в особенности пленки из льда. В этих случаях коэффициент сцепления резко падает (таблица 1.3).

Таблица 1.3 - Значения коэффициента сцепления для различных состояний дорожного полотна

Состояние дорожного полотна	Коэффициент сцепления на покрытии		
	Асфальто-бетонном, цементобетонном	щебеночном	грунтовом
Сухое	0,70-0,80	0,70-0,80	0,50-0,60
Мокрое	0,40-0,50	0,40-0,50	0,30-0,40
Покрытое мокрым снегом	0,20-0,30	0,20-0,30	0,20-0,30
Покрытое снежно-ледяной коркой	0,15-0,30	0,15-0,30	0,15-0,30
Обледенелое	0,08-0,15	0,08-0,15	0,08-0,15

Тормозной путь обратно пропорционален коэффициенту сцепления и прямо пропорционален начальной скорости торможения. При одновременном блокировании всех колес на горизонтальной поверхности зависимость указанных параметров выражается формулой

$$L = \frac{v^2}{254\varphi}, \quad (1.3)$$

где  $L$  - тормозной путь, м;

$v$  - скорость движения автомобиля до начала торможения, км/ч;

$\varphi$  - коэффициент сцепления шин с дорогой.

На облещенелом покрьтии качение колес легко переходит в скольжение. Вероятность аварий становится особенно большой на участках возможного действия поперечной силы (например, на кривых) и в период торможения. На облещенелой дороге тормозной путь автомобиля в несколько раз больше, чем на чистом сухом покрьтии (таблица 1.4).

Таблица 1.4 - Средняя длина тормозного пути для различных скоростей транспортных средств на двух типах покрьтия

Скорость, км/ч	Средняя длина тормозного пути, м	
	На сухом покрьтии	На облещенелом покрьтии
20	3,1	10,5
30	7,1	23,6
40	12,6	42,0
50	19,7	65,6
60	28,3	94,4
80	50,4	167,9
100	78,7	262,3

Л.М. Гусев [22] предлагает формулу для расчета количества химических веществ, которые необходимо вводить в фрикционные материалы, чтобы они не смерзались:

$$S = k \frac{W n_T \gamma_M}{10000}, \quad (1.4)$$

где  $k$  - коэффициент, равный 1,3, характеризующий равномерность распределения соли во фрикционном материале;

$W$  - влажность материала, % ;

$n_T$  - концентрация раствора применяемой соли, обеспечивающая

незамерзание раствора при данной температуре, %;

$\gamma_m$  - объемная масса фрикционного материала, т/м<sup>3</sup>.

Известны работы по термическим методам воздействия на снежный покров дороги. Термические методы воздействия на снежные покрытия могут быть разделены на две категории: обогрев покрытий, приводящий к стаиванию с них снега, и использование снеготопительных систем, когда снег загружается в цистерну и растапливается.

Система обогрева снежных покрытий - слишком дорогостоящее средство для борьбы с гололедом из-за необходимости значительных затрат на капитальные вложения и высоких эксплуатационных расходов [2, 4, 5]. Такие системы рекомендуется использовать лишь в тех местах, где механический способ очистки снега сопряжен с трудностями, задержка транспорта недопустимы и большое значение имеет обеспечение безопасности.

По данным работы [3, 48] требуемая мощность большинства обогревателей определяется на основе данных о количестве тепла, которое необходимо затратить для растапливания снега. При этом за скорость снегонакопления принимают ее значение, определенное за весь период снегопада. Значение требуемой мощности можно определить по формуле

$$Q = 2.78 \cdot 10^{-4} hWE, \quad (1.5)$$

где  $Q$  - требуемая мощность;

$h$  - теплота плавления;

$WE$  - интенсивность снегонакопления.

Институтами ГПИ и НИИ «Аэропроект» ГА и ГосНИИ ГА в 1968-1971 гг. была создана и испытана установка, которая оснащалась излучателем мощностью 50 кВт и генератором потока газа на базе малоразмерного газотурбинного двигателя - агрегата ТГ-16. При работе установки поверхностная плотность излучения находилась в пределах  $2,5 \times 10^5$  Вт/м<sup>2</sup>. Из-за высокой стоимости, сейчас не представляется возможным широко применять тепловой способ для борьбы с зимней скользкостью на дорогах. Лишь в

некоторых случаях, например для больших стальных мостов, подверженных опасности гололеда, целесообразно использовать обогрев проезжей части. При этом необходимо учитывать, что переход с обогреваемого участка дороги на участок без подогрева представляет повышенную опасность для водителей автомобилей. Поэтому такие участки должны быть оборудованы соответствующей сигнализацией.

В работе профессора Джон К. [24] указаны такие материалы, как краска ДС 732, Дрисил 73/ДС 732, Петросет АТ, Вискоспин В, которые выбирались на основании испытаний, определяющих: величину и устойчивость их контактных углов; способность ликвидировать обледенение асфальтобетонных и цементобетонных покрытий; их сцепные качества (только на асфальтобетоне); долговечность и износоустойчивость (на асфальтобетоне и цементобетоне); вероятность загрязнения окружающей среды. Испытывались такие параметры, как износоустойчивость, сцепные качества обработанных покрытий, загрязнение окружающей среды и способность материала ликвидировать обледенение покрытий.

Испытательный трек был оснащен самопишущим термометром «Белфорт», который непрерывно регистрировал температуру воздуха и грунта. Температура поверхности покрытия измерялась внешними термометрами, а температура внутри дорожного покрытия термопарой. Число оборотов консолей и скорость вращения колес непрерывно регистрировались на наблюдательной вышке. Оценка скользкости покрытия производилась путем измерения величины сцепления с помощью британского портативного прибора [24].

Чтобы вызвать временное оттаивание очень тонкого слоя льда предусматривается подвод тепла на очень короткое время в промежуточный слой между льдом и дорожным покрытием. Толщина оттаявшего слоя может составлять около 2 мкм и этого бывает достаточно для того, чтобы устранить межмолекулярное взаимодействие между льдом и дорожным покрытием. Затем

необходимо выполнить процедуру разрушения и перемещения льда, прежде чем оттаявший слой успеет подмерзнуть.

Если тепло подводится исключительно с целью оттаивания льда, то для толщины слоя таяния 6 мкм, распределенной по ширине полосы движения 2,7 м, при скорости автомобилей 24 км/ч необходима мощность подогревательного устройства, незначительно превышающая 33,1 кВт. Если температура на поверхности раздела лед-дорожное покрытие станет ниже точки замерзания, то потребность в мощности возрастет главным образом за счет дополнительных потерь тепла, расходуемых на смежные слои дорожного покрытия и льда.

В последнее время в связи с увеличением интенсивности движения возникла необходимость повышения скорости снегоочистки. Существует лишь небольшое число исследовательских работ, посвященных вопросам сопротивления снегоочистке и обеспечения устойчивого хода снегоочистительных машин [19].

В связи с этим было проведено исследование сопротивления, которое оказывает снег при разработке его снегоочистительными машинами. Это сопротивление исследовалось путем проведения полевых экспериментов со специально сконструированным снегоочистителем. Устойчивость хода снегоочистителя определялась на основании теоретических расчетов.

На снегоочиститель в дополнение к обычным сопротивлениям движению транспортного средства действует также сопротивление снегоочистке.

Общее сопротивление, испытываемое снегоочистителем, включает: сопротивление движению самого снегоочистителя; сопротивление скольжению отвала снегоочистителя по поверхности снега, сопротивление, возникающее при разработке снега отвалом снегоочистителя, т.е. сопротивление снега копанию.

Хорошее сцепление шины колеса автомобиля с дорожным покрытием – это основополагающая предпосылка для безопасного движения. Сцепление влияет как на управляемость автомобиля, так и на величину тормозного пути.

Характеристикой сцепления является коэффициент сцепления, который изменяется в пределах от 0 до 1. Если, коэффициент сцепления снижается, например, с 0,5 до 0,3, то тормозной путь автомобиля, движущегося со скоростью 80 км/ч, увеличивается с 73 до 106 м. При этом предполагается, что время реакции водителя постоянно и составляет 1 с. Наиболее типичной величиной коэффициента сцепления для дорожного покрытия является 0,7-1,0 - для сухого асфальтобетонного покрытия; 0,4-0,7 - для мокрого асфальтобетонного покрытия и 0,1-0,4 - при заснеженном или обледенелом асфальтобетонном покрытии.

На дорогах Норвегии сцепные качества дорожных покрытий достаточно высокие в результате влияния использования шипованных шин, низких температур, а также более крупнозернистых каменистых материалов в покрытии по сравнению с другими странами (например, Великобритания и США). Тем не менее, риск попасть в ДТП возрастает на влажном покрытии. В зимний период могут возникнуть опасные ситуации, вызванные повышением скользкости покрытия дороги [105].

Для оценки сопротивления разрыхлению снега и бокового давления можно пользоваться правилом сохранения количества движения. Скорость перемещения снега уменьшается, как только снег приходит в соприкосновение с отвалом снегоочистителя. Скорость перемещения снега при контакте с отвалом снегоочистителя равна скорости движения снегоочистителя. Когда снег разрыхляется отвалом, скорость снега снижается, что обусловлено сжимаемостью снега, а также трением между снегом и отвалом снегоочистителя.

В работе [98] рассматривались сила сопротивления снегоочистке и устойчивость хода снегоочистителя во время выполнения снегоочистки, а также были приведены некоторые результаты числовых расчетов. Проведенная работа не позволила, однако, получить необходимых для полного решения результатов, потому что такое исследование проводится впервые и не было достаточного количества данных, которые могли бы использоваться непосредственно после

проведения полевых испытаний. Ввиду этого, в работе сделаны многочисленные допущения.

Поиски нового метода борьбы с гололедом с целью исследования методов удаления льда с проезжей части дорог проводились в работе [100]. Задача заключалась в определении наилучшего метода удаления льда с максимальной толщиной слоя 13 мм, который не может быть полностью удален обычными снегоочистителями без нанесения ущерба дорожному покрытию. При этом не должны были рассматриваться химические средства борьбы.

Простое таяние ледяного слоя. В технологическом отношении возможно обеспечение таяния льда на дорожных покрытиях путем использования газа или нефтяных горелок. Однако затрата энергии должна быть огромной. Был сделан подсчет потребности в топливе при максимальном коэффициенте использования тепла (составляющем 40 %) для 1 км дороги при ширине полосы движения 3,66 м, толщине слоя льда 13 мм и температуре воздуха минус 10 °С. При этих условиях потребуется расходовать минимум 1 200 л нефти в качестве топлива на 1 км дороги. Кроме того, объем образовавшейся воды будет составлять 42 тыс. л на 1 км дороги, что также должно создать трудности при пользовании этого способа [104, 105].

Этот способ был отклонен по трем основным причинам: высокий расход топлива; низкая скорость рабочего процесса; возможность повторного замерзания воды, образовавшейся в результате таяния льда.

Способ механического отделения льда от покрытия рассмотрен в работе [89]. Работа, необходимая для разрушения льда, сравнительно невелика, поэтому очень часто исследователи делают попытки разработать механический способ отделения льда. Расчеты показывают, что для разрушения слоя льда толщиной 13 мм вдоль полосы шириной 3,66 м со скоростью перемещения машины 24 км/ч требуется 75 Вт подводимой мощности. Предполагается, что разрушение происходит в нижних слоях толщиной 3 мм от поверхности раздела с дорожным



покрытием, однако без отделения последнего остаточного тонкого слоя льда от покрытия.

В литературных источниках показано, что прочность льда часто бывает меньше силы его сцепления с другим материалом. Результатом воздействия механической силы на корку льда будет его разрушение без полного отделения от поверхности, с которой он связан [54].

Были проведены лабораторные испытания с использованием бурильного молотка с режущим инструментом в виде лопатки и в форме долота. Они показали, что с помощью такого инструмента можно откалывать лед, однако всегда остается тонкая пленка льда на поверхности дорожного покрытия. Кроме того, при использовании бурильного молотка может нарушаться верхний слой дорожного покрытия.

Ввиду того что, эксперименты показали недостаточную эффективность механических способов удаления ледяной корки с поверхности дорожного покрытия, начались поиски новых направлений.

Авторами работ [94, 95, 96, 97] была исследована вероятность того, что микроволновая энергия окажется эффективной при отделении слоя льда. Однако диэлектрические постоянные и очень низкие коэффициенты потерь как льда, так и асфальтобетонного дорожного покрытия отчетливо показали, что при таких работах для достижения желаемого эффекта могут потребоваться очень высокие градиенты напряжения и значительное смещение тока. При таких условиях КПД передачи мощности будет очень низким и срок службы используемого оборудования слишком коротким.

Испытывались вибрации, вызываемые бурильным молотком, и было обнаружено, что они неэффективны. С помощью стандартного акустического преобразователя создавались вибрации от ультразвукового источника, имевшего частоту приблизительно 22 тыс. Гц. Вибрации сообщались образцу дорожного покрытия, на поверхности которого имелась тонкая корка льда. При низких контактных напряжениях на поверхности образца происходило отслаивание или

шелушение, однако не было никаких следов разрушений в слое раздела лед - дорожное покрытие [102].

Сделано значительное количество попыток использования различных видов инфракрасного излучения, как одного из возможных средств удаления льда. Изучение характеристик поглощения излучения системы лед - вода, однако, показало, что радиация в этом диапазоне длин волн (2 - 50 мкм) почти полностью поглощается на поверхности льда. Сами по себе такие попытки представляют не более чем вариацию простых методов таяния, испытывавшийся и отклоненных в начале работ.

В соответствии с опубликованными данными [101, 103] о свойствах льда предполагается, что электромагнитное излучение в видимом и вблизи видимого диапазонов, спектра может приходить через лед почти беспрепятственно. Однако оно сильно поглощается материалами, входящими в состав дорожной одежды. Из этого сделан вывод о том, что поверхность раздела между льдом и дорожным покрытием может нагреваться такой энергией излучения. Если энергия подводится к поверхности раздела с большей скоростью, чем отводится, тогда увеличивающаяся температура может возрасти до точки таяния льда, что приведет к разрушению связи между льдом и дорожным покрытием.

## Заклучение по главе 1

1. Анализ литературы показал, что в зимнем содержании дорожных покрытий со снегом и льдом широкое распространение получили машины для распределения песка и солей на снежную поверхность дороги. Пескоразбрасыватели осуществляют рассыпку холодных каменистых частиц на ледяную поверхность дороги.

2. В Кыргызстане к проблеме содержания дорог в зимнее время добавляется трудность, связанная с наличием продольных уклонов горных дорог. Каменистые частицы, разбрасываемые на снежную поверхность горной

дороги с уклоном, скатываются вниз, в результате чего эти участки поверхности дорог остаются «чистыми». Участки дороги с продольными и поперечными уклонами являются опасными с точки зрения скользкости.

3. Решение проблемы скользкости на горных дорогах обуславливает проведение широких теоретических и экспериментальных исследований по снижению аварийности транспортных средств и улучшению конструкций рабочих органов машин для содержания горной дороги в зимнее время.

## **ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ХОДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ЛЕДЯНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ГОРНОЙ ДОРОГИ**

### **2.1. Системный анализ процесса распределения каменистых частиц на ледяную поверхность горной дороги**

Для глубокого и всестороннего изучения сложных процессов, каким является процесс взаимодействия колесных и гусеничных транспортных машин с ледяной поверхностью горных дорог, применяется метод системного анализа объектов, явлений и процессов, который путем формального разделения системы на взаимосвязанные подсистемы, определяет взаимное влияние друг на друга и на окружающую систему [23]. Согласно, этого метода, каждая связь, соединяющая подсистемы и ее элементы, имеет конкретный физический смысл и может быть представлена, например, в виде математической модели.

Составляется структурная схема, позволяющая определить степень влияния элементов системы и оценить пути описания математических моделей взаимовлияющих процессов системы.

В соответствии с методикой системного анализа сложный процесс, такой как взаимодействие со средой рабочего органа бульдозерного оборудования для очистки горных дорог, начинается с выявления общей структуры этой системы и определения внутренних, внешних и взаимных связей. Важной частью анализа системы является разделение процесса на ряд подсистем, соединенных между собой прямыми и обратными связями, а также выявление параметров входа и выхода.

Вначале определяются параметры входа. Анализ процесса взаимодействия с ледяным покрытием ходового оборудования транспортных машин показывает, что в качестве входных параметров данной системы являются: ледяные условия (прочность, плотность, удельное сопротивление

резанию, коэффициенты внутреннего и внешнего трения); дорожные и горные условия (продольный и поперечный уклоны, состояние покрытия полотна дороги, определяемое коэффициентом сцепления, наличие снежных, каменистых и грунтовых масс); внешние условия (температура среды и окружающего воздуха, наличие попутного, бокового ветра, осадка снега); функции оператора и базовой машины (рисунок 2.1).

Затем определяется внутренняя структура системы. К внутренней структуре процесса взаимодействия с ледяным покровом рабочего органа распределителя каменистых частиц следует отнести процесс распределения каменистых частиц на ледяную поверхность горной дороги, характеризуемый количеством каменистых частиц на единицу площади горной дороги.

На следующем этапе определяются параметры выхода системы. К параметрам выхода относятся обобщенные удельные и относительные показатели, связанные между собой параметрами машин. Эти показатели эффективности могут быть расположены в иерархической последовательности.

Сопrotивление передвижению транспортных средств является критерием низкого уровня. Далее по рангу идет тяговое сопротивление, возникающее при движении базовой машины; эксплуатационная скорость распределителя каменистых частиц, производительность. Далее идут удельные показатели, такие как удельная энергоемкость (отношение мощности двигателя к производительности), удельная материалоемкость (отношение массы базовой мощности с рабочим оборудованием к производительности) и обобщенный показатель (произведение удельной энергоемкости на удельную материалоемкость), т.е.  $\Pi_{NG} = M_{y\partial} \cdot N_{y\partial} = N \cdot G / \Gamma^2$ .

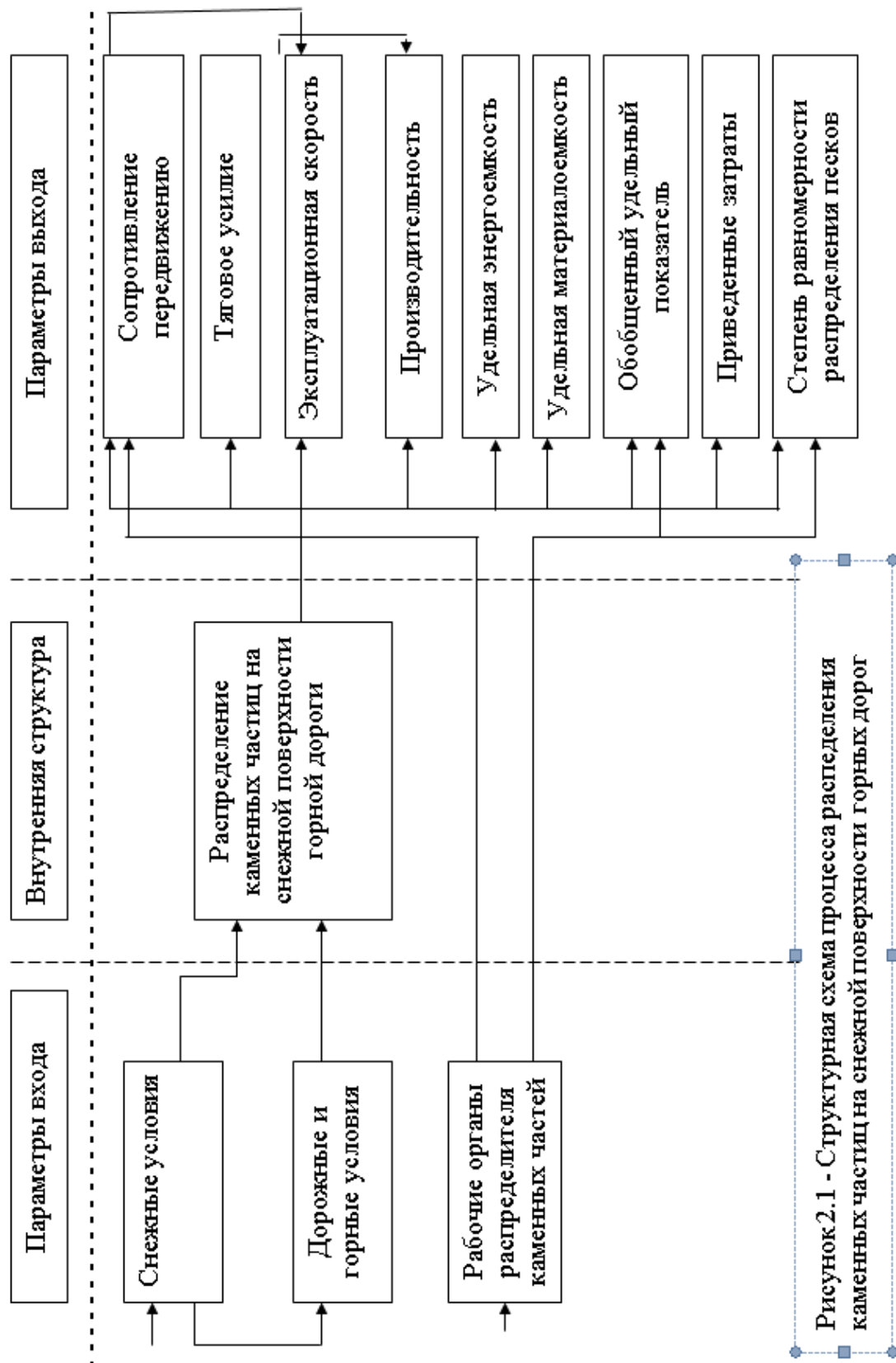


Рисунок 2.1 - Структурная схема процесса распределения каменных частей на снежной поверхности горных дорог

Показатель приведенных удельных затрат является критерием высшего уровня. К показателям качества относится степень равномерности распределения каменистых частиц на ледяной поверхности горной дороги. Показатели качества непосредственно влияют на величину приведенных удельных затрат.

Следует отметить, что внутренние связи подсистем (элементов) системы, характеризуются степенью влияния взаимодействия этих элементов. Как было указано в исследованиях [23] дорожные и внешние условия, несомненно, оказывают влияние на условия эксплуатации машины и на функции оператора и базовой машины. Увеличение высоты над уровнем моря ведет к росту расхода топлива и к снижению производительности машины, а также ухудшает условия работы оператора–машиниста. Понижение температуры окружающей среды также вызывает отрицательные воздействия на работу распределителя каменистых частиц на горной дороге и оператора–машиниста, обуславливает необходимость дополнительных мероприятий по защите машиниста и улучшению условий работы техники. Дорожные условия затрудняют видимость дороги, трудно становится различать край дороги, через который начинается пропасть. С увеличением высоты расположения дороги над уровнем моря увеличивается крутизна и высота пропасти склона гор, одновременно снижается температура окружающей среды.

Как известно из источников, тяговая сила транспортных машин возрастает с увеличением их массы, однако это ведет к увеличению мощности, необходимой для привода машин, потребляя дополнительное количество топлива, что в конечном счете, влияет на удельные показатели машин.

Основной характеристикой, определяемой проходимости машин на горных дорогах является коэффициент сцепления, который зависит от состояния поверхности дорог. Такие параметры, как плотность снега, коэффициенты внутреннего и внешнего трения и скорость движения машины определяют массу и характеристику ходового оборудования транспортных машин.

Основным параметром выхода наряду с указанными выше параметрами (силы сопротивления передвижению, тяговое сопротивление движению машины, эксплуатационная скорость и производительность машины, величины удельной энерго- и металлоемкости, обобщенный удельный показатель, приведенные удельные затраты) относятся также степень равномерности распределения каменных частиц на ледяной поверхности горной дороги с учетом продольного и поперечного уклона.

Указанные параметры выхода позволяют провести сравнительную оценку рабочих органов распределителей каменных частиц при зимнем содержании горных дорог.

## **2.2. Особенности процесса распределения каменных частиц на ледяной поверхности горных дорог**

Кыргызстан - горная страна и климат в высокогорных местах довольно суровый. Большинство автомобильных трасс, связывающих города и села проходят через горные перевалы. Зимой и летом горные дороги покрыты льдом из-за низкой температуры, при этом случаются аварии, несчастные случаи. В отличие от равнинных дорог, горные трассы узкие и извилистые. Они проходят через горные склоны и ущелья, что затрудняет бесперебойное движение автомобилей, так как трассы имеют большое количество крутых поворотов, подъемов и спусков. Пересекая горные перевалы, автомобили проходят различные климатические зоны: от субтропической (у подножья), до зоны вечных снегов (на вершине). На этих трассах часто образуются снеговые заносы, обвалы и гололед, которые затрудняют движение автомобилей. Наиболее характерный сложный участок горной дороги представлен на рисунке 2.2. На таких участках дороги из-за близкого расположения отвесных скал и, в связи с этим непопадания на них солнечных лучей, не происходит солнечное



оттаивание. Это обстоятельство требует применения специальных мер по борьбе с гололедицей [77].

Для того, чтобы устранить эти недостатки необходимо обеспечить оптимальные условия сцепления между поверхностью дороги и колесами автомобилей.

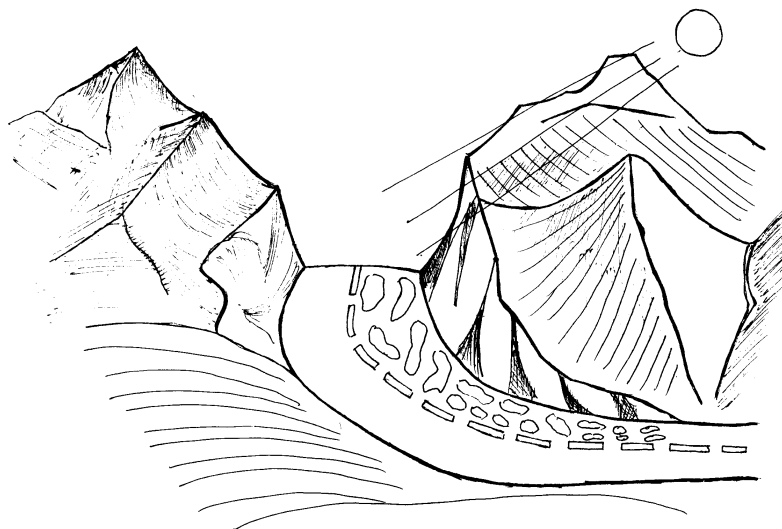


Рисунок 2.2 - Участок горной дороги, на который не попадают солнечные лучи

На горных дорогах Кыргызстана для борьбы с гололедицей в настоящее время широкое применение находит способ распределения каменистых материалов на ледяной поверхности дороги, как вручную, так и с применением пескорозбрасывательных машин традиционного типа (см. гл. 1).

Однако, для машин-пескорозбрасывателей традиционного типа эффективность посыпки гравия уменьшается с увеличением мороза, так как происходит отскок инертных материалов от ледяной поверхности дороги. Затвердившая от мороза ледяная корка дорожной поверхности ослабляет сцепление каменистых частиц с ледяной поверхностью [67]. Продольные уклоны горных дорог, достигающие 5-12 %, способствуют перекатыванию разбросанных каменистых частиц по наклонной ледяной поверхности (рисунок

2.3). Кроме того, за счет действия вращающихся колес и эффекта вихреобразования движущихся транспортных средств, каменные частицы раскатываются в боковые стороны, оставляя проезжую часть дороги чистой. Последнее явление требует частой рассыпки каменных материалов, что увеличивает стоимость зимнего содержания горных дорог [7, 17, 42].

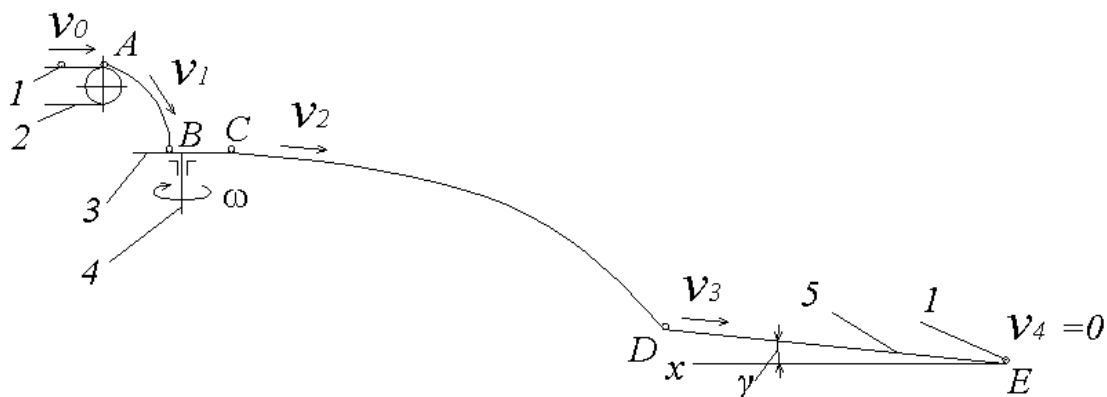


Рисунок 2.3 - Схема разбрасывания каменных частиц по наклонной ледяной поверхности горной дороги для пескоразбрасывателей традиционного типа

Каменные частицы (песок), попавшие в бункер пескоразбрасывателя проходят путь от бункера через распределительный диск на ледяную поверхность дороги. Этот путь песка можно условно разделить на следующие этапы: вначале песок высыпается из бункера с начальной скоростью  $v_0$  и попадает на распределительный диск со скоростью  $v_1$ ; на втором этапе песок совершает траекторию полета в воздухе от распределительного диска, который разгоняет песок до скорости  $v_2$ , до момента посадки на ледяную поверхность; на третьем этапе песок совершает движение по ледяной поверхности с начальной скоростью  $v_3$  до полной остановки  $v_4 = 0$ . Следует отметить, что при

разбрасывании по наклонной поверхности длина перекачивания песка на третьем участке будет больше, чем на горизонтальном участке.

### **2.3. Определение эффективности работы модернизированного распределительного оборудования**

Одним из основных преимуществ модернизированного распределительного оборудования для распределения нагретых каменных частиц на ледяную поверхность горной дороги является обеспечение минимального по времени нахождения нагретых каменных частиц в пути от выхода транспортера до остановки на ледяной поверхности горной дороги.

Проведем сравнительный анализ определения времени нахождения каменных частиц в движении для двух типов распределителей: традиционного пескоразбрасывателя с дисковым рабочим органом (рисунок 2.3) и предлагаемой модернизированной конструкции распределителя с роторным распределителем (рисунок 2.4).

Для этого вводим коэффициент эффективности  $K_{эф}$ , равный

$$K_{эф} = \frac{t_m}{t_{mp}}, \quad (2.1)$$

где  $t_m$  и  $t_{mp}$  - время затраченное на движение каменных частиц от начало выхода их от транспортера бункера до полной остановки на ледяной поверхности горной дороги соответственно для модернизированного распределителя каменных частиц и традиционного распределителя каменных частиц.

Траектория движения каменных частиц от выхода из транспортера до посадки на ледяной поверхности горной дороги модернизированного распределителя показана на рисунке 2.4. Нагретая каменная частица 1 выходит из бункера с помощью транспортера 2 с начальной скоростью  $v_0$ . В точке  $A$  происходит отрыв каменной частицы от транспортера. Далее

каменистая частица совершает полет со скоростью  $v_1$  и попадает на наклонную пластину 3 в точке  $B$ . До точки  $C$  каменистая частица по наклонной поверхности совершает катание со скоростью  $v_2$ . В точке  $C$  каменистая частица вовлекается в круговое движение со скоростью  $v_3$  упругой прокладкой 4 распределительного барабана. В точке  $D$  каменистая частица останавливается ( $v_4=0$ ) и происходит внедрение в ледяную поверхность горной дороги.

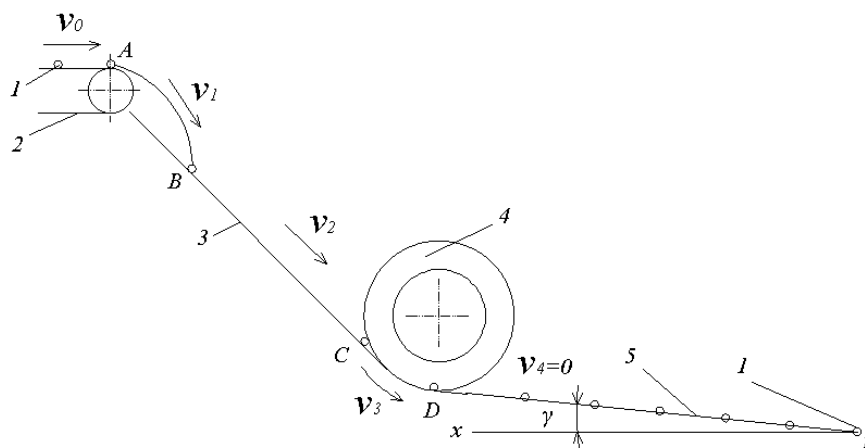


Рисунок 2.4 - Схема разбрасывания каменистых частиц по наклонной ледяной поверхности горной дороги модернизированным пескоразбрасывателем

Рассмотрим время прохождения каменистой частицы по участкам  $AB$ ,  $BC$  и  $CD$ . Общая продолжительность движения каменистой частицы равно

$$t_m = t_{AB} + t_{BC} + t_{CD}, \quad (2.2)$$

где  $t_{AB}$ ,  $t_{BC}$ ,  $t_{CD}$  - время, затраченное в пути каменистой частицы соответственно на участках траектории  $AB$ ,  $BC$  и  $CD$ .

Определяем время, затраченное на полет каменистой частицы на участке  $AB$ . Каменистая частица вылетает по горизонтали от точки  $A$  с начальной

скоростью  $v_0$ , сообщаемой ей транспортером. Совершая движение по параболической траектории полет завершается в точке  $B$  (рисунок 2.5).

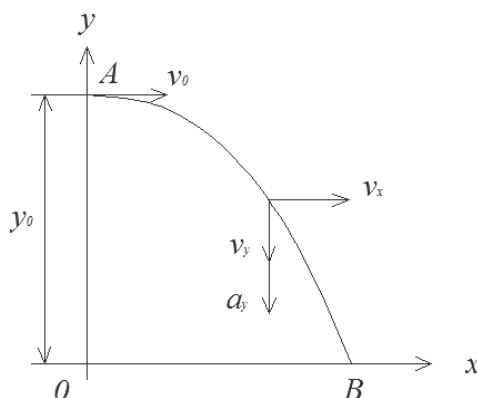


Рисунок 2.5 - Схема полета каменной частицы после выхода из транспортера

Сначала определяем время  $t_{AB}$ , затраченное на движение каменной частицы от точки  $A$  к точке  $B$ . Затем определяем дальность полета по горизонтальной оси  $x$ . Время опускания каменной частицы от точки  $A$  до точки  $B$  зависит от высоты  $AO$  и значения вертикального ускорения  $a_y$ .

Воспользуемся известным уравнением

$$y = y_0 + v_{oy}t_{AB} + \frac{a_y \cdot t_{AB}^2}{2}, \quad (2.3)$$

где  $y_0$  - начальная высота выброса каменной частицы,  $y_0 = h$ ;

$v_{oy}$  - начальная скорость каменной частицы по вертикали,  $v_{oy} = 0$ ;

$a_y$  - ускорение по вертикали,  $a_y = g$ ;

$g$  - ускорение свободного падения;

$t_{AB}$  - время полета каменной частицы от высоты  $h$ .

Время падения каменной частицы от точки  $A$  до точки  $B$ , согласно указанного уравнения (2.3) при  $y = 0$ , после постановки значений  $y_0$  и  $v_{oy}$ , имеем:

$$0 = h + 0 - \frac{gt_{AB}^2}{2} . \quad (2.4)$$

Решая это уравнение относительно времени  $t$ , находим

$$t_{AB} = \sqrt{\frac{2h}{g}} . \quad (2.5)$$

Горизонтальная составляющая движения каменной частицы не сопровождается ускорением, и горизонтальная составляющая остается неизменной до полета точки  $B$ . Тогда расстояние полета каменной частицы по оси  $x$  происходит с постоянной скоростью  $v_x$ , а  $v_x = v_0$ . Следовательно, расстояние, пройденное каменной частицей за время  $t$ , будет равным:

$$x = OB = v_x \cdot t . \quad (2.6)$$

Время, затраченное на перемещение каменной частицы по наклонной пластине от точки  $B$  до точки  $C$ , определяем с предположением возможного проскальзывания каменной частицы по наклонной поверхности. На каменные частицы действуют силы трения  $G$  (ее компоненты  $G_1$  и  $G_2$ ), реакции наклонной пластинки  $N$  и трения  $F_c$  (рисунок 2.6).

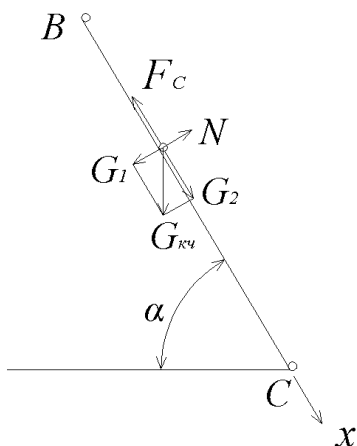


Рисунок 2.6 - Схема перемещения каменной частицы по наклонной поверхности

Сначала определяем скорость каменистой частицы в точке  $C$ . Направляя ось  $x$  в сторону движения каменистой частицы, составим уравнение с использованием закона сохранения кинетической энергии.

$$\frac{mv_C^2}{2} - \frac{mv_B^2}{2} = (G_2 - F_c) \cdot S, \quad (2.7)$$

где  $m$  - масса каменистой частицы;

$v_C$  - конечная скорость (скорость в точке  $C$ );

$v_B$  - начальная скорость (скорость в точке  $B$ );

$G_2$  - проекция силы тяжести на ось  $x$ ;

$F_c$  - сила трения скольжения, действующая на каменную частицу по поверхности пластины;

$S$  - длина пути движения каменистой частицы (расстояние между точками  $B$  и  $C$ ).

Здесь  $G_2 = G_{кч} \cdot \sin \alpha$ ,

где  $G_{кч}$  - сила тяжести каменистой частицы;

$\alpha$  - угол установки наклонной плоскости.

При этом предполагается, что каменистые частицы будут скользить по наклонной поверхности. В этом случае сила трения определяется

$$F = \mu N, \quad (2.8)$$

где  $\mu$  - коэффициент скольжения каменистой частицы относительно ледяной поверхности;

$N$  - реакция наклонной плоскости.

$$N = G_1 = G_{кч} \cdot \cos \alpha. \quad (2.9)$$

Тогда

$$F = \mu \cdot G_{кч} \cdot \cos \alpha. \quad (2.10)$$

Скорость каменистой частицы  $v_1$  в точке  $C$  после подстановки и преобразований примет вид:

$$v_C = \sqrt{v_B^2 + 2g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \cdot S}, \quad (2.11)$$

где  $g$  - ускорение свободного падения.

Время, затраченное на перемещение каменной частицы по наклонной плоскости от точки  $B$  до точки  $C$  определяем, используя закон об изменении количества движения в соответствии с рисунком 2.6.

$$mv_C - mv_B = (G_2 - F_c) \cdot t_{BC}, \quad (2.12)$$

где  $t_{BC}$  - время перемещения каменной частицы от точки  $B$  к точке  $C$ .

Отсюда, после преобразований и подстановки имеем

$$t_{BC} = \frac{v_C - v_B}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}. \quad (2.13)$$

Время, затраченное на прохождение каменной частицы от точки  $C$  до точки  $D$   $t_{CD}$  зависит от поступательной скорости  $v_M$  машины для распределения каменных частиц (рисунок 2.7).

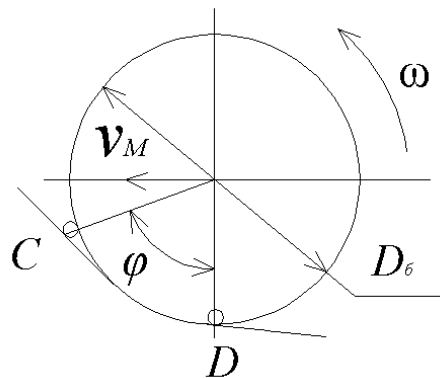


Рисунок 2.7 - Схема к определению времени  $t_{CD}$

Поскольку распределительный диск катится по поверхности дороги без скольжения, то точка  $D$  будет являться мгновенным центром скорости.

Угловая скорость распределительного барабана будет равна

$$\omega = \frac{v_M \cdot 2}{D_6}, \quad (2.14)$$

где  $v_M$  - поступательная скорость движения машины для распределения каменных частиц;



$D_{\phi}$  - диаметр распределительного барабана.

Зависимость между углом поворота распределительного барабана и угловой скоростью имеет вид:

$$\omega = \frac{\varphi}{t_{CD}}, \quad (2.15)$$

где  $\omega$  - угловая скорость распределительного барабана;

$\varphi$  - угол поворота распределительного барабана;

$t_{CD}$  - время поворота каменной частицы от точки  $C$  до точки  $D$ .

Приравняв правые части уравнений (2.14 и 2.15) и решая их относительно времени, находим

$$\frac{2v_M}{D_{\phi}} = \frac{\varphi}{t_{CD}}, \quad (2.16)$$

откуда

$$t_{CD} = \frac{\varphi \cdot D_{\phi}}{2 \cdot v_M}. \quad (2.17)$$

Подставляя найденные значения времени, затраченные на участках  $t_{AB}$ ,  $t_{BC}$ ,  $t_{CD}$  в уравнение (2.2), окончательно получим

$$t_M = \sqrt{\frac{2h}{g}} + \frac{v_C - v_B}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} + \frac{\varphi \cdot D_{\phi}}{2 \cdot v_M}. \quad (2.18)$$

Теперь определяем время  $t_{mp}$ , затраченного на движение каменных частиц от выхода бункера до их полной остановки для традиционного разбрасывателя каменных частиц (рисунок 2.3).

Суммарная продолжительность движения каменной частицы от точки  $A$  до точки  $E$  равна

$$t_{mp} = t'_{AB} + t'_{BC} + t'_{CD} + t'_{DE}, \quad (2.19)$$

где  $t'_{AB}$ ,  $t'_{BC}$ ,  $t'_{CD}$ ,  $t'_{DE}$  - время, затраченное на перемещения каменной частицы соответственно на участках  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$  и  $DE$ .

Методика определения времени  $t'_{AB}$ , затраченного на полет каменной частицы от транспортера (точки  $A'$ ) до разбрасывающего диска (точки  $B'$ ) определяется аналогично методике расчета времени полета для участка от точки  $A$  до точки  $B$  (рисунок 2.5) модернизированного распределителя.

Каменная частица, выбрасываемая транспортером со скоростью  $v_0$ , совершает полет по параболической траектории и попадает на распределительный диск (точка  $B$ ).

Производя соответствующие вычисления, находим время  $t_{AB}$  полета каменной частицы для участка  $AB$ .

$$t'_{AB} = \sqrt{\frac{2h_2}{g}}, \quad (2.20)$$

где  $h_2$  - высота расположения транспортера от рабочей поверхности разбрасываемого диска;

$g$  - ускорение свободного падения.

Анализ длительности прохождения каменной частицы от точки  $B$  до точки  $C$  показывает ее незначительности и эту составляющую  $t'_{BC}$  можно пренебречь [10, 44], ошибка не превышает 1 %.

Определяем скорость каменной частицы при выходе от разбрасывающего диска. Каменные частицы разбрасываются на ледяную поверхность при помощи горизонтально расположенного диска с вертикальной осью вращения (рисунок 2.3). Рабочая поверхность диска имеет радиально расположенные ребра, в результате чего при вращении диска каменные частицы, попадаемые с бункера на диск пластичным транспортером, вовлекаются во вращение, приобретают скорость и, покидая диск, распределяются по поверхности ледяного покрытия горной дороги вслед за базовой машиной.

Процесс движения каменных частиц по диску является весьма сложным. Движение каменных частиц происходит под действием сил,

зависящих от многих факторов. Попадая на диск каменные частицы начинают двигаться по нему до встречи с ребром. Скорость встречи каменных частиц определяет место встречи с ребрами и характер движения частиц по диску. При встрече каменных частиц с ребром происходит их движение по ребру за счет центробежной силы и силы трения (рисунок 2.8).

Дифференциальное уравнение движения каменной частицы вдоль ребра диска имеет вид [32, 44]:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = P_{\text{ц}} \cos \varphi - (P_{\text{к}} - P_{\text{ц}} \sin \varphi) f - G f, \quad (2.21)$$

где  $P_{\text{ц}}$  - центробежная сила инерции  $P_{\text{ц}} = m\omega^2 r$ ,

$P_{\text{к}}$  - кориолисова сила инерции  $P_{\text{к}} = 2m\omega \frac{dx}{dt}$ ,

$G$  - сила тяжести каменной частицы  $G = mg$ ,

$\varphi$  - угол между радиусом диска и ребром диска (для радиально расположенных ребер  $\varphi = 0$ ),

$\omega$  - угловая скорость диска,

$f$  - коэффициент трения каменной частицы о поверхность диска,

$g$  - ускорение свободного падения,

$m$  - масса каменной частицы,

$r$  - расстояние от центра диска до места нахождения каменной частицы.

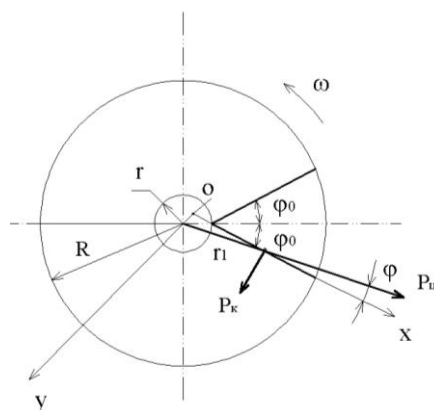


Рисунок 2.8 - Схема движения каменной частицы по горизонтальному диску

Для диска с радиально расположенным ребром, принимая  $G = 0$  из-за незначительности силы тяжести частицы, получим следующие уравнения:

$$x = \frac{r_0}{2k} \left\{ (k + f) \cdot e^{\omega(k-f)t} + (k - f) \cdot e^{-\omega(k+f)t} \right\} ; \quad (2.22)$$

$$v_x = \frac{r_0}{2k} (k^2 - f^2) \cdot \omega \left\{ e^{\omega(k-f)t} - e^{-\omega(k+f)t} \right\}, \quad (2.23)$$

где  $x$  - путь каменистой частицы в относительном движении;

$v$  - скорость движения частицы по оси  $x$ ;

$$k = \sqrt{f^2 + 1},$$

$r_0$  - радиус ступицы.

Анализ этих уравнений показывает, что если составляющую уравнения  $e^{-\omega(k+f)t}$  приравнять к нулю, то ошибка не превысит 1 %.

Известно, что перемещение каменистой частицы по диску является относительным движением, а вращательное движение диска переносным. Поэтому в момент отделения каменистой частицы от диска она имеет абсолютную скорость

$$\bar{v}_a = \bar{v}_{nep} + \bar{v}_x, \quad (2.24)$$

где  $\bar{v}_{nep} = \omega r$  – окружная скорость диска.

Также известно, что во время разбрасывания каменистых частиц базовая машина движется со скоростью  $v_m$ . Таким образом, каменистая частица в момент отделения от диска по отношению к дорожному ледяному покрытию будет иметь скорость

$$\bar{v}_c = \bar{v}_a + \bar{v}_m. \quad (2.25)$$

Определяем время  $t'_{CD}$  полета каменистой частицы от разбрасываемого диска (точки  $C$ ) до падения на ледяную поверхность (точка  $D$ ) горной дороги для традиционного разбрасывателя каменистых частиц. Каменистая частица, покинув диск, перемещается в воздухе (рисунок 2.9). В это время (во время полета) на нее действуют сила тяжести и сила сопротивления воздуха.

Дифференциальное уравнение движения каменной частицы  $m$  в воздухе будет иметь вид [10, 44]:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -R_x, \quad (2.26)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = G - R_y, \quad (2.27)$$

где  $R_x$  и  $R_y$  - проекции силы сопротивления воздуха на оси  $x$  и  $y$ .

$$R_x = c \frac{\rho v_x^2}{2} F, \quad (2.28)$$

$$R_y = c \frac{\rho v_y^2}{2} F, \quad (2.29)$$

где  $\rho$  - плотность воздуха;

$F$  - площадь проекции каменной частицы на плоскость, перпендикулярную к направлению движения;

$v_x$  и  $v_y$  - проекции скорости движения каменной частицы на оси координат;

$c$  - аэродинамический коэффициент.

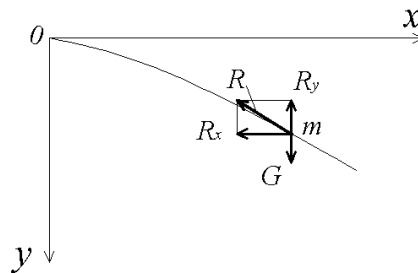


Рисунок 2.9 - Схема сил действующих, на каменную частицу во время полета в воздухе после распределительного диска

Решение уравнений примет вид:

$$x = \frac{1}{k_1} \ln k_1 v_B \left( t'_{CD} + \frac{1}{k_1 v_C} \right), \quad (2.30)$$

$$y = \frac{1}{k_1} \ln \frac{e^{t'_{CD} \sqrt{gk_1}} + e^{-t'_{CD} \sqrt{gk_1}}}{2} . \quad (2.31)$$

Отсюда, время полета каменной частицы [10, 44]:

$$t'_{CD} = \frac{1}{2\sqrt{gk_1}} \ln \frac{\sqrt{\frac{g}{k_1}} + v_y}{\sqrt{\frac{g}{k_1}} - v_y} + \frac{1}{k_1 v_c} , \quad (2.32)$$

где  $v_c$  - начальная скорость частицы;

$k_1$  - коэффициент, равный  $k_1 = r_0 \sin \varphi_0 \cdot f + g \cdot f \frac{1}{\omega^2}$ ;

$\varphi_0$  - угол отклонения ребра.

Для того, чтобы определить время полета  $t'_{CD}$ , необходимо в значение  $y$  ввести величину высоты расположения разбрасывающего диска над ледяной поверхностью дороги  $h_2$ .

Экспериментальными исследованиями установлено [105], что для каменных частиц со средним диаметром 2 - 10 мм значение коэффициента  $c$  следует принимать равным  $c = 0,4$ .

Предполагая, что каменная частица будет перекатываться по ледяной поверхности горной дороги без скольжения и отскоков находим длину пути  $L$  перекатывания каменной частицы от точки  $D$  до точки  $E$ . На каменную частицу действуют составляющие силы тяжести и сила трения качения. Используя закон сохранения кинетической энергии [65], получаем формулу:

$$\frac{mv_D^2}{2} - \frac{mv_E^2}{2} = (G_x - F_k)L , \quad (2.33)$$

где  $v_D, v_E$  - скорости каменной частицы соответственно для точки  $D$  и  $E$ ;

$G_x$  - составляющая сила тяжести каменной частицы на ледяной поверхности горной дороги;

$F_k$  - сила трения качения, действующая на каменную частицу на ледяной поверхности дороги  $F_k = f \cdot G_{кч} \cos \alpha$ ;

$f$  - коэффициент трения качения каменистой частицы относительно ледяной поверхности дороги;

$L$  - длина перемещения каменистой частицы от точки  $D$  до полной остановки (точки  $E$ ).

Поскольку  $v_E = 0$  то последнее уравнение с учетом подстановок можно преобразовать к виду

$$L = \frac{v_D^2}{2g(\sin \gamma - f \cos \gamma)}, \quad (2.34)$$

где  $\gamma$  - угол наклона ледяной поверхности относительно горизонтальной плоскости.

Определяем время  $t'_{DE}$ , затраченное на перемещение каменистой частицы по наклонной ледяной поверхности горной дороги от точки  $D$  (рисунок 2.3) до полной ее остановки (точка  $E$ ). В соответствии с законом сохранения количества движения [65], имеем

$$mv_D - mv_E = (G_x - F_k) \cdot t_{DE}. \quad (2.35)$$

В виду того, что  $v_E = 0$ , решая относительно времени  $t'_{DE}$  и подставляя соответствующие значения  $G_x$  и  $F_k$ , находим

$$t'_{DE} = \frac{v_D}{(\sin \gamma - f \cos \gamma) \cdot g}. \quad (2.36)$$

Общая продолжительность времени движения каменистой частицы от выхода транспортера традиционного разбрасывателя до полной остановки равна, в соответствии с (2.19)

$$t_{mp} = \sqrt{\frac{2h_2}{g}} + \frac{1}{2\sqrt{gk_1}} \ln \frac{\sqrt{\frac{g}{k_1} + v_y}}{\sqrt{\frac{g}{k_1} - v_y}} + \frac{1}{k_1 \cdot v_c} + \frac{v_D}{(\sin \gamma - f \cos \gamma)g}. \quad (2.37)$$

Коэффициент эффективности  $k_{эф}$ , равный

$$k_{эф} = \frac{t_M}{t_{mp}}, \quad (2.38)$$

показывает степень быстроты укладки каменных частиц на ледяную поверхность горной дороги. Эффективность оборудования повышается при снижении коэффициента ( $k_{эф} \rightarrow \min$ ) эффективности.

При  $k_{эф} = 1$  испытываемое оборудование не имеет эффективности по сравнению с традиционным оборудованием для разбрасывания каменных частиц. При условии  $k_{эф} > 1$  следует, что испытываемое оборудование уступает традиционному оборудованию в отношении быстроты укладки каменных частиц на ледяную поверхность горной дороги.

В конечном случае данный коэффициент эффективности  $k_{эф}$  показывает насколько снижается энергоемкость процесса нагрева каменных частиц. Так, величина  $\Delta t = t_{mp} - t_M$  выявляет разницу во времени, которое уходит на перекатывание каменных частиц по ледяной поверхности горной дороги. Эта разность времени  $\Delta t$  предполагает дополнительный расход энергии на обогрев каменных частиц выше необходимой (оптимальной) температуры каменных частиц перед распределением на ледяную поверхность горной дороги.

## **2.4 Математическое моделирование взаимодействия пневматических колес с ледяной поверхностью при наличии каменной шероховатости**

Шероховатость поверхности дорог положительно влияет на величину сцепления с точки зрения предотвращения скольжения через адгезионную и деформационную составляющие трения [49]. С увеличением шероховатости (диаметра каменных частиц) деформационная (механическая) составляющая возрастает. При этом предельная длина контактной поверхности зависит от



размера шин и давления воздуха в них и в среднем не превышает 30–100 мм. Увеличение неровностей шероховатости и увеличение интенсивности рассыпки каменистых частиц на ледяной поверхности ведет к увеличению коэффициента сцепления.

Контактная поверхность (площадь) между пневматической шиной и ледяным покрытием дороги зависит от шероховатости покрытия, конструкцией шины, давлением воздуха в ней и величиной нормальной нагрузки на пневматические колеса.

На рисунке 2.10 показана расчетная схема определения силовых параметров взаимодействия пневматических шин с ледяным покрытием дороги при наличии каменистых шероховатостей.

Предполагается случай, когда шина упирается на каменистые частицы и перекачивается по ним, касание с ледяным покрытием не происходит. Сила тяжести  $G_{сц}$  передается через каменистые частицы на покрытие дороги.

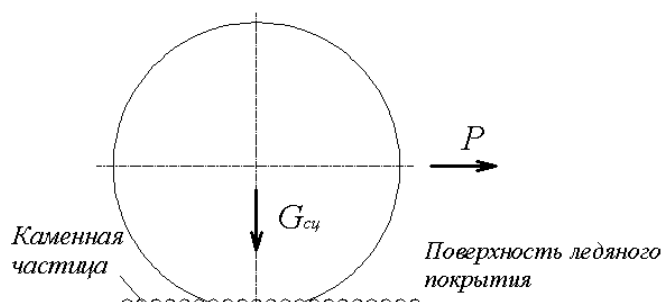


Рисунок 2.10 - Схема взаимодействия шероховатого ледяного покрытия с каменистыми частицами и пневматической шиной транспортных средств

В такой схеме взаимодействия касательной силы, возникающей при трогании  $P$  (или при торможении) транспортных средств передаются на покрытие дорог через шероховатости (каменистые частицы).

Для упрощения расчета принимаем форму каменистой частицы в виде сферы. Нагретая каменистая частица при соприкосновении с ледяным покрытием дороги разогревает ниже находящийся слой ледяного наката и под

действием собственной силы тяжести подтапливается. Погруженная нижняя половина каменной частицы (сферы) замораживается в ледяном массиве (рисунок 2.11). Открытая верхняя половина каменной частицы соприкасается с шиной транспортных средств [80].

Сила тяги  $P$  (касательная сила) в зоне взаимодействия каменной частицы с шиной транспортных средств через каменные частицы будет сжимать ледяной массив по поверхности  $ACDE$ . По мере нарастания силы  $P$  напряжение сжатия по этой поверхности возрастает. При достижении определенного значения  $P$  происходит сдвиг каменной частицы по поверхности сдвига  $ACDE$ . Поверхность сдвига представляет наружную часть четверти сферы. Одновременно, наружная часть четверти сферы  $BCDE$ , расположенная в противоположной стороне полупогруженной части сферы будет испытывать напряжение отрыва.

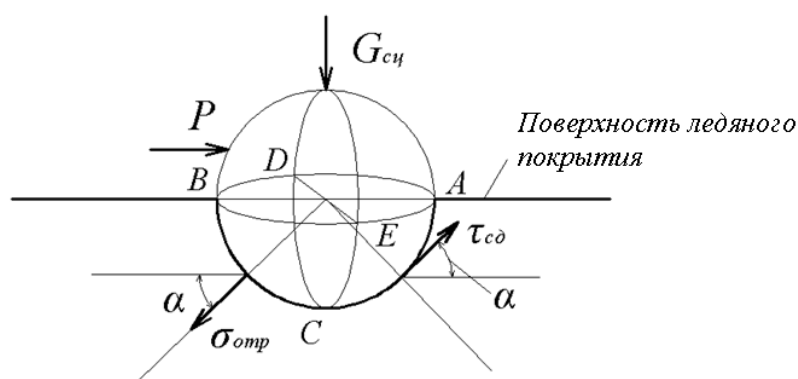


Рисунок 2.11 - Схема определения силы сдвига замороженной в ледяном покрытии каменной частицы

Таким образом, на силу  $P$  со стороны ледяного массива оказывается сопротивление ледяного покрытия, слагаемое от напряжения (сопротивления) сдвига  $\tau_{сд}$  в передней части каменной частицы и напряжения (сопротивления) отрыва  $\sigma_{отр}$  с тыльной ее части.

$$W = \tau_{cd} \cdot S_{cd} \cdot \cos \alpha \cdot n + \sigma_{omp} \cdot S_{omp} \cdot \cos \alpha \cdot n = (\tau_{cd} \cdot S_{cd} + \sigma_{omp} \cdot S_{omp}) \cdot \cos \alpha \cdot n , \quad (2.39)$$

где  $S_{cd}$  - поверхность сдвига,  $S_{cd} = \pi \frac{d_{кч}^2}{4}$  ;

$S_{omp}$  - поверхность отрыва,  $S_{omp} = \pi \frac{d^2}{4}$  ;

$\alpha$  - угол между направлением действия силы  $P$  и направлением касательного напряжения  $\tau_{cd}$  в точке центра действия касательного напряжения;

$n$  - количество каменных частиц, находящееся в контактной поверхности между пневматического колеса и ледяной поверхности;

$d_{кч}$  - диаметр каменной частицы.

Подставляя значения поверхностей сдвига  $S_{cd}$  и отрыва  $S_{omp}$  находим зависимость определения общего сопротивления ледяного покрытия разрушению:

$$W = \left( \tau_{cd} \cdot \pi \frac{d_{кч}^2}{4} + \sigma_{omp} \cdot \pi \frac{d^2}{4} \right) \cdot \cos \alpha \cdot n = \pi \frac{d^2}{4} \cdot (\tau_{cd} + \sigma_{omp}) \cdot \cos \alpha \cdot n . \quad (2.40)$$

Сила тяги  $P$  определяется через коэффициент сцепления  $\varphi_{cy}$  и силы тяжести  $G_{cy}$  на шины транспортных средств.

$$P = G_{cy} \cdot \varphi_{cy} = m_{cy} \cdot g \cdot \varphi_{cy} , \quad (2.41)$$

где  $m_{cy}$  - сцепная масса транспортных средств;

$g$  - ускорение свободного падения.

Приравнивая последние зависимости (2.40 и 2.41), находим тяговую силу транспортных средств, оснащенных пневматическими шинами через параметры ледяного покрытия, каменных частиц, транспортных средств, а также коэффициента сцепления.

$$m_{cy} \cdot g \cdot \varphi_{cy} = \pi \frac{d^2}{4} \cdot (\tau_{cd} + \sigma_{omp}) \cdot \cos \alpha \cdot n , \quad (2.42)$$

или

$$P = \pi \frac{d^2}{4} \cdot (\tau_{co} + \sigma_{omp}) \cdot \cos \alpha \cdot n . \quad (2.43)$$

При условии, когда общее сопротивление ледяного покрытия сдвигу и отрыву больше максимальной силы тяги  $W > P$ , транспортные средства будут двигаться по шероховатой поверхности дороги. В противоположном случае ( $W < P$ ) происходит разрушение шероховатости.

## **2.5. Определение теплопроводности трехслойного пакета для нагретых каменистых частиц**

На основании проведенных исследований [16, 18, 28] эффективным пакетом для хранения и транспортировки нагретых каменистых частиц для использования для их рассыпки на ледяную поверхность горной дороги, определена конструкция пакета с трехслойным исполнением. В качестве основного теплоизоляционного материала использован войлок.

Проведем анализ процессов переноса тепла и расчет теплофизических свойств составных пакетов конструкций из вышеуказанных материалов. В качестве типовой конструкции, широко используемой в качестве пакета нагретых каменистых частиц, рассмотрим конструкцию, схематически изображенную на рисунке 2.12.

Рассматриваемый пакет состоит из двух ограничивающих слоев 1, основного теплозащитного слоя 2, на которых создается основная разность температур между окружающей средой и защищаемых каменистых частиц во взаимодействии с крепежными элементами 3 (прошивочные шнуры, нити).

Ограничивающие слои 1 с двух сторон выполнены из тканей. Основной слой 2 представляет собой неупорядоченную рыхловолокнистую структуру (войлок). Материал крепежных элементов определяется термомеханическими свойствами и выполняется из вещества основного слоя [66].

Модель структуры конструкции в целом будет представлена сочетанием основного слоя и прошивки, а также тканевого ограничивающего слоя. Для расчета теплопроводности моделирующих структур нити и рыхловолокнистого материала воспользуемся известными соотношениями.

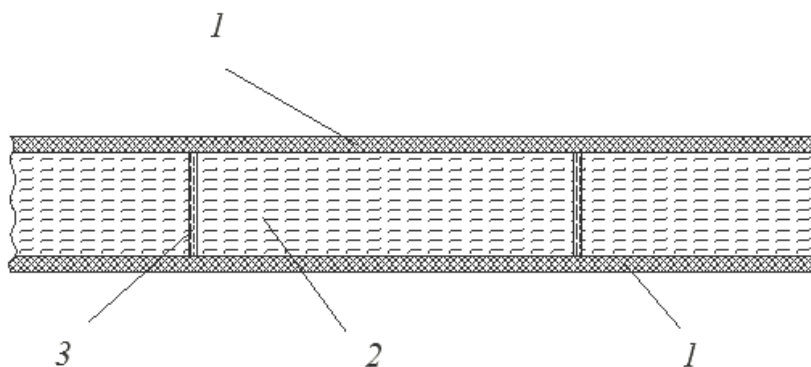


Рисунок 2.12 - Сема конструкции теплосохранивающего пакета с трехслойным исполнением в разрезе

Теплопроводность нитей, сплеток прошивки определяется соотношениями:

вдоль волокон

$$\lambda_H^{\parallel} = \lambda_B \cdot (1 - \Pi) + \lambda_r \Pi, \quad (2.44)$$

поперек волокон

$$\lambda_H^{\perp} = \lambda_B \left[ 1 - \sqrt{\Pi} + \left( \frac{1}{v} - 1 + \frac{1}{\sqrt{\Pi}} \right)^{-1} \right], \quad (2.45)$$

где  $\lambda_B$  - теплопроводность волокна;

$\lambda_{\Pi}$  - теплопроводность компонента в порах;

$\lambda_r$  - теплопроводность газа,  $\lambda_{\Pi} = \lambda_r$ ;

$\Pi$  - пористость материала;

$v = \lambda_{\Pi} / \lambda_B$  - отношение теплопроводности компонента в порах к теплопроводности волокна.

Для расчета теплопроводности волокнистого материала с неупорядоченной трехмерной ориентацией волокон (войлока) необходимо

учитывать разрывы волокон и тепловое сопротивление контактов точечного характера особенно в случае использования высокотеплопроводных волокон.

Расчетная формула определения теплопроводности войлока, как основного теплоизоляционного слоя в соответствии с [26] имеет вид:

$$\lambda_F = \lambda_B \left\{ \frac{n_H}{n_H + 1} \left[ c^2 + v \cdot (1 - c)^2 + \frac{2vc \cdot (1 - c)}{vc + (1 - c)} \right]^{-1} + \frac{1}{n_H + 1} \left[ \frac{c^2 y^2}{\Phi} + v(1 - c)^2 + \frac{2vc(1 - c)}{vc + (1 - c)} \right]^{-1} \right\}^{-1}, \quad (2.46)$$

где  $n_H$  - число неразрывных ячеек;

$c$  - относительная толщина волокна,  $c = \frac{d_B}{2L_{яч}}$ ;

$d_B$  - диаметр волокна;

$L_{яч}$  - длина сторон ячейки;

$y = \frac{r_k}{r}$  - относительный радиус пятна фактического контакта волокон;

$r_k$  - радиус контакта волокон;

$r$  - радиус волокна,  $r = \frac{d_B}{2}$ ;

$\Phi$  - функция относительного радиуса пятна контакта  $y$ .

Для малых относительных размеров пятна контакта ( $y < 0,05$ ) значение функции  $\Phi$  приближенно равно [26, 34]

$$\Phi \approx 0,017 + 0,4y. \quad (2.47)$$

Для оценки величины  $n_H$  предлагается использовать информацию об относительной длине волокон  $\frac{L_B}{d_B}$ . Тогда можно принять приближенно

$$n_H \cong \frac{L_B}{3L_{яч}}, \quad (2.48)$$

где  $L_B$  - длина волокон.

Информация о величине  $\gamma$  может быть получена из анализа структуры. Таким образом, при известной пористости  $\Pi$  все геометрические параметры исследуемого материала, входящие в (2.46), определены.

Расчет теплопроводности тканевой структуры ограничивающих поверхностей сплетенных из нитей волокон проведем с учетом [26, 47] следующим образом

$$\lambda_{TK} \cong \lambda_H^\perp \cdot (1 - \Pi)^2 + 4\Pi \cdot (1 - \Pi) \cdot \frac{\lambda_H^\perp \cdot \lambda_\Pi}{\lambda_H^\perp + \lambda_\Pi} + \lambda_\Pi \Pi^2 . \quad (2.49)$$

Соотношения для расчета теплопроводности конструкции из волокнистых материалов в целом, получим на модели, изображенной на рисунке 2.13.

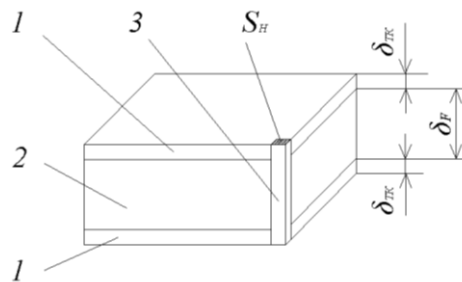


Рисунок 2.13 - Схема ячейки конструкции теплосохраниющего пакета с трехслойным исполнением

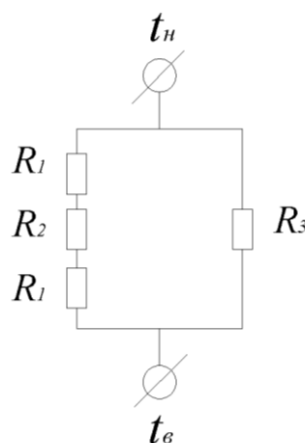


Рисунок 2.14 - Схема соединения тепловых сопротивлений теплосохраниющего трехслойного пакета

Для этого разделим модель на отдельные участки с тепловыми сопротивлениями  $R_i$  (рисунок 2.14):

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \frac{\delta_{TK}}{\lambda_{TK} \cdot (1 - S_H N)} ; \\
 R_2 = R_F &= \frac{\delta_F - 2\delta_{TK}}{\lambda_F \cdot (1 - S_H N)} ; \\
 R_3 = R_H &= \frac{\delta_F}{\lambda_H'' \cdot S_H \cdot N} ,
 \end{aligned} \tag{2.50}$$

где  $S_H$  - площадь поперечного сечения прошивочного элемента (нити);

$N$  - число прошивок на площади  $S$  тепловой изоляции;

$\lambda_{TK}$  - теплопроводность элементов ткани;

$\lambda_F$  - теплопроводность элементов войлока;

$\lambda_H''$  - теплопроводность элементов прошивки (нити);

$\delta_{TK}$  - толщина ткани;

$\delta_F$  - толщина войлока (изоляции).

После преобразований получим искомое выражение для определения теплопроводности конструкции в целом

$$\lambda = \lambda_H'' \cdot \frac{S_H \cdot N}{S} + \left[ \frac{\delta_{TK} \cdot S}{\lambda_{TK} \cdot \delta_{TK} \cdot (1 - S_H \cdot N)} + \frac{(\delta_F - \delta_{TK}) \cdot S}{\lambda_F \cdot \delta_F \cdot (1 - S_H \cdot N)} \right]^{-1} , \tag{2.51}$$

где  $S$  - площадь тепловой изоляции (войлока).

## 2.6. Определение параметров распределительного барабана с учетом размера каменных частиц

Необходимым условием эффективной работы устройства для распределения нагретых каменных частиц на ледяную поверхность горной дороги является вовлечение каменных частиц распределительным барабаном. Для улучшения захвата каменных частиц наружная поверхность распределительного барабана выполнена из резинового материала в виде



втулки. Резиновая втулка за счет упругой деформации обеспечивает проникновение каменистых частиц во втулку и надлежащее трение между каменистыми частицами и резиновой втулкой распределительного барабана.

На рисунке 2.15 представлена расчетная схема взаимодействия каменистой частицы с распределительным барабаном. Распределительный барабан 1 с резиновой втулкой 2 вращается с угловой скоростью  $\omega$  и одновременно передвигается по поверхности ледяной горной дороги со скоростью  $v$ . Для удобства расчета принимаем форму каменистой частицы 4 в виде сферы. Падая вниз по наклонному лотку 3 каменистая частица соприкасается с резиновой втулкой 2 распределенного барабана 1. Вследствие одновременного поступательного движения устройства для распределения каменистых частиц и вращательного движения распределительного барабана вокруг собственной оси происходит втягивание каменистой частицы в резиновую оболочку распределительного барабана.

Основным фактором процесса вовлечения каменистой частицы в распределительный барабан являются силы трения, возникающие при их взаимодействии.

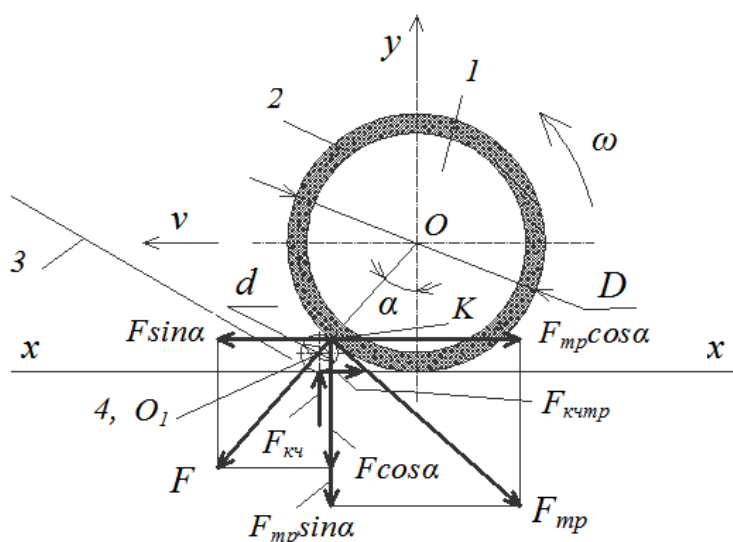


Рисунок 2.15 - Расчетная схема взаимодействия каменистой частицы с распределительным барабаном

Сила трения  $F_{тр}$  между распределительным барабаном и каменной частицей направлена по касательной к наружной окружности распределительного барабана в точке касания с каменной частицей. Сила трения  $F_{тр}$  возникает в результате появления нормальной силы  $F$ , действующей по нормали в точке  $K$ . Сила  $F$  является силой давления распределительного барабана (через упругую втулку) на каменную частицу.

На ледяной поверхности в точке контакта с каменной частицей возникает реакция  $F_{кч}$  на каменную частицу от силы давления  $F$ . В свою очередь, эта сила реакции  $F_{кч}$  вызывает появление силы трения  $F_{кчтр}$ . Пренебрегаем силу тяжести каменной частицы ввиду ее незначительной величины.

Для определения усилия втягивания каменной частицы распределительным барабаном рассмотрим условия их равновесия. По горизонтальной оси  $x-x$  действует проекция сил давления  $F$  и трения  $F_{тр}$ . Составим условие втягивания каменной частицы распределительным барабаном [20].

$$F \cdot \sin \alpha \leq F_{тр} \cdot \cos \alpha + F_{кчтр} .$$

Распишем

$$F \cdot \sin \alpha \leq F \cdot f \cdot \cos \alpha + F_{кч} \cdot f_1 , \quad (2.52)$$

где  $f$  - коэффициент трения между упругой втулкой распределительного барабана с каменной частицей;  $f_1$  - коэффициент трения между ледяной поверхностью дороги каменной частицей;  $\alpha$  - угол захвата.

По вертикальной оси  $y$  проекции указанных сил (рисунок 2.15) составляем уравнение

$$F_{кч} - F \cdot \cos \alpha - F_{тр} \cdot \sin \alpha = 0 ,$$

или

$$F_{кч} - F \cdot \cos \alpha - F \cdot f \cdot \sin \alpha = 0 ,$$

отсюда

$$F_{кч} = F(\cos \alpha + f \cdot \sin \alpha).$$

Подставляя значения реакции  $R_1$  в уравнение (2.52) получаем неравенство

$$F \cdot \sin \alpha \leq F \cdot f \cdot \cos \alpha + F \cdot f_1(\cos \alpha + f \sin \alpha).$$

Обе части неравенства разделим на  $F \cdot \cos \alpha$ , тогда

$$\operatorname{tg} \alpha \leq f + f_1 + f_1 \cdot f \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Производим преобразования:  $\operatorname{tg} \alpha - f_1 \cdot f \cdot \operatorname{tg} \alpha \leq f_1 + f$ ;

$$\operatorname{tg} \alpha(1 - f_1 \cdot f) \leq f_1 + f,$$

или

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f_1 + f}{1 - f_1 \cdot f}.$$

Выражая коэффициенты трения  $f$  и  $f_1$  через углы трения  $\operatorname{tg} \varphi$  и  $\operatorname{tg} \varphi_1$ , получим искомую зависимость определения угла захвата

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi}{1 - \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi}, \quad (2.53)$$

где  $\varphi_1$  - угол трения между каменной частицей с ледяной поверхностью дороги;

$\varphi$  - угол трения между каменной частицей и упругой втулкой распределительного барабана.

Как видно из последней зависимости (2.53), угол захвата зависит от углов трения между каменной частицей с упругой втулкой распределительного барабана и ледяной поверхностью горной дороги.

Для определения соотношения диаметров распределительного барабана и каменной частицы используем расчетную схему согласно рисунок 2.15.

Диаметр упругой втулки распределительного барабана обозначим буквой  $D$ , диаметр каменной частицы -  $d$ . Центр окружности распределительного барабана обозначим буквой  $O$ , центр каменной частицы -  $O_1$ . Расстояние

между центрами  $O_1$  и  $O$  составляет  $\frac{D}{2} + \frac{d}{2}$ . Проекция этого расстояния на вертикальную ось  $y$  дают  $\frac{D}{2} - \frac{d}{2}$ . Эти два отрезки определяют соотношением

$$\left(\frac{D}{2} + \frac{d}{2}\right) \cdot \cos \alpha = \frac{D}{2} - \frac{d}{2}, \quad (2.54)$$

Решая относительно  $\frac{D}{d}$  получаем

$$\frac{D}{2} \cdot \cos \alpha - \frac{D}{2} = -\frac{d}{2} \cdot \cos \alpha - \frac{d}{2}, \quad (2.55)$$

Умножаем уравнение на  $-1$ :

$$\frac{D}{2} - \frac{D}{2} \cdot \cos \alpha = \frac{d}{2} + \frac{d}{2} \cdot \cos \alpha, \quad (2.56)$$

Умножаем на 2:

$$D \cdot (1 - \cos \alpha) = d \cdot (1 + \cos \alpha), \quad (2.57)$$

Делим на  $d$ :

$$\frac{D}{d} = \frac{1 + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}, \quad (2.58)$$

Подставляя значения угла захвата  $\alpha$  в зависимость (2.53) получаем соотношения размеров каменистых частиц и распределительного барабана.

Принимая угол трения между каменистой частицей и резиной  $\varphi = 18^\circ$  ( $f = 0,32$ ), и каменистой частицей и ледяной поверхностью горной дороги  $\varphi_1 = 3^\circ$  ( $f_1 = 0,05$ ), находим:

угол захвата

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi}{1 - \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi} = \frac{0,052 + 0,325}{1 - 0,052 \cdot 0,325} = 0,384, \quad (2.59)$$

откуда

$$\alpha = 21^\circ.$$

Определяем соотношение  $\frac{D}{d}$

$$\frac{D}{d} = \frac{1 + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha} = \frac{1 + 0,934}{1 - 0,934} = 29,2 . \quad (2.60)$$

## Заключение по главе 2

1. Составленная структурная схема системного анализа с указанием параметров входа, выхода и внутренней связи процесса взаимодействия с ледяным покрытием горной дороги ходового оборудования транспортных машин способствует всестороннему изучению процесса и проведению сравнительной оценки рабочих органов распределителей каменистых частиц при зимнем содержании горных дорог.

2. Теоретический анализ процесса разбрасывания каменистых частиц традиционными машинами–пескоразбрасывателями показал, что эффективность их работы уменьшается с увеличением мороза, так как происходит отскок инертных материалов от ледяной поверхности дороги. Затвердившее от мороза ледяное покрытие ослабляет зацепление каменистых частиц с ледяной поверхностью, а продольные уклоны горных дорог, достигающие 5-12 %, способствуют перекатыванию разбросанных каменистых частиц по наклонной ледяной поверхности.

3. Предлагаемая технология и оборудование для распределения предварительно нагретых каменистых частиц обеспечивает образование шероховатости на ледяное покрытие горной дороги.

4. Проведен сравнительный анализ процесса укладки каменистых частиц для машин традиционной конструкции и предлагаемого модернизированного оборудования.

5. Разработаны теоретические зависимости для определения кинематических параметров движения каменистых частиц от начала движения до полной остановки по характерным участкам их траектории.

6. Разработаны математические модели взаимодействия пневматических колес с ледяной поверхностью, позволяющие определить тяговую силу транспортных средств на горной дороге при наличии каменистых (песчаных) шероховатостей.

7. Получены зависимости расчета теплопроводности трехслойного пакета для нагретых каменистых частиц, основной слой которого выполнен из нетканого материала с хаотичной ориентацией волокон (войлока).

8. Найдены зависимости, позволяющие определить углы захвата и соотношения диаметров распределительного барабана и каменистых частиц.

## **ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТЕЙ**

### **3.1. Программа и технология экспериментальных исследований образования шероховатости на ледяной поверхности горной дороги**

На горных дорогах Кыргызстана в настоящее время для борьбы с гололедицей широкое применение находят пескоразбрасывающие машины, реализующие способ рассыпки холодных каменистых материалов на ледяные поверхности дороги [1, 32]. На сложных перевальных участках горной дороги нередки случаи, когда каменистые частицы разбрасываются на ледяную поверхность дороги вручную с кузова грузовых машин (рисунок 3.1). Однако эффективность подсыпки гравия уменьшается с увеличением мороза, так как происходит отскок инертных материалов от ледяной поверхности дороги. Уменьшается зацепление каменистых частиц с ледяной поверхностью. Кроме того, за счет действия колес и эффекта вихреобразования движущихся транспортных средств каменистые частицы раскатываются в боковые стороны, оставляя проезжую часть дороги скользкой. Последнее явление требует частой рассыпки каменистых материалов, что увеличивает стоимость зимнего содержания горных дорог.

В предлагаемой работе дается новая технология образования шероховатости на ледяной поверхности горной дороги (рисунок 3.2). Суть технологии заключается в использовании каменистых частиц в нагретом (горячем) состоянии. При этом улучшается проходимость машин на горных дорогах с ледяной поверхностью за счет обеспечения шероховатости на ледяной поверхности дороги. Это достигается рассыпкой на ледяную

поверхность горной дороги нагретых инертных материалов. Нагретые каменные частицы при нахождении на ледяной поверхности за счет их положительной температуры и силы собственной тяжести начинают погружаться в лед, за счет подтаивания льда происходит «посадка» каменных частиц на ледяную поверхность. Холодная окружающая температура воздуха способствует замерзанию погруженных в ледяную поверхность дороги каменных частиц. Таким образом, на ледяной поверхности дороги образуется шероховатость, образуемая насаждением каменных материалов [72].



Рисунок 3.1 - Рассыпка вручную холодных каменных частиц на ледяную поверхность горной дороги

Теплосохранивающий пакет является основным изделием предлагаемой технологической цепи по содержанию горной дороги и предназначен для хранения и транспортировки нагретого песка (каменных частиц) от места его нагрева до места обработки дорожных участков с ледяной поверхностью. Такие теплосохранивающие текстильные изделия (пакеты) должны удерживать тепло в течение определенного времени, необходимого для доставки к месту



требования. При этом они одновременно должны быть стойкими к истиранию, обладать высокими прочностными характеристиками.

В соответствии с рисунком 3.2 дробленый, отсортированный и промытый каменный (инертный) материал подвергается нагреву. Затем нагретый инертный материал пакетируется в текстильные изделия. Далее они транспортируются на дорожные участки, где необходимо рассыпать нагретый каменный материал на ледяную поверхность горной дороги.

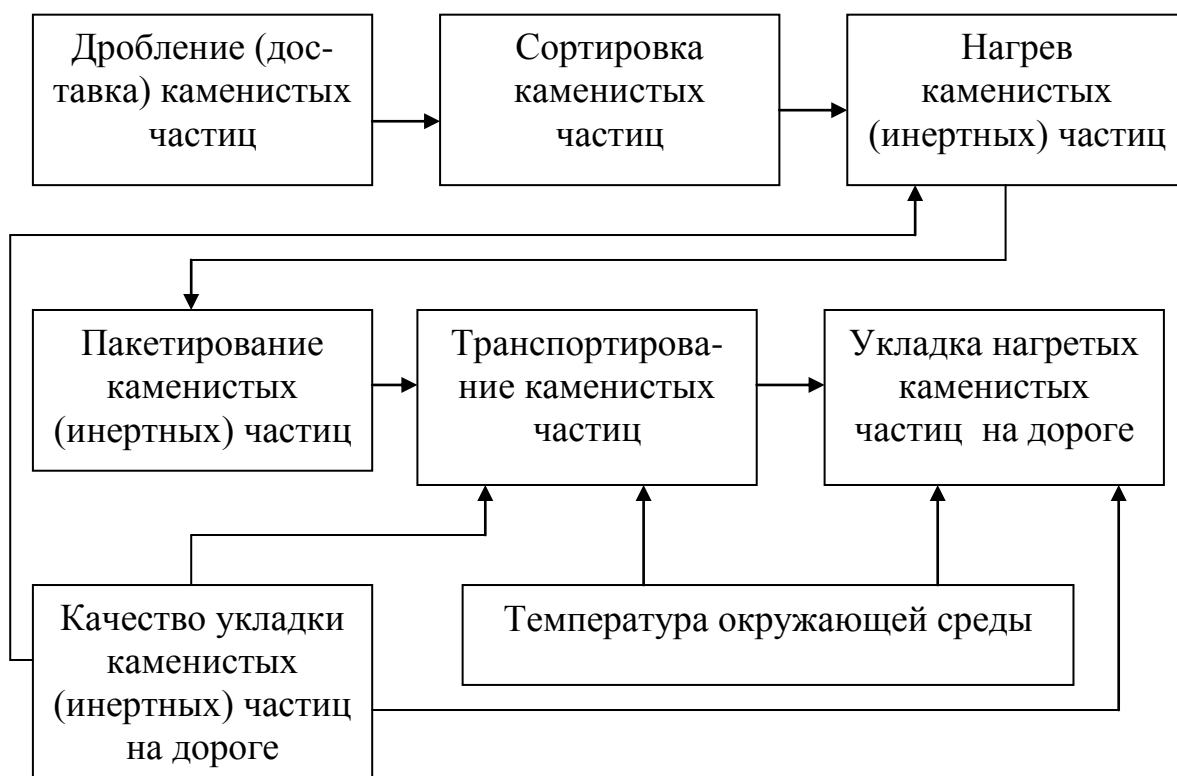


Рисунок 3.2 - Схема технологии обеспечения укладки нагретых каменных материалов на замерзшей горной дороге с ледяным покрытием

При этом на текстильные пакеты постоянно действует холодная температура воздуха. Качество укладки (степень уплотнения каменных фракций в мерзлый снег) зависит от температуры каменных материалов, сохраняемой в текстильных изделиях (пакетах), что показывает актуальность

исследования параметров текстильных изделий применительно к горным условиям Кыргызстана [72].

### **3.2. Устройство для распределения нагретых каменистых частиц на ледяную поверхность горной дороги**

Недостатком существующих установок для изучения процесса распределения каменистых частиц на ледяную поверхность горной дороги является большая длительность времени, уходящего с момента выброса песка из распределительного диска до его полной остановки. На горных дорогах, где имеются частые продольные уклоны, время на остановку катящегося песка длится долго. В связи с этим такие установки имеют низкую эффективность применения в зимнее время для разбрасывания горячего песка по ледяной дороге. За период времени от выброса горячего песка с питателя до его остановки может произойти его остывание.

Разработанная в Кыргызском Государственном техническом университете им. И. Раззакова стендовая установка для распределения нагретых каменистых частиц на ледяной поверхности дорог повышает эффективность образования шероховатости на ледяной поверхности дороги путем рационального распределения горячего песка на ледяной поверхности дороги.

Это достигается тем, что в устройстве для распределения горячего песка на ледяной поверхности дороги, содержащем установленные на базовой машине бункер, нагревательный узел, разгрузочное окно, наклонный лоток с затвором, расположенный на задней части бункера, причем конец наклонного лотка выполнен в форме дуги окружности с ее центром, совпадающим с центром вращения распределительного барабана, прикрепленного к задней части теплоизоляционного бункера посредством кронштейнов и подшипниковых узлов, к наружной поверхности распределительного барабана

прикреплена упругая втулка, а к торцу вала распределительного барабана жестко прикреплены боковые колеса с радиально установленными шипами, причем наружные диаметры боковых колес и упругой втулки выполнены одинаковыми.

Устройство для образования шероховатости на ледяной поверхности дороги [79] (рисунок 3.3 и 3.4) содержит базовую машину 1, установленный на ней теплоизоляционный бункер 2 с горячим песком 3, нагревательный отсек 4, ленточный транспортер, смонтированный в нижней части теплоизоляционного бункера 2, наклонный лоток 5, прикрепленный к задней части теплоизоляционного бункера 2, распределительный барабан 6 с надетой упругой втулкой 7, боковые кронштейны 8 для крепления распределительного барабана 6 к теплоизоляционному бункеру 2 с помощью подшипниковых узлов 9 с осью вращения 10 (рисунок 3.5). Нижняя часть наклонного лотка 5 выполнена в форме дуги окружности 11 с радиусом  $R$ , равным радиусу наружной поверхности упругой втулки 7, причем центр вращения 10 распределительного барабана 6 и центр 10 дуги окружности 11 наклонного лотка 5 совпадают (рисунок 3.6). К торцу вала 12 распределительного барабана 6 жестко прикреплены боковое колесо 13 (рисунок 3.7) с радиально установленными шипами 14, взаимодействующими с ледяной поверхностью дороги 15. На задней части теплоизоляционного бункера 2 установлен моторный отсек 16 для привода ленточного транспортера. Наклонный лоток 5 снабжен клапанным отсеком 17, имеющим затвор 18.

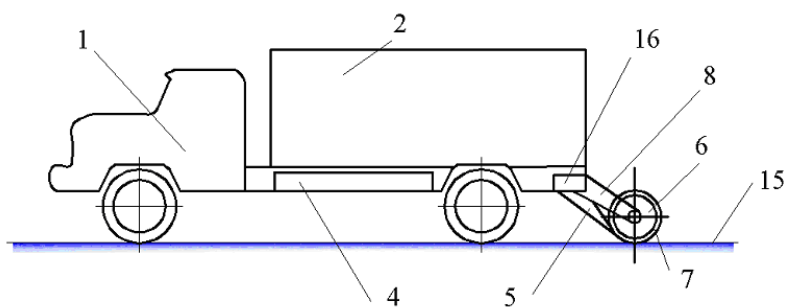


Рисунок 3.3 - Машина с устройством для образования шероховатости на ледяной поверхности дороги

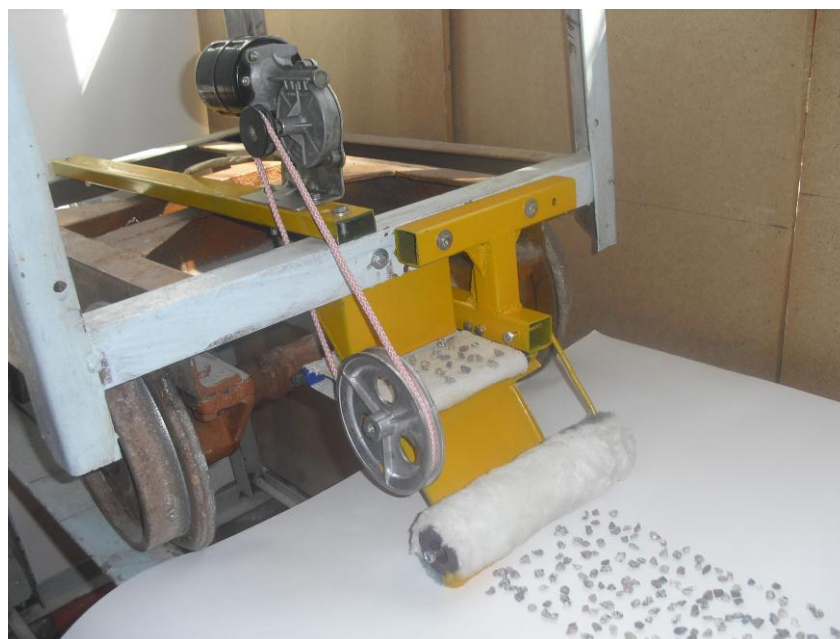


Рисунок 3.4 - Физическая модель устройства для образования шероховатости на ледяной поверхности дороги

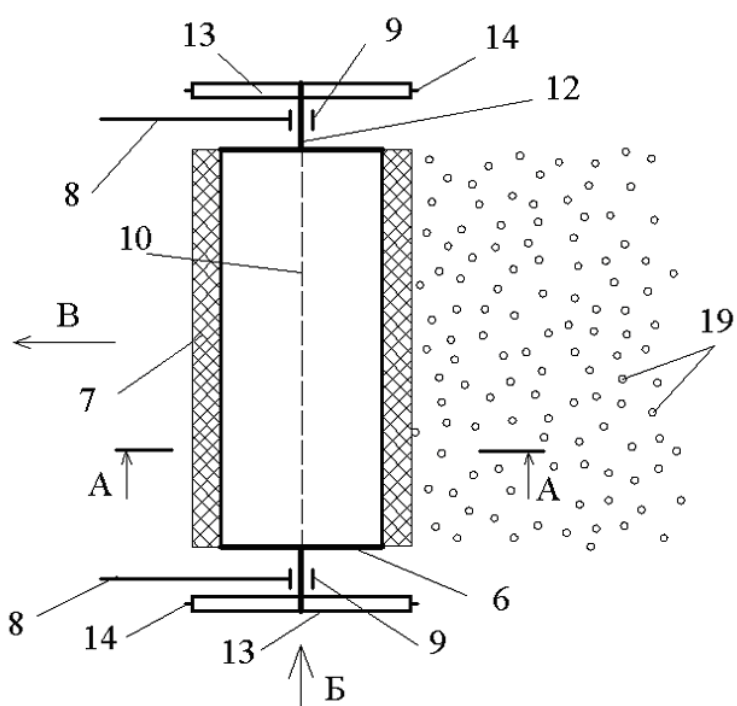


Рисунок 3.5 - Распределительный барабан с кронштейнами и боковыми колесами в продольном разрезе

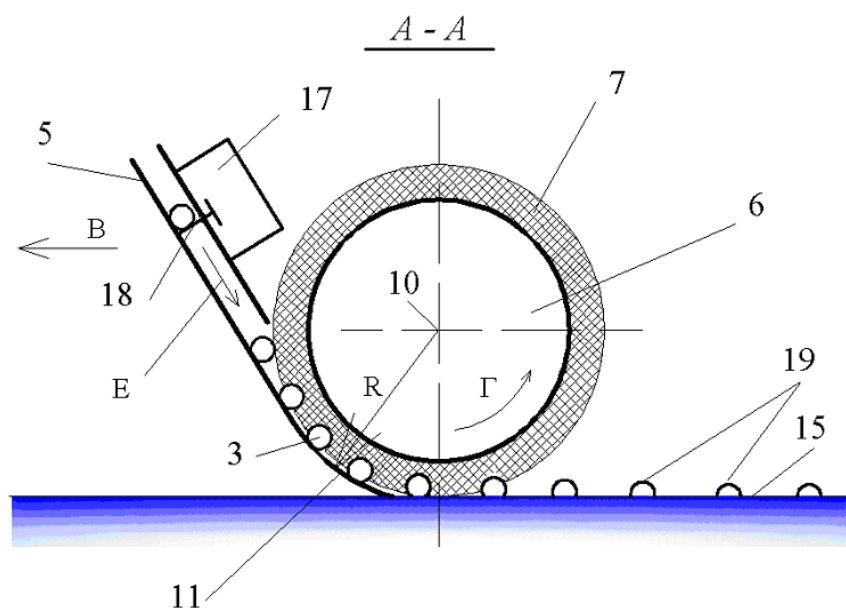


Рисунок 3.6 - Распределительный барабан с наклонным лотком в поперечном разрезе

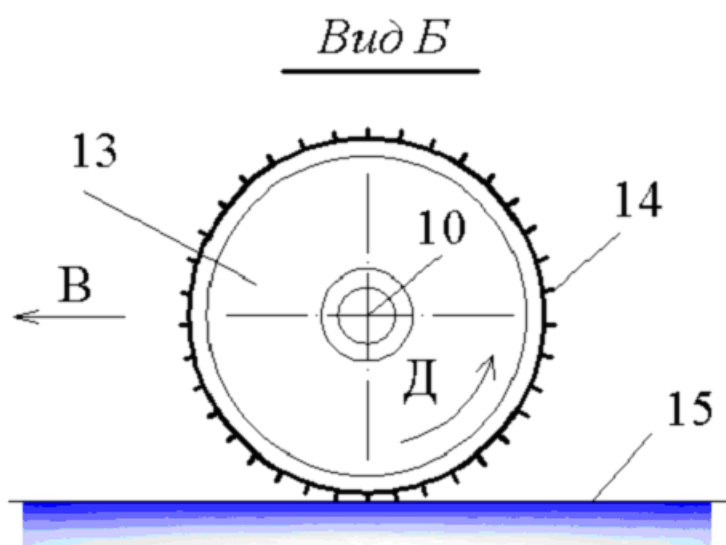


Рисунок 3.7 - Боковое колесо с радиально расположенными шипами

Устройство для образования шероховатости на ледяной поверхности дороги работает следующим образом. В начале работы в теплоизоляционный бункер 2 базовой машины 1 загружают песок 3. Для нагрева и поддержания необходимой температуры песка 3 в теплоизоляционном бункере 2 имеется

нагревательный отсек 4, размещенный под теплоизоляционным бункером 2. Процесс распределения горячего песка 3 на ледяную поверхность дороги 15 начинается движением базовой машины 1 по направлению В (рисунок 3.5) и включением моторного отсека 16, приводящего в движение ленточный транспортер, который перемешает горячий песок 3, находящийся в теплоизоляционном бункере 2, в заднюю его часть, в сторону наклонного лотка 5. Горячий песок 3 начинает высыпаться по наклонному лотку 5 вниз по направлению Е (рисунок 3.6). Степень распределения (расход) горячего песка 3 на ледяную поверхность дороги 15 регулируется клапанным отсеком 17. При открытии затвора 18 клапанного отсека 17 горячий песок 3 падает вниз под действием силы гравитации по наклонному лотку 5. При соприкосновении горячего песка 3 с упругой втулкой 7 горячий песок 3 вовлекается в дальнейшее движение упругой втулкой 7 путем упругого прижима горячего песка 3 к стенкам дуги окружности 11 и, одновременно, вращением вокруг центра вращения 10 (стрелка Г, рисунок 3.6). Горячий песок 3 передвигается по дуге окружности 11 наклонного лотка 5 в сторону ее конца. При соприкосновении с ледяной поверхностью дороги 15 горячий песок останавливается на ледяной поверхности дороги 15 (так как распределительный барабан 6 с упругой втулкой 7 перекачивается по ледяной поверхности дороги 15 без скольжения). Горячий песок 3 за счет положительной температуры и силы собственной тяжести начинает погружаться в лед вследствие подтаивания льда, происходит «посадка» горячего песка 3 на ледяную поверхность дороги 15. Холодная температура окружающей среды приводит к замерзанию погруженного горячего песка 3 на ледяной поверхности дороги 15. Таким образом, горячий песок 3 превращается в замерший песок 19 и на ледяной поверхности дороги 15 образуется шероховатость в виде распределенного замерзшего песка 19. С понижением температуры окружающей среды степень прикрепления замерзшего песка 19 к ледяной

поверхности дороги 15 увеличивается, что существенно повышает безопасность движения на дорогах.

Распределительный барабан 6, удерживаемый подшипниковыми узлами 9, получает вращательное движение от бокового колеса 13 посредством вала 12. Боковое колесо 13 вращается по направлению Д (рисунок 3.7) за счет перекачивания его без относительного скольжения по ледяной поверхности дороги 15. Радиально установленные шипы 14 предотвращают скольжение бокового колеса 13 относительно ледяной поверхности дороги 15.

Таким образом, стендовая установка для распределения нагретых каменистых частиц позволяет образовать на ледяной поверхности дороги шероховатость путем посадки на ледяную поверхность дороги нагретых каменистых частиц, что будет способствовать существенному увеличению безопасности движения транспортных средств, особенно на горных дорогах [12, 69].

### **3.3. Теплосохряющий трехслойный пакет для транспортирования горячих каменистых частиц**

Теплосохряющий пакет состоит из трех слоев (рисунки 3.8 и 3.9). Внутренний слой пакета служит для защиты теплосохряющего материала от температурных воздействий [14, 45, 75].

Основной теплосохряющий материал расположен в среднем слое пакета. Наружный слой служит для защиты пакета от механических воздействий.

Во время экспериментальных исследований в качестве внутреннего слоя теплосохряющих пакетов использовались материалы – хлопок, хлопок с теплоотражателем и брезент. В качестве теплоизоляционного материала,

расположенного внутри слоев пакета, использовались войлок и овечья кожа. В качестве наружного слоя использовался брезент.

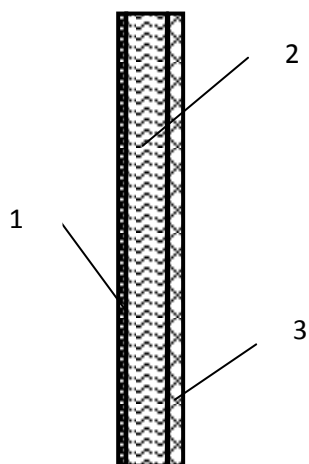


Рисунок 3.8 - Теплосохраняющий трехслойный пакет



Рисунок 3.9 - Теплосохраняющий трехслойный пакет



Экспериментальные исследования по оценке теплозащитных свойств трехслойного пакета проводились на холодильных установках ОШТУ. Предварительно нагретые каменистые частицы были вложены в трехслойный пакет, плотно закрывались. Перед этим измерялась температура нагретых каменистых частиц прибором-термометром 8888. Внутри камеры холодильника температура изменялась от  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $-10^{\circ}\text{C}$ . Через каждый час трехслойный пакет вынимался из камеры холодильника и измерялась температура каменистых частиц.

#### **3.4. Экспериментальное оборудование для определения коэффициента теплопроводности**

Лабораторная установка для определения коэффициента теплопроводности (рисунки 3.10 и 3.11) состоит из вольтметра 1, амперметра 2, автотрансформатора 3, сигнальной электрической лампочки 4, термопар 5 для измерения температуры на внешней поверхности теплоизоляционного материала и термопар 6 для измерения на внутренней поверхности теплоизоляционного материала, переключателя термопар 7, потенциометра (милливольтметра) 8, исследуемого теплоизоляционного слоя 9, тонкостенной стальной трубки 10, установленной во внутреннюю полость цилиндра электронагревателя 11, торцевых крышек 12, закрывающих торцевые отверстия слоя цилиндра.

Коэффициент теплопроводности определяется в следующем порядке. По заданным значениям напряжения  $U$ , силы тока  $I$  и включением электронагревателя в сеть устанавливается определенный режим нагрева. В процессе нагрева через каждые 5 минут измеряют показания термопар с помощью потенциометра (милливольтметра) [17].

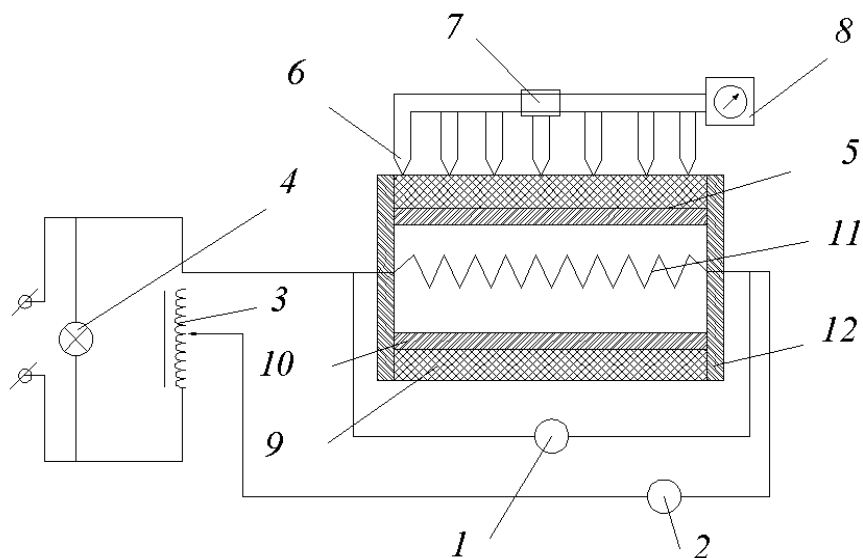


Рисунок 3.10 - Схема лабораторной установки для определения коэффициента теплопроводности: 1 - вольтметр, 2 - амперметр, 3 - автотрансформатор, 4 - сигнальная лампа, 5, 6 - термопары, 7 - переключатель, 8 - потенциометр (милливольтметр), 9 - теплоизоляционный материал, 10 - стальная труба, 11 - электронагреватель, 12 - торцевые крышки



Рисунок 3.11 - Схема лабораторной установки для определения коэффициента теплопроводности

Процесс нагрева продолжается до тех пор, пока показания потенциометра во всех измеряемых точках перестают изменяться, т.е. пока наступает стационарный режим в переносе тепла через измеряемый слой.

После наступления стационарного режима производят запись показаний вольтметра, амперметра и всех термопар и данные заносят в таблицу.

Для перевода показаний потенциометра (милливольтметра) в градусы, прилагается градуировочный график для данного вида термопар (рисунок 3.12).

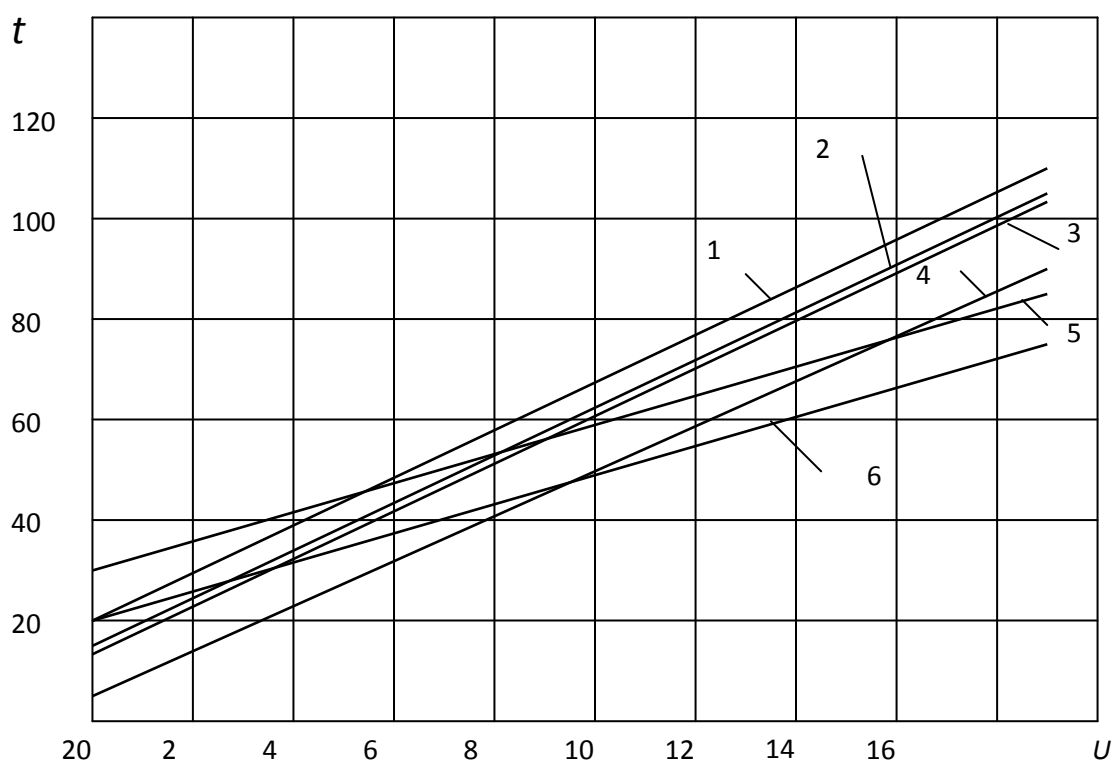


Рисунок 3.12 - Градуировочные графики: 1 - теплоотражателя внутреннего; 2 - теплоотражателя наружного; 3 - наружного войлока; 4 - внутреннего войлока; 5 - брезента внутреннего; 6 - брезента наружного

### 3.5. Стендовая установка для определения характеристик снега

Для изучения процесса сдвига (резания) снега в Кыргызском Государственном техническом университете им. И.Раззакова совместно с Таласским Государственным университетом разработан и изготовлен стенд для исследования процессов резания и сдвига снега (рисунки 3.13 и 3.14). Стенд содержит установленный на основании 1, гидравлический привод, включающий насос 2, соединенный с гидроцилиндром 3, корпус 4 и информационно–измерительную систему 5. В верхней части корпуса 4 установлены продольные направляющие 6, в которых размещена свободно передвигающаяся по опорным роликам 7 тензометрическая тележка 8.

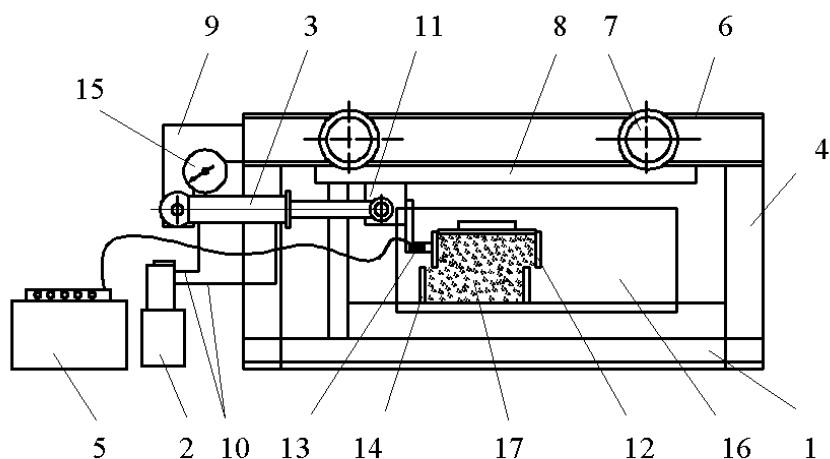


Рисунок 3.13 - Стенд для исследования процесса сдвига снега конструкции КГТУ и ТГУ: 1 - основание; 2 - насосная станция; 3 - силовой гидроцилиндр; 4 - корпус; 5 - измерительная аппаратура; 6 - направляющая; 7 - ролик тележки; 8 - тензометрическая тележка; 9 - консольный кронштейн; 10 - напорный и сливной трубопроводы; 11 - кронштейн; 12 - верхнее кольцо; 13 - тензометрическое звено (кольцо); 14 - нижнее кольцо; 15 - манометр; 16 - оконный проем; 17 - снежная масса

Гидроцилиндр 3 установлен на консольный кронштейн 9, прикрепленный к корпусу 4, и соединен с насосом 2 трубопроводными магистралями 10 и своим штоком - с помощью кронштейна 11 с тензометрической тележкой 8. На кронштейне 11 установлено тензометрическое звено 13 и закреплено нижнее кольцо 14, с помощью которого исследуется изучаемый процесс сдвига. Над нижним кольцом установлено верхнее кольцо 12. Тензометрическое звено 13 соединено с измерительно-информационной системой 5.

В одном из трубопроводов магистралей 10, подводящей рабочую жидкость от насоса 2 к гидроцилиндру 3, установлен манометр 15. В передней (лицевой) стенке корпуса 4 выполнен оконный проем 16, закрытый прозрачным материалом и расположенный в створе передвижения исследуемого рабочего органа (кольца) в находящейся в корпусе 4 моделируемой среде (снеге) 17.



Рисунок 3.14 - Общий вид стенда для исследования процесса сдвига снега конструкции

Проведение работы на стенде для исследования процесса резания снега осуществляется следующим образом.

Корпус 4 заполняется снегом необходимого объема. В пространстве внутри верхнего и нижнего колец закладывается снежная масса. Включается

привод, обеспечивающий посредством гидроцилиндра 3 перемещение тензометрической тележки 8 и исследуемого верхнего кольца. Усилие, необходимое для этого перемещения, контролируется и регулируется по показаниям манометра 15. Изменение скорости, глубины, ширины и угла резания позволяет определять исследуемые закономерности процесса сдвига (резания) снега различного состояния. Значения усилий на рабочих органах с тензометрического звена 13 регистрируются и обрабатываются в измерительно–информационной системе 5 и сопоставляются с показателями манометра 15. Для визуального контроля исследуемых процессов и объектов ведется видеосъемка через окно 16.

Данный стенд для исследования процесса сдвига (резания) снега позволяет не только моделировать поведение снега при силового воздействия на него, как в известных технических решениях, но и измерять усилия, действующие на испытуемый рабочий орган через тензометрическое кольцо.

Экспериментальные исследования с целью замера усилий, возникающих в процессе испытаний, проводились с использованием методов тензометрирования [55, 56, 64].



Рисунок 3.15 – Измерительно-записывающая аппаратура

Для проведения испытаний были использованы: осциллограф Н–117, усилитель «Топаз», прибор «Агат», калибратор Ф - 010 (рисунок 3.15). Тензометрические датчики сопротивления (фольговые) с базой 20 мм наклеивались на поверхности тензокольца. Эти датчики (тензорезисторы) устанавливаем в местах наибольших напряжений для обеспечения в получении максимального выходного сигнала. Для этого активные тензодатчики ( $R_1$  и  $R_3$ ) размещаются в местах наибольших напряжений, а компенсационные датчики ( $R_2$  и  $R_4$ ) в местах наибольших напряжений обратного знака (рисунок 3.16).

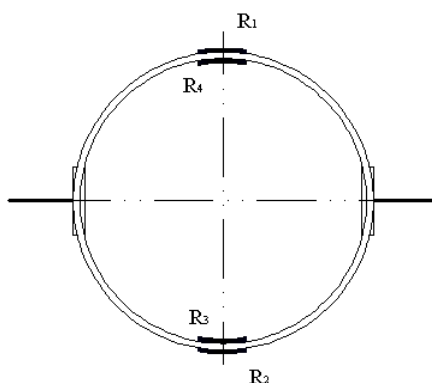


Рисунок 3.16 - Схема установки тензорезисторов на тензометрическом кольце для измерений деформаций

Во время экспериментальных исследований тензодатчики, наклеенные на поверхность исследуемого звена, включаются в измеряемый прибор по мостовой схеме.

Усилие отрыва каменистых частиц от ледяного массива определялось измерением отклонений записи на осциллографной ленте, куда информация поступает от О-образного тензометрического звена [86]. Тензодатчики соединялись по схеме, показанной на рисунке 3.17.

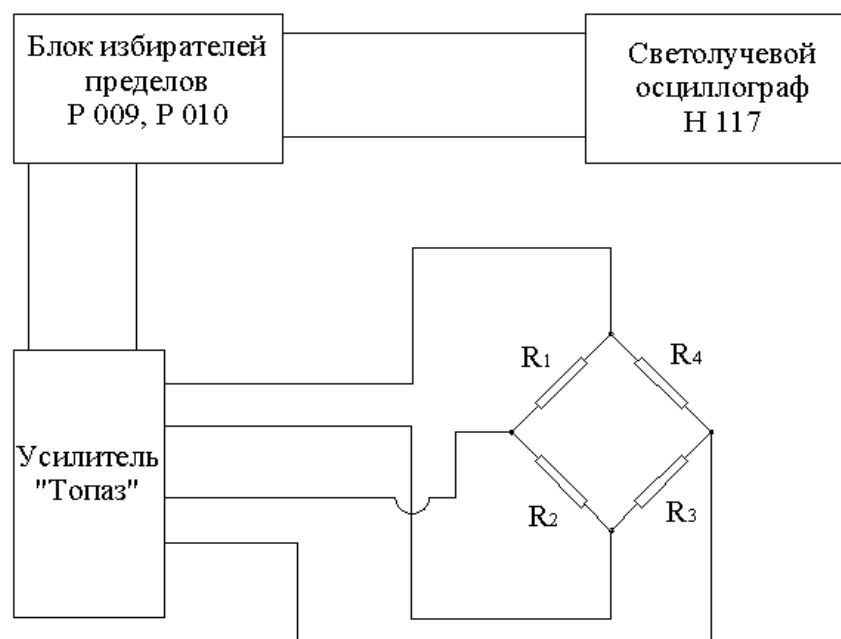


Рисунок 3.17 - Схема тензометрического моста и тензометрической записи

Тарировка тензометрических звеньев осуществлялась нагружением калиброванных грузов с одновременной регистрацией сигналов осциллограмм [91].

### 3.6. Методика проведения экспериментальных исследований

На первоначальном этапе экспериментальных исследований были проведены эксперименты по изучению процесса погружения в лед нагретых каменных частиц.

Целью эксперимента на этом этапе было нахождение оптимальных температур каменных частиц в зависимости от температуры окружающей среды (льда). Как известно, при малых температурах каменных частиц погружение их в лед будет составлять незначительные величины, а при высоких температурах каменных частиц они погружаются в ледяной слой полностью. Задачей эксперимента было нахождение таких температур



каменистых частиц и ледяного слоя, при которых каменистые частицы будут погружаться приблизительно до половины их размеров. В этих случаях погруженные каменистые частицы схватываются с замершим льдом и образуют на ледяной поверхности дороги шероховатости, аналогичные поверхности зернистой наждачной бумаги. При этом существенно увеличивается сила сцепления между ледяным дорожным покрытием и колесами машин.

Для обогрева каменистых частиц использовались нагревательные печи. Отсортированные по фракциям каменистые частицы предварительно очищались от загрязнений путем промыва их в водной среде. Затем высушивались в сушильных камерах. Отсортировка каменистых частиц по фракциям проводилась через сито определенных размеров. Температура каменистых частиц измерялась термометрами и прибором-термометром 8888.

Лед определенных температур формировался в холодильниках. Диапазон изменения температуры колебался от  $-6^{\circ}\text{C}$  до  $-16^{\circ}\text{C}$ . Контейнер с водой размерами длиной 60 см, шириной 40 см и высотой 20 см помещался в холодильник до получения льда определенной температуры.

Нагретые до определенной температуры каменистые частицы высыпались на ледяную поверхность определенной температуры в соответствии с матрицей планирования экспериментов. Глубина погружения каменистых частиц в лед зависит от вышеуказанных параметров. В зависимости от температуры каменистых частиц они погружались в лед на разную глубину, которая замерялась штангенциркулем [73, 81].

В качестве плана эксперимента принят центральный композиционный рототабельный план с тремя факторами. Температура каменистых частиц  $t_k$  ( $X_1$ ), температура ледяного слоя  $t_l$  ( $X_2$ ), диаметр каменистых частиц  $d_k$  ( $X_3$ ). Параметром отклика является глубина погружения нагретых каменистых частиц в ледяной слой  $h$  (таблица 3.1).

Таблица 3.1 - Действующие факторы и уровни их варьирования

Факторы	Размерность	Уровни варьирования				
		-1,682	-1	0	+1	+1,682
1. Температура каменистых частиц $t_k$	Градус, $^{\circ}\text{C}$	+7	+20	+40	+60	+73
2. Температура ледяного слоя $t_l$	Градус, $^{\circ}\text{C}$	-18	-15,5	-12	-8,5	-6
3. Диаметр каменистых частиц $d_k$	мм	3,5	5,3	8	10,7	12,5

В соответствии с известной методикой [59, 87] регрессионная модель процесса погружения нагретых каменных частиц в лед для рототабельного центрально-композиционного плана может быть дана в виде следующего уравнения регрессии:

$$Y = b_o + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + b_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + b_{11} \cdot X_1^2 + b_{22} \cdot X_2^2 + b_{33} \cdot X_3^2 .$$

Коэффициенты регрессионной модели определяются по следующим формулам:

$$b_o = P \sum_{n=1}^N Y_n - Q \sum_{i=1}^n \sum_{n=1}^N X_{in}^2 \cdot Y_n ;$$

$$b_i = R \sum_{n=1}^N X_{in} \cdot Y_n ;$$

$$b_{ik} = W \sum_{n=1}^N Y_n \cdot X_{in} \cdot X_{kn} ;$$

$$b_{ii} = S \sum_{n=1}^N X_{in} \cdot Y_n + T \sum_{i=1}^n \sum_{n=1}^N X_{in}^2 \cdot Y_n - V \sum_{n=1}^N Y_n ,$$

где  $b_o$  - свободный член уравнения регрессии;

$b_{ii}$  - коэффициент регрессии при квадратичном члене  $i$ -того фактора;

$b_i$  - коэффициент линейной регрессии для  $i$ -того фактора;

$b_{ik}$  - коэффициент парного взаимодействия  $i$ -того и  $k$ -того факторов;

$n$  - число факторов;

$N$  - число вариантов в матрице планирования с учетом повторов центральной точки;

$\sum_{n=1}^N Y_n$  - сумма значений выходов для всех вариантов матрицы

планирования;

$\sum_{i=1}^n \sum_{n=1}^N X_{in}^2 \cdot Y_n$  - сумма произведений квадрата уровня каждого фактора в

$n$ -ном варианте матрицы на выход  $Y_n$ ;

$\sum_{n=1}^N Y_n \cdot X_{in}$  - алгебраическая сумма произведений выхода каждого варианта

на уровень  $i$ -го фактора в этом варианте для всех вариантов плана;

$\sum_{n=1}^N Y_n \cdot X_{in} \cdot X_{kn}$  - алгебраическая сумма произведений выходов каждого

варианта на уровень  $i$ -го и  $k$ -го факторов в этом варианте для всех  $N$  вариантов плана;

$\sum_{n=1}^N X_{in}^2 \cdot Y_n$  - сумма произведений квадрата уровня в каждом  $n$ -ном

варианте матрицы планирования на выход  $Y_n$  в этом варианте для всех  $N$  вариантов;

$P, Q, R, T, W, V$  - постоянные величины для каждого плана.

Значимость коэффициентов регрессионной модели определяется по критерию Стьюдента [87, 91]:

$$t_i = \frac{|b_i|}{S(b_i)} \geq t_{cr} ,$$

где  $t_{cr}$  - критическое значение  $t$  при уровне значимости  $\alpha$  и  $f$ .

Однородность дисперсии воспроизводимости проверяется по критерию Кохрена:

$$G_E = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^n S_i^2} \leq G_{cr} \quad ,$$

где  $G_{cr}$  - критическое значение однородности дисперсии;

$S_{\max}^2$  - максимальное значение дисперсии воспроизводимости;

$\sum_{i=1}^n S_i^2$  - суммарное значение дисперсии воспроизводимости.

Проверка полученной регрессионной модели на адекватность проводилась по критерию Фишера:

$$F_E = \frac{S_{na}^2}{S_y^2} \leq F_t \quad ,$$

где  $S_{na}^2$  - дисперсия неадекватности,

$$S_{na}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_r - Y_o)^2 - \sum_{i=1}^n (Y_c - \bar{Y}_c)^2}{(N - d) - (n - 1)} \quad ;$$

$S_y^2$  - дисперсия воспроизводимости,

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_c - \bar{Y}_c)^2}{n - 1} \quad ,$$

где  $Y_r$  - значение параметра отклика, вычисленное по регрессионной модели;

$\bar{Y}_c$  - среднее значение выхода в центральной точке плана;

$N$  - количество экспериментальных точек;

$d$  - количество значимых факторов модели;

$n$  - количество повторных (параллельных) опытов в центральной точке.

Модель адекватна, если опытное значение критерия Фишера меньше или равно табличному значению  $F$  распределения.

## Заключение по главе 3

1. Разработанная стендовая установка для распределения нагретых каменистых частиц на ледяной поверхности дорог позволяет образовать на ледяной поверхности дороги шероховатость путем посадки на ледяную поверхность дороги замерзших каменистых частиц, которые позволяют существенно увеличить безопасность движения транспортных средств, особенно на горных дорогах.

2. Созданный стенд для исследования процессов резания и сдвига снега позволяет изучить указанный процесс и определить усилия отрыва каменистых частиц от ледяного покрова различного состояния.

3. Разработана методика проведения экспериментальных исследований процесса образования шероховатости на ледяной поверхности путем погружения нагретых каменистых частиц в ледяной массив для различных температур нагрева каменистых частиц и их диаметров.

## **ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТЕЙ**

### **4.1. Оценка процесса погружения нагретых каменных частиц в ледяной слой в лабораторных условиях**

Как было указано ранее, предлагаемая новая технология повышения безопасности движения транспортных средств на горных дорогах Кыргызстана позволяет увеличить коэффициент сцепления между ледяной поверхностью горной дороги с колесами транспортных средств путем образования шероховатости за счет «посадки» горячих каменных материалов на холодную ледяную поверхность дороги. Нагретые каменные частицы, попадающие на ледяную поверхность за счет первоначальной повышенной температуры и их силы тяжести, они начинают погружаться в лед вследствие подтаивания льда [17, 18]. Холодная окружающая температура приводит к замерзанию погруженного гравия на ледяной поверхности дороги. На поверхности дороги, таким образом, образуется слой погруженных каменных частиц, напоминающих поверхности наждачной бумаги.

В результате применения новой технологии резко улучшается проходимость мобильных транспортных средств на горных дорогах с ледяной поверхностью дороги [30, 70, 74].

При температуре каменной частицы близкой к температуре ледяного покрова каменная частица будет лежать на поверхности ледяного слоя (позиция П1 рисунок 4.1) без каких-либо зацеплений с ним. При рассыпке нагретых каменных частиц в холодный ледяной массив частицы, в зависимости от их температуры могут занимать позиции в полупогруженном или полностью погруженном (позиция П2 и позиция П3 рисунок 4.1) в ледяной слой положении.

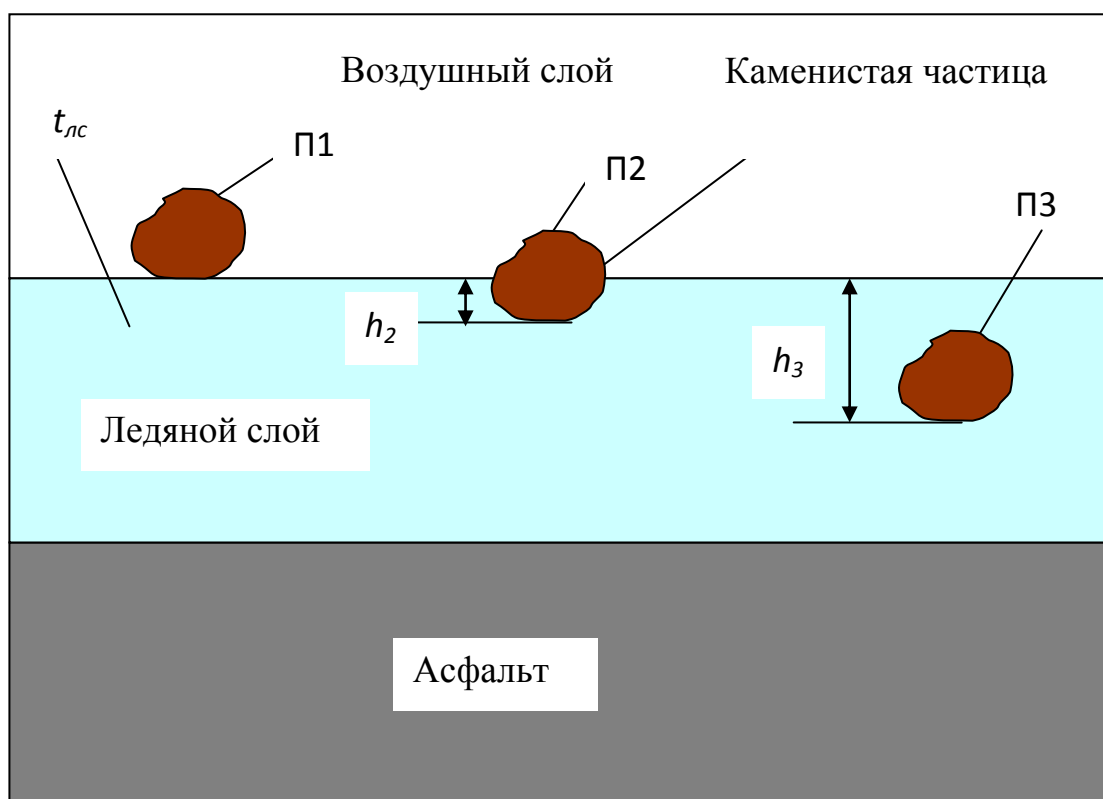


Рисунок 4.1 - Схема погружения нагретых каменистых частиц в ледяной слой дорожного покрытия: П1, П2, П3 - позиции нагретых каменистых частиц в отношении ледяного слоя;  $t_{лс}$  - температура ледяного слоя;  $h_2$ ,  $h_3$  - глубина погружения каменистых частиц в ледяной слой

В соответствии с программой экспериментальных исследований на первоначальном этапе были проведены эксперименты по изучению процесса погружения в лед нагретых каменистых частиц.

Целью эксперимента на этом этапе было нахождение оптимальных температур каменистых частиц в зависимости от температуры окружающей среды (льда) и диаметра каменистых частиц. Предполагается, что при малых температурах каменистых частиц, погружение их в лед будет составлять незначительные величины, а при высоких температурах каменистых частиц, они погружаются в ледяной слой полностью. Задачей эксперимента было нахождение таких температур каменистых частиц и ледяного слоя, при которых

каменистые частицы погружались приблизительно до половины их размеров. В этих случаях погруженные каменистые частицы схватываются с замерзшим льдом и образуют на ледяной поверхности дороги шероховатости. При этом существенно увеличивается сила сцепления между ледяным дорожным покрытием и колесами машин.

В качестве плана эксперимента принят центральный композиционный рототабельный план с тремя факторами [91]. Температура каменистых частиц  $t_{кч}$  ( $X_1$ ), температура ледяного слоя  $t_{лс}$  ( $X_2$ ), диаметр каменистых частиц  $d_{кч}$  ( $X_3$ ). Параметром отклика является глубина погружения нагретых каменистых частиц в ледяной слой  $h$ .

После обработки экспериментальных данных в соответствии с вышеуказанной методике проведения экспериментов получено следующее уравнение регрессии процесса погружения нагретых каменистых частиц в ледяной покров горной дороги:

$$U = 5,8 + 2,02X_1 + 1,91X_2 + 1,63X_3 + 0,34X_1X_2 - 0,27X_2X_3 - 0,81X_1^2 - 0,64X_2^2 - 0,57X_3^2,$$

где  $U$  - глубина погружения каменистой частицы в ледяной массив, мм;

$X_1$  - температура каменистых частиц,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$X_2$  - температура ледяного слоя,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$X_3$  - диаметр каменистых частиц, мм.

Как видно из уравнения наиболее значимым фактором, влияющим на данный процесс, является температура каменистых частиц, а их диаметр оказывает наименьшее влияние.

На рисунке 4.2 показан график зависимости изменения глубины погружения каменистой частицы в ледяной слой от температуры каменистых частиц при температуре льда  $-12^{\circ}\text{C}$  и диаметре каменистых частиц 8 мм (кривая 1) и при температуре льда  $-18^{\circ}\text{C}$  и диаметре каменистых частиц 5,3 мм (кривая 2).



С ростом температуры каменистых частиц глубина проникновения каменистой частицы в ледяной покров возрастает, особенно в промежутке в интервале температур каменистой частицы от  $+7^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ . Так, при температуре каменистой частицы  $+20^{\circ}\text{C}$  глубина погружения каменистых частиц в лед составила 3,1 мм; при температуре каменистой частицы  $+40^{\circ}\text{C}$  глубина погружения каменистых частиц в лед составила 4,5 мм, а при температуре каменистой частицы  $+60^{\circ}\text{C}$  глубина погружения каменистых частиц в лед составила 6 мм (кривая 1). Как видно из графика, интенсивность погружения нагретых каменистых частиц в ледяной слой остается высокой в интервале изменения температуры каменистых частиц от  $+7^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ .

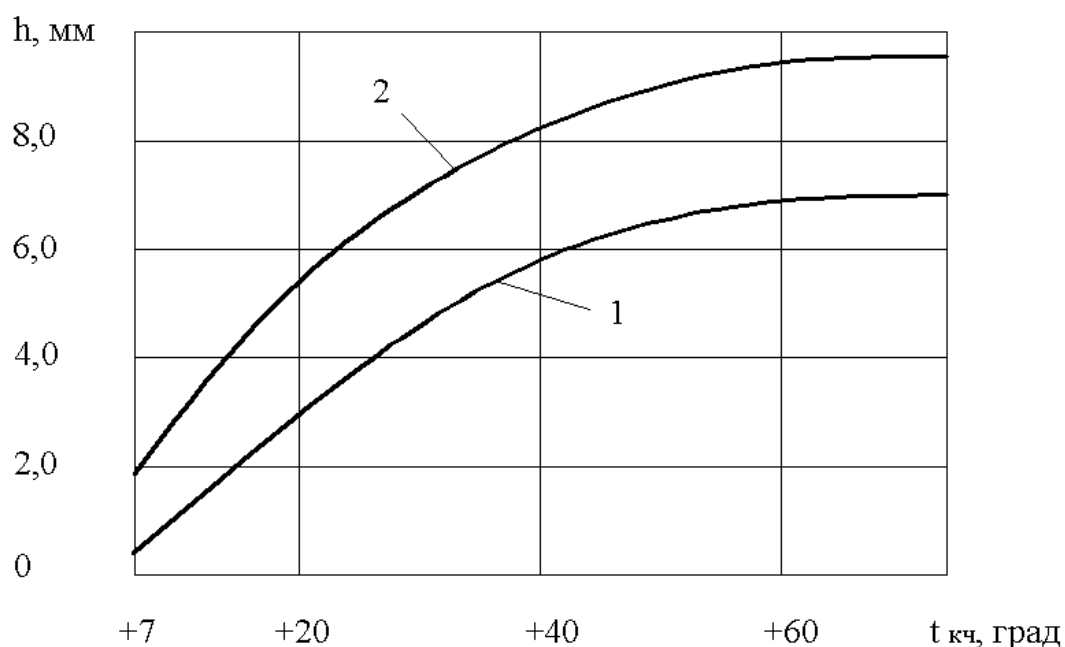


Рисунок 4.2 - Зависимость глубины погружения каменистых частиц в ледяной слой от температуры каменистых частиц: 1 -  $t_{лс} = -12^{\circ}\text{C}$ ,  $d_{кч} = 8$  мм;

$$2 - t_{лс} = -15,5^{\circ}\text{C}, d_{кч} = 10,7 \text{ мм}$$

В дальнейшем интенсивность снижается. Так, при температуре каменистых частиц  $+10$  градусов (температура ледяного слоя  $-12$  градусов, диаметр каменистых частиц 8 мм) глубина проникновения в ледяной слой

составляла 0,8 мм. При росте температуры на 20 градусов (температура каменистых частиц +30 градусов) глубина проникновения в ледяной слой составляла 4,6 мм. Разность проникновения каменистых частиц в ледяной слой в пределах изменения температуры от +10 до +50 градусов составляла  $4,6 - 0,8 = 3,8$  мм. На участке изменения температуры от +50 градусов глубина проникновения составляла 6,3 мм. При повышении температуры на 20 градусов (температура каменистых частиц +70 градусов) глубина проникновения в ледяной слой составляла 7,0 мм. В этом случае разность глубины проникновения каменистых частиц в ледяной слой на интервале изменения температур каменистых частиц составляет  $7,0 - 6,3 = 0,7$  мм [74].

Изменение глубины проникновения каменистых частиц в ледяной слой в зависимости от их температуры для значений температуры ледяного слоя -18 градусов и диаметра каменистой частицы 5,3 мм показано на рисунке 4.2, кривая 2. Как видно из графика, разность глубин проникновения каменистых частиц в ледяной слой с ростом температуры каменистых частиц возрастает. При температуре каменистых частиц +7 градусов разность глубин проникновения составляла 1,7 мм, при температуре +20 градусов глубина проникновения составляла 2,3 мм, а при температуре +60 градусов глубина проникновения составляла 2,8 мм.

Экспериментами установлено, что для обеих кривых характерны снижения интенсивности глубины проникновения каменистых частиц в ледяной слой на участке изменения их температуры от +60 градусов до +73 градусов [73].

Для придания наглядности процесса погружения нагретых каменистых частиц в ледяной покров на рисунке 4.3 представлена схема расположения каменистых частиц по глубине проникновения в ледяной слой (в вертикальном разрезе) в зависимости от изменения температуры каменистых частиц. Как видно из рисунка 4.3, оптимальная температура каменистых частиц, соответствующая глубине проникновения, равной половине диаметра

каменистых частиц ( $d_{кч} = 8$  мм) составляет  $+35...+40$  градусов при температуре ледяного слоя  $-12$  °С. В этом интервале температур примерно половина диаметра каменистых частиц остается на ледяной поверхности и образует каменистую шероховатость. При температуре каменистых частиц свыше  $+60$  градусов они проникают в ледяной слой почти полностью. Такая температура нагрева каменистых частиц является излишней, так как требует дополнительных энергетических затрат на нагрев каменистых частиц, а также из-за того, что на ледяной поверхности не остается каменистая шероховатость.

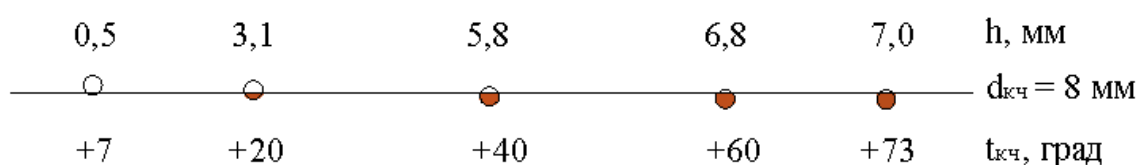


Рисунок 4.3 - Картина расположения каменистых частиц по глубине проникновения в ледяной слой в зависимости от температуры каменистых частиц при их диаметре  $d_{кч} = 8$  мм и температуре ледяного слоя  $-12$  °С

Зависимость глубины погружения каменистых частиц в ледяной слой от температуры льда показана на рисунке 4.4. Кривая 1 построена при температуре каменистых частиц  $+40$  градусов и их диаметре 8 мм, кривая 2 построена при температуре каменистых частиц  $+60$  градусов и диаметре 10,7 мм. Расхождение кривых 1 и 2 увеличивается с уменьшением температуры льда. При температуре льда  $-7$  градусов эта разница глубин погружения между кривой 1 и кривой 2 составила 1,2 мм, при температуре льда  $-10$  градусов разница глубин погружения между кривой 1 и кривой 2 составила 1,8 мм, а при температуре льда  $-15,5$  градусов разница глубин погружения между кривой 1 и кривой 2 составила 2,3 мм. Как видно из графиков, обе кривые имеют выпуклую форму [18].

Интенсивность проникновения каменистых частиц в ледяной слой увеличивается до температуры ледяного слоя  $-10$  градусов, затем с ростом отрицательной температуры ледяного слоя интенсивность проникновения каменистых частиц замедляется. При этом темп замедления глубины проникновения в ледяной слой для кривой 1 более заметный, чем для кривой 2. При температуре каменистых частиц  $+40$  градусов и их среднем диаметре  $8$  мм глубина проникновения в ледяной слой с температурой с  $t_{лс} = -12$  градусов составляла  $5,8$  мм, для  $t_{лс} = -18$  градусов глубина составляла  $1$  мм (разница  $h = 4,8$  мм), для  $t_{лс} = -6$  градусов глубина составляла  $7,2$  мм (разница  $h = 1,4$  мм). Это означает что на одинаковых промежутках температур ледяного слоя глубина проникновения каменистых частиц в ледяной слой в промежутке температуры ледяного слоя между  $-18$  градусов и  $-12$  градусов намного больше ( $h = 4,8$  мм), чем в промежутке температур ледяного слоя между  $-12$  градусов и  $-6$  градусов ( $h = 1,4$  мм).

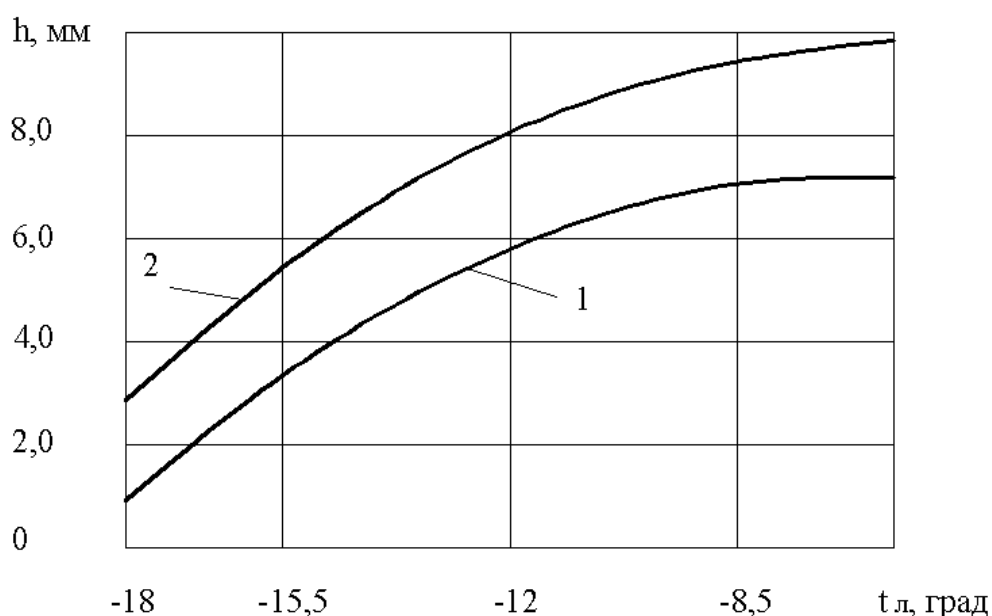


Рисунок 4.4 - Зависимость глубины погружения каменистых частиц в ледяной слой от температуры ледяного слоя: 1 -  $t_{кч} = +40$  °C,  $d_{кч} = 8$  мм;

2 -  $t_{кч} = +60$  °C,  $d_{кч} = 10,7$  мм

Для сравнения проведем анализ кривой 2. При среднем диаметре каменных частиц 10,7 мм ( $t_{кч} = +60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) глубина проникновения каменной частицы в ледяной слой составляли:  $h = 2,9$  мм (температура ледяного слоя  $-18$  градусов),  $h = 8,1$  мм (температура ледяного слоя  $-12$  градусов) и  $h = 9,8$  мм (температура ледяного слоя  $-6$  градусов).

На рисунке 4.5 показана зависимость глубины погружения каменных частиц в ледяной слой от диаметра каменных частиц при их температуре  $t_{кч} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  и при температуре ледяного слоя  $t_{лс} = -12\text{ }^{\circ}\text{C}$  (кривая 1); при температуре каменных частиц  $t_{кч} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  и при температуре ледяного слоя  $t_{лс} = -8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (кривая 2). При диаметре каменных частиц 8 мм глубина их погружения в лед составила 5,7 мм (кривая 1), при диаметре каменных частиц 10,7 мм глубина их погружения в лед составила 6,8 мм (кривая 1), а при диаметре каменных частиц 12,5 мм глубина их погружения в лед составила 9,4 мм (кривая 2).

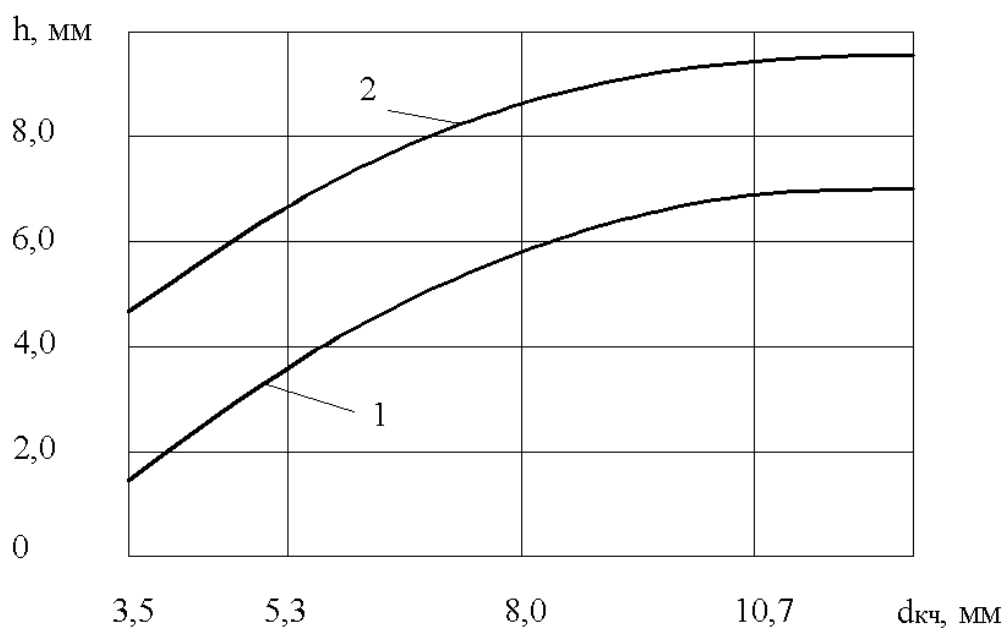


Рисунок 4.5 - Зависимость глубины погружения каменных частиц в ледяной слой от диаметра каменных частиц: 1 -  $t_{кч} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{лс} = -12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 2 -  $t_{кч} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{лс} = -8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Как видно из рисунка 4.5, интенсивность роста глубины проникновения каменных частиц в ледяной слой для обеих кривых примерно одинакова. Темп роста глубины погружения каменных частиц в ледяной слой дорожного покрытия для каменных частиц диаметром от  $d_{кч} = 3,5$  мм до  $d_{кч} = 9$  мм был высок по сравнению с каменными частицами диаметром больше  $d_{кч} = 9$  мм. Для каменных частиц диаметром  $d_{кч} = 3,5$  мм глубина проникновения составляла  $h = 1,7$  мм, для каменных частиц диаметром  $d_{кч} = 5,3$  мм глубина их проникновения составляла  $h = 2,8$  мм, а для каменных частиц с диаметрами  $d_{кч} = 10,7$  мм и  $d_{кч} = 12,5$  мм глубины проникновения составляли соответственно  $h = 6,9$  мм и  $h = 7,1$  мм.

#### **4.2. Определение глубины погружения нагретых каменных частиц в ледяное покрытие горной дороги Кыргызстана**

Экспериментальные исследования были проведены в натуральных условиях горной дороги Кыргызстана (перевалы Алабел, Чыйырчык, ущелье Аламүдүн) в зимнее время. Экспериментальные исследования по определению глубины погружения нагретых каменных частиц в ледяное покрытие проводились в однофакторном варианте. В качестве влияющего фактора использовалась температура каменных частиц. Откликом (выходным параметром) эксперимента была глубина погружения каменных частиц в ледяное покрытие горной дороги. На рисунке 4.6 показан один из участков горной дороги, где проводились экспериментальные исследования. Толщина ледяного покрова составляла в среднем 20 - 35 см. Средняя дневная температура составляла -17 градусов по Цельсию.

Нагрев каменных частиц проводился в нагревательном отсеке. Температура каменных материалов определялись с помощью термометров и прибором-термометром 8888, а глубина проникновения каменных частиц в

лед - штангенциркулем. Температура каменных частиц измерялась через каждые 2 минуты и записывалась в полевой книге, а также в памяти прибора-термометра 8888.

Каменные частицы были изъяты с карьеров вдоль дороги Бишкек-Ош, вблизи села Токтогул. Далее каменные частицы подвергались сортировке по фракциям и промывались водой.

В дальнейшем производили рассыпку нагретых каменных частиц на ледяную поверхность горной дороги (рисунок 4.7). Как видно из рисунка 4.7, каменные частицы погружались в ледяной слой, растапливая ледяную массу и затвердевали (замерзали) в ней за счет отрицательной температуры окружающей среды. Таким образом, на поверхности горной дороги образовалась шероховатость, напоминающую поверхность наждачной бумаги.



Рисунок 4.6 - Участок ледяной горной дороги, где проводились экспериментальные исследования (перевал Алабел, ущелье Чычкан)

Подогретую порцию каменных материалов рассыпали равномерно на ледяную поверхность дороги. Экспериментальными исследованиями установлено, что каменные частицы, нагретые до +60 градусов, после их

рассыпки на ледяной слой горной дороги утапливались в ледяном слое. Это произошло за счет наличия положительной (плюсовой) температуры каменных частиц и под воздействием их силы тяжести. Отрицательная температура ледяного слоя охлаждала затапливаемые каменные частицы, в результате чего они затвердевали в ледяном слое (рисунок 4.8). Затвердевание каменных частиц происходило через 4 - 9 секунд в зависимости от температуры каменных частиц и окружающей среды [73, 74].



Рисунок 4.7 - Ледяная поверхность горной дороги



Рисунок 4.8 - Каменистые частицы, замороженные в ледяном массиве



Глубина проникновения в ледяной массив нагретых каменистых материалов зависела от их температуры, размеров и температуры ледяного покрова. Температура каменистых частиц и ледяной поверхности измерялась термометром–прибором 8888 (рисунок 4.9).



Рисунок 4.9 - Измерение температуры ледяной поверхности горной дороги

На рисунках 4.10 - 4.12 представлены графические зависимости глубины погружения каменистых частиц в ледяную поверхность от температуры рассыпаемого материала для трех фракций. Как видно из графика, в рассматриваемых диапазонах изменения влияющих факторов, изменение глубины погружения каменистых материалов зависит от их первоначальной температуры нагрева, температуры окружающей среды (ледяного покрытия) и размеров каменистых частиц. С увеличением размеров фракций каменистых частиц глубина погружения их в ледяной покров увеличивается [67, 76]. Стрелками показаны рациональные температуры нагрева каменистых частиц, при которых глубина погружения их в ледяной слой составляет примерно половину диаметра каменистых частиц.

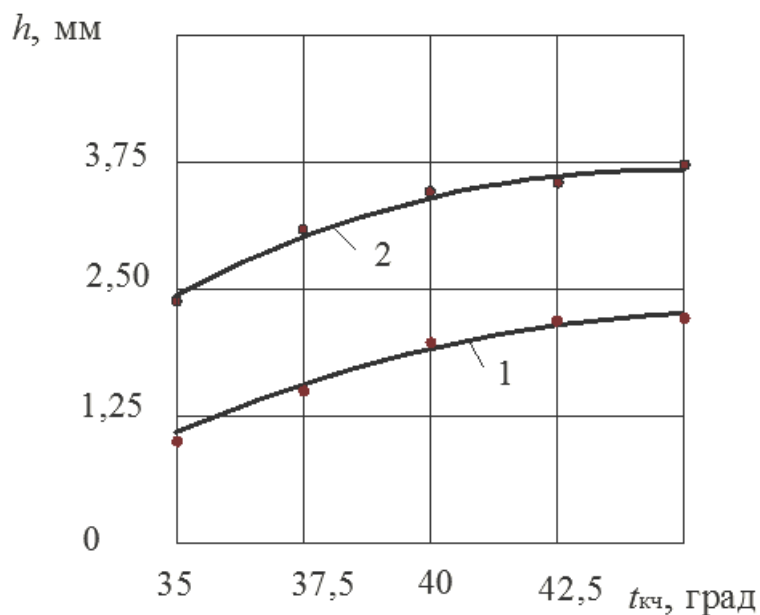


Рисунок 4.10 - Зависимости изменения глубины погружения каменных частиц в ледяной покров от температуры рассыпаемого материала:

1 - для фракции  $d_{кч} = 3,5$  мм; 2 - для фракции  $d_{кч} = 5,3$  мм

Как видно из рисунка 4.10, при температуре каменных частиц 38 градусов по Цельсии и диаметром  $d_{кч} = 3,5$  мм, погружались в ледяной покров горной дороги на 1,4 мм, а при температуре каменных частиц 40 градусов по Цельсии диаметром  $d_{кч} = 5,3$  мм погружение составляло 3,1 мм. Эта величина погружения каменных частиц в ледяной слой составляет почти половины диаметра каменных частиц.

С увеличением диаметра каменных частиц глубина их погружения увеличивается. На рисунке 4.11 показана диаграмма изменения глубины погружения каменных частиц в ледяной покров в зависимости от температуры рассыпаемого материала для фракций  $d_{кч} = 6$  мм и  $d_{кч} = 9$  мм. Каменные частицы диаметром 6 мм при температуре 37 °С погружались в ледяной слой горной дороги на глубину 3 мм. При температуре 40 градусов по Цельсию каменные частицы диаметром 9 мм погружались в ледяной слой на глубину 4,8 мм.

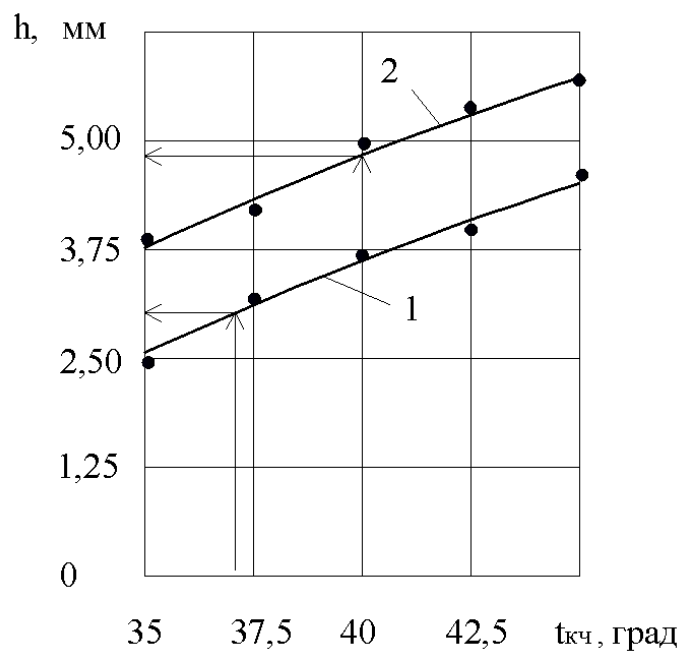


Рисунок 4.11 - Зависимости изменения глубины погружения каменных частиц в ледяной покров от температуры рассыпаемого материала:

1 – для фракции  $d_{кч} = 6$  мм; 2 – для фракции  $d_{кч} = 9$  мм

На рисунке 4.12 приведены графики изменения глубины погружения в ледяной покров горной дороги для каменных частиц с размерами  $d_{кч} = 11$  мм (линия - 1) и  $d_{кч} = 13$  мм (линия - 2). Как видно из графика, глубины погружения увеличиваются по сравнению с графиками, показанными на рисунках 4.10 и 4.11. Глубина погружения достигла 5,2 мм для фракции каменной частицы диаметром 11 мм при ее температуре 37 градусов. При температуре 40 градусов каменные частицы диаметром 13 мм погружались на глубину 6,6 мм.

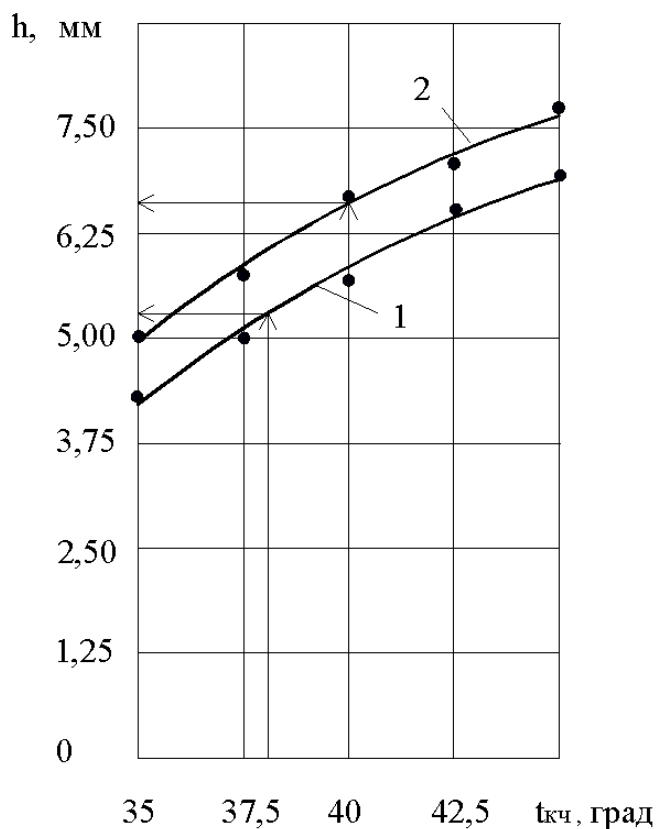


Рисунок 4.12 - Зависимости изменения глубины погружения каменных частиц в ледяной покров от температуры рассыпаемого материала:  
 1 - для фракции  $d_{кч} = 11$  мм; 2 - для фракции  $d_{кч} = 13$  мм

В соответствии с графиками, представленными на рисунках 4.10 - 4.12 можно сделать вывод что для фракции каменных частиц с размерами от  $d_{кч} = 3,5$  мм до  $d_{кч} = 13$  мм рациональными значениями температуры их нагревания каменных частиц является температура от  $37^{\circ}\text{C}$  до  $40^{\circ}\text{C}$ . В этих условиях глубина погружения каменных частиц в ледяной слой горной дороги составляет примерно половину их диаметра [82, 83].

Эти данные были получены в натуральных условиях горной дороги при температуре воздуха -  $17^{\circ}\text{C}$  по Цельсию.

### 4.3. Определение теплопроводности теплосохраняющих пакетов. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований

В соответствии с методикой экспериментальных исследований проведены экспериментальные исследования по оценке тепловых потерь в научных лабораториях Санкт–Петербургского Государственного университета технологии и дизайна (г. Санкт-Петербург, Россия) и Кыргызского Государственного социального университета (г. Ош) при поддержке проекта НАТО SfP 973658 по программе «Наука ради Мира».

В качестве теплосохраняющего изделия использован трехслойный пакет (см. рисунок 3.9). Разработанный теплосохраняющий пакет состоит из трех слоев. Внутренний слой пакета служит для защиты войлока от чрезмерных температурных воздействий. Он изготовлен из ткани хлопковой или льняной основы, рабочая поверхность покрыта металлическим теплоотражателем. Основным теплосохраняющим материалом является войлок, изготовленный из отходов овечьей шерсти. Наружный слой выполнен из брезента, служит для защиты пакета от механических воздействий.

Объемная плотность и пористость войлока определялись по стандартной методике [26].

Объемная плотность войлока определяется как

$$\rho_F = \frac{m_F}{V} ,$$

где  $m_F$  - масса волокон войлока, г;

$V$  - объем, занимаемый волокнами вместе воздушным пространством между ними, см<sup>3</sup>.

Пористость войлока определялась по формуле

$$\Pi = 1 - \frac{\rho_F}{\rho_s} ,$$

где:  $\rho_F$  – объемная плотность;

$\rho_e$  – плотность волокна шерсти.

Экспериментальные исследования по оценке теплопроводности трехслойного текстильного пакета проведены для различных пористостей войлока.

В результате экспериментальных исследований в лабораторных условиях получены следующие значения теплопроводности трехслойного текстильного пакета (таблица 4.1).

Таблица 4.1 - Экспериментально полученные значения теплопроводности войлока и трехслойного текстильного пакета

Материал	Пористость	Теплопроводность, Вт/мК
Войлок	0,3	0,051
	0,4	0,048
	0,5	0,046
	0,6	0,045
	0,7	0,044
	0,8	0,043
	0,9	0,042
Пакет в целом	0,3	0,039
	0,4	0,038
	0,5	0,037
	0,6	0,036
	0,7	0,035
	0,8	0,034
	0,9	0,033

В главе 2 была описана модель структуры теплосохранивающего трехслойного пакета в сочетании основного слоя и прошивки, а также тканевого ограничивающего слоя. Для расчета теплопроводности моделирующих структур нити и рыхловолокнистого материала воспользовались соотношениями, описанными в работе [15, 26].

Теплопроводность нитей, сплеток прошивки вдоль волокон определялась соотношением (2.44). Теплопроводность нитей, расположенных поперек волокон соотношением (2.45).

Определялась формула теплопроводности войлока, который является основным теплоизоляционным слоем теплосохранивающего трехслойного пакета (2.46).

Теплопроводность тканевой структуры ограничивающих поверхностей сплетенной из нитей минеральных или органических волокон определялась по зависимости (2.49).

Получена зависимость для определения теплопроводности конструкции теплосохранивающего трехслойного пакета (2.51).

Для расчета формул (2.44) и (2.45) были использованы следующие исходные данные:

$\lambda_B$  – теплопроводность волокна ткани,  $\lambda_B = 0,055$ , *Вт/мК* ;

$\Pi$  – пористость,  $\Pi = 0,18$  (для ткани);

$\lambda_r$  – теплопроводность газа,  $\lambda_{\text{п}} = \lambda_r = 0,024$ , *Вт/мК* ;

$\nu$  – отношение теплопроводности компонента в порах к теплопроводности волокна  $\nu = \lambda_{\text{п}} / \lambda_B = 0,685$ .

Тогда теплопроводность нитей, сплеток прошивки вдоль и поперек волокон будет

$$\lambda_H^{\parallel} = \lambda_B \cdot (1 - \Pi) + \lambda_r \Pi = 0,049 \text{ Вт/мК} ;$$

$$\lambda_H^{\perp} = \lambda_B \left[ 1 - \sqrt{\Pi} + \left( \frac{1}{\nu} - 1 + \frac{1}{\sqrt{\Pi}} \right)^{-1} \right] = 0,067 \text{ Вт/мК} .$$

Для определения числовых значений формулы теплопроводности войлока имеем исходные данные:

$n_H$  – число неразрывных ячеек,  $n_H = 40$ ;

$d_B$  – диаметр волокна,  $d_B = 0,00003$  м;

$\lambda_B$  – теплопроводность волокна шерсти,  $\lambda_B = 0,035$ ,  $Вт/мК$ ;

$\Pi$  – пористость,  $\Pi = 0,9$  (для войлока);

$L_{яч}$  – длина сторон ячейки,  $L_{яч} = 2,14 \cdot 10^{-5}$  м;

$c$  – относительная толщина волокна,  $c = \frac{d_B}{2L_{яч}} = 0,7$ ;

$r$  – радиус волокна,  $r = \frac{d_B}{2} = 0,000015$  м;

$r_k$  – радиус контакта волокон,  $r_k = 0,0000075$  м;

$y$  – относительный радиус пятна фактического контакта волокон,

$$y = \frac{r_k}{r} = 0,5;$$

$\Phi$  – функция относительного радиуса пятна контакта  $y$ ,  $\Phi \approx 0,017 + 0,4y = 0,217$ .

После подстановки числовых значений, получим

$$\lambda_F = a_{\square} \left[ \lambda_v (1 - \Pi) + \lambda_r \cdot \Pi \right] + \frac{a_{\perp}}{\frac{1 - \Pi}{\lambda_v} + \frac{\Pi}{\lambda_r}} = 0,041 \text{ Вт/мК}.$$

По результатам экспериментальных исследований теплопроводность войлока теплосохраниющего трехслойного пакета составляла  $\lambda_F = 0,046$  Вт/мК. Расхождение между экспериментальным и рассчитанным значением теплопроводности составляет [18]

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{0,041 - 0,046}{0,041} \cdot 100 = 12,10\% \approx 12\%.$$

Числовые значения теплопроводности тканевой структуры волокон определяем после подстановки вышеперечисленных числовых значений



$$\lambda_{TK} \cong \lambda_H^\perp \cdot (1 - \Pi)^2 + 4\Pi \cdot (1 - \Pi) \cdot \frac{\lambda_H^\perp \cdot \lambda_\Pi}{\lambda_H^\perp + \lambda_\Pi} + \lambda_\Pi \Pi^2 = 0,056 \text{ Вт/мК}.$$

Экспериментальное значение теплопроводности ткани (брезента) теплосохранивающего трехслойного пакета составляло  $\lambda_{TK} = 0,058 \text{ Вт/мК}$ .

Расхождение между экспериментальным и рассчитанным значением теплопроводности составляет

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{0,058 - 0,056}{0,058} \cdot 100 = 3,57\% \approx 4\%.$$

Для определения теплопроводности конструкции теплосохранивающего трехслойного пакета в целом вводим исходные данные в формулу (2.51)

$S_H$  – площадь поперечного сечения прошивочного элемента (нити),  $S_H = 3,14 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$ ;

$N$  – число прошивок на площади  $S$  тепловой изоляции,  $N = 300$ ;

$\lambda_{TK}$  – теплопроводность элементов ткани,  $\lambda_{TK} = 0,056 \text{ Вт/мК}$ ;

$\lambda_F$  – теплопроводность элементов войлока,  $\lambda_F = 0,041 \text{ Вт/мК}$ ;

$\lambda_H^{\parallel}$  – теплопроводность элементов прошивки (нити),

$\lambda_H^{\parallel} = 0,049 \text{ Вт/мК}$ ;

$\delta_{TK}$  – толщина ткани,  $\delta_{TK} = 0,003 \text{ м}$ ;

$\delta_F$  – толщина войлока (изоляция),  $\delta_F = 0,018 \text{ м}$ ;

$S$  – площадь тепловой изоляции (войлока),  $S = 0,8 \text{ м}^2$ .

$$\lambda = \lambda_H^{\parallel} \cdot \frac{S_H \cdot N}{S} + \left[ \frac{\delta_{TK} \cdot S}{\lambda_{TK} \cdot \delta_{TK} \cdot (1 - S_H \cdot N)} + \frac{(\delta_F - \delta_{TK}) \cdot S}{\lambda_F \cdot \delta_F \cdot (1 - S_H \cdot N)} \right]^{-1} = 0,032 \text{ Вт/мК}.$$

Теплопроводность теплосохранивающего трехслойного пакета в целом, полученная экспериментальным путем составляла  $\lambda = 0,0305 \text{ Вт/мК}$ .

Расхождение между экспериментальным и рассчитанным значением теплопроводности составляет

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{0,0305 - 0,032}{0,0305} \cdot 100 = 4,92\% \approx 5\%.$$

На рисунке 4.13 показаны результаты теоретических и экспериментальных исследований по оценке теплопроводности трехслойного теплосохраниющего пакета и его слоев.

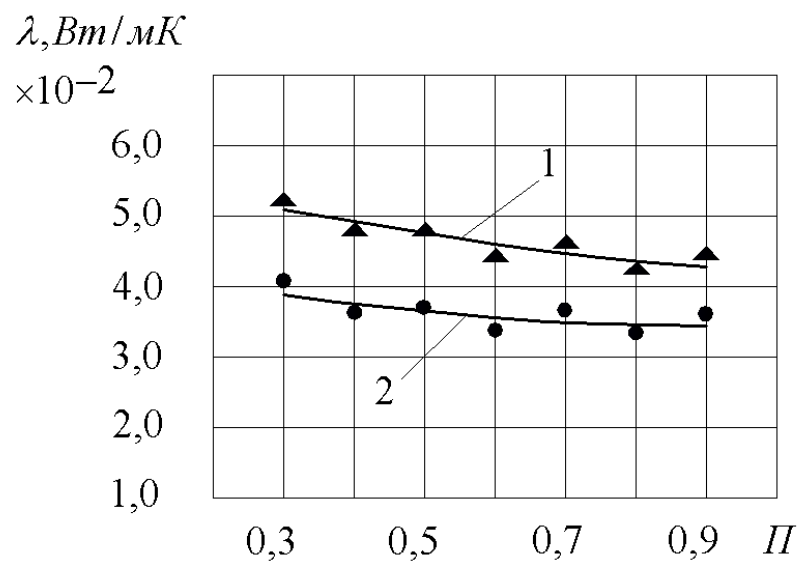


Рисунок 4.13 - Теоретическое и экспериментальное исследования по оценке теплопроводности трехслойного теплосохраниющего пакета: 1 – изменение теплопроводности для войлока; 2 – изменение теплопроводности для пакета в целом; ▲ – экспериментальные точки для войлока; ● – экспериментальные точки для пакета в целом

Программа определения на ЭВМ значений теплопроводностей материалов трехслойного теплосохраниющего пакета приложена в приложении 1.

#### **4.4. Испытание теплозащитного трехслойного пакета на горных дорогах Кыргызстана**

Для реализации предлагаемой технологии применялись теплозащитные текстильные материалы. Основным теплоизолирующим материалом является войлок, изготовленный из отходов овечьей шерсти.

Как было указано выше, сутью предлагаемой технологии содержания дороги является улучшение проходимости машин на горных дорогах с ледяной поверхностью путем обеспечения шероховатости поверхности дороги за счет «посадки» каменистых материалов на ледяную поверхность. Это достигается посредством рассыпки на ледяную поверхность горной дороги нагретых каменистых материалов. Нагретые каменистые частицы при нахождении на ледяной поверхности за счет их положительной температуры и силы тяжести начинают погружаться в лед за счет подтаивания льда. Холодная окружающая температура воздуха приводит к замерзанию полупогруженного гравия на ледяной поверхности дороги. На ледяной поверхности дороги образуется шероховатость, которая образуется насаждением каменистых материалов [33].

В экспериментальных исследованиях в качестве внутреннего слоя теплосохраняющих пакетов использовались материалы – хлопковые, хлопковые с теплоотражателем и брезент. В качестве теплоизоляционного материала, расположенного внутри слоев пакета, использовались войлок и овечья кожа. В качестве наружного слоя использовался брезент.

Теплосохраняющие текстильные пакеты, изготавливались в различных комбинациях, указанных в таблице 4.2. На следующем этапе экспериментов исследовался процесс охлаждения каменистых материалов, находящихся внутри теплосохраняющих пакетов.

Каменистые материалы были промыты водой, отсортированы по фракциям от 3,5 до 5,3 мм; от 6 до 9 мм; от 11 до 13 мм. Затем отсортированный каменистый материал нагревался на специальном

оборудовании до  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$  и заполнялся в теплосохраниющие изделия. Герметично закрытые теплосохраниющие изделия поместили на ледяной покров при температуре окружающей среды  $t_{o.c.} = -8\text{ }^{\circ}\text{C}$  и льда  $t_{льда} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Разгерметизацию теплосохраниющих изделий произвели через 2 часа 30 мин. Результаты эксперимента по определению снижения температуры инертных материалов в теплосохраниющих пакетах представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Изменение температуры инертных материалов в теплосохраниющих пакетах

Номер теплосохраниющего пакета	Материалы слоев теплосохраниющих пакетов			Температура инертных материалов	
	внутренний слой	средний слой	наружный слой	начальная, $^{\circ}\text{C}$	конечная, $^{\circ}\text{C}$
ТСП–1	хлопок	кожа овечья	брезент	+60	+35
ТСП–2	хлопок с теплоотражателем	войлок	брезент	+60	+41
ТСП–3	брезент	войлок	брезент	+60	+32

Графическая иллюстрация этого процесса приведена на рисунке 4.14.

Как видно из рисунка 4.14, теплосохраниющий пакет ТСП–2 обладает наилучшим показателем по сохранению тепла в пакете. В течение 2,5 часов инертные материалы охладились на 19 градусов. В теплосохраниющих пакетах ТСП–1 и ТСП–3 охлаждения материалов составило 25 градусов и 28 градусов соответственно.

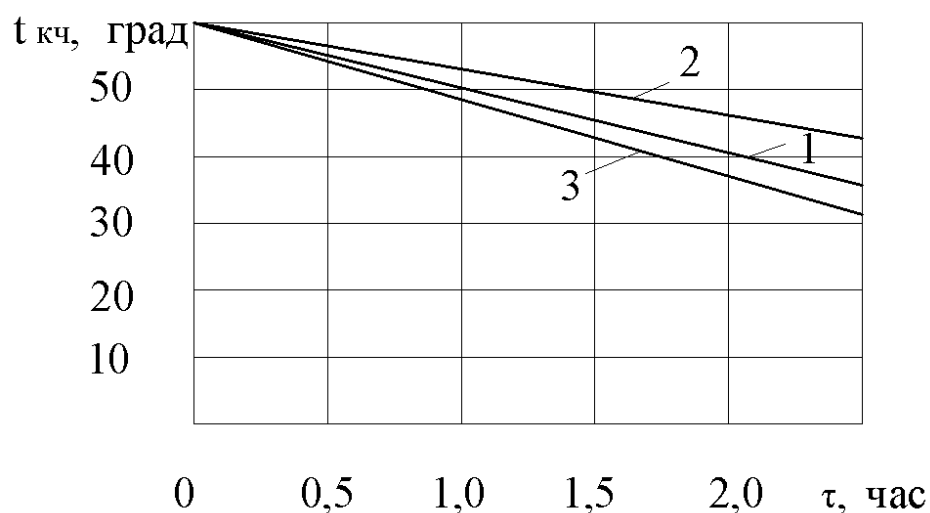


Рисунок 4.14 - График изменения температуры в многослойном теплоизоляционном пакете 1 – (1 – хлопок, 2 – кожа овечья, 3 – брезент); 2 – (1 – хлопок с теплоотражателем, 2 – войлок, 3 – брезент); 3 – (1 – брезент, 2 – войлок, 3 – брезент)

#### 4.5. Результаты лабораторных исследований по оценке физико-механических свойств снега

Снег является чрезвычайно изменчивым материалом, свойства и характеристики которого очень легко изменяются под влиянием климатических, физико-географических, температурных условий и при переходе в напряженное состояние [60]. Изменение состояния и свойств снега при переходе его из ненапряженного состояния можно легко наблюдать, изучая поведение снега под нагрузкой. Под влиянием внешнего воздействия характеристика снега зависит от типа сил, взаимодействующих между зернами. Исследователями [8] установлены следующие четыре основных типа снега: свежеснежный (с первоначальной формой кристаллов), зернистый, полусвязный (с пленками воды) и смерзшийся снег.

При взаимодействии машины и снега, например при воздействии на снег колес движущихся автомобилей или при удалении его снегоочистителем, сжимаемость и сопротивление сдвигу являются свойствами, обуславливающими его первоначальную реакцию [53, 102].

Для определения характеристики снега проводились экспериментальные исследования на срезном приборе (аналогично исследованиям грунта). Следовательно, для зернистого снега основным видом разрушения при прямом сдвиге под воздействием достаточного по величине нормального напряжения является срез, как показано на рисунке 4.15.

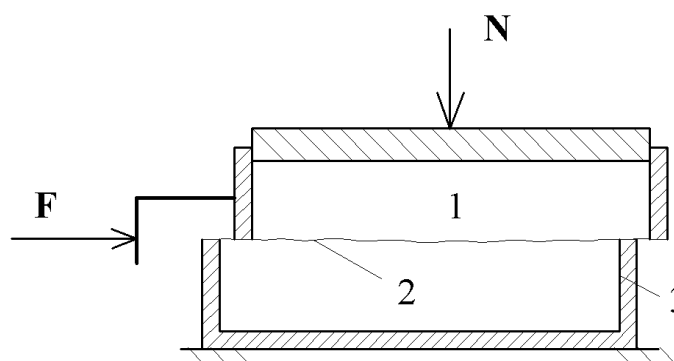


Рисунок 4.15 - Общий характер разрушения снега при испытании на прямой сдвиг:  $F$  – сдвигающее усилие;  $N$  – нормальная нагрузка; 1 – снег; 2 – плоскость сдвига; 3 – форма для образца

На рисунке 4.16 показана зависимость между прочностью при сдвиге и нормальным напряжением зернистого снега для двух скоростей сдвига - 0,065 см/с и 0,31 см/с. На графике 1 показана прочность при сдвиге, полученная при скорости сдвига 0,065 см/с, а на графике 2 – прочность при сдвиге того же снега со скоростью 0,31 см/с.

На основании результатов экспериментальных исследований установлено, что зависимость между прочностью снега при сдвиге  $\tau$  и нормальным напряжением  $\sigma$  линейная как для скорости сдвига 0,065 см/с, так и для скорости 0,31, см/с.

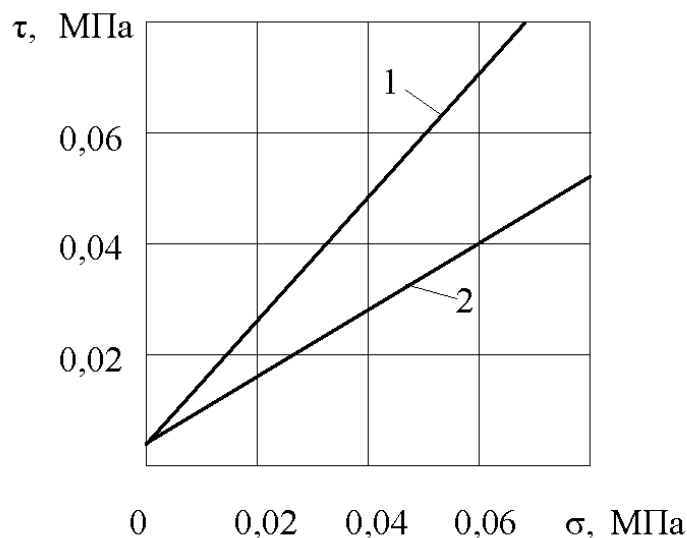


Рисунок 4.16 - Зависимость между прочностью зернистого снега и нормальным напряжением при прямом сдвиге:

1 – скорость сдвига 0,065 см/с; 2 – скорость сдвига 0,31 см/с

#### 4.6. Результаты экспериментальных исследований по определению сопротивлений ледяного покрытия отрыву и сдвигу

Экспериментальные исследования в натуральных условиях для определения сопротивления ледяного покрытия отрыву каменистых частиц проводились на специальном подъемном устройстве, позволяющем произвести вертикальный подъем каменистой частицы [76, 78]. Подъемное устройство устанавливается на испытуемый участок горной дороги с ледяным покрытием. Подъемное устройство (рисунок 4.17) содержит раму 1, на которой установлен перекидной блок 2, механизм подъема каменистой частицы 7 с натяжным тросом 5, измерительный аппарат 6. Для замера усилия отрыва каменистой частицы 9, замороженной в ледяном массиве 3 установлен динамометр 8 и тензометрическое звено 4.

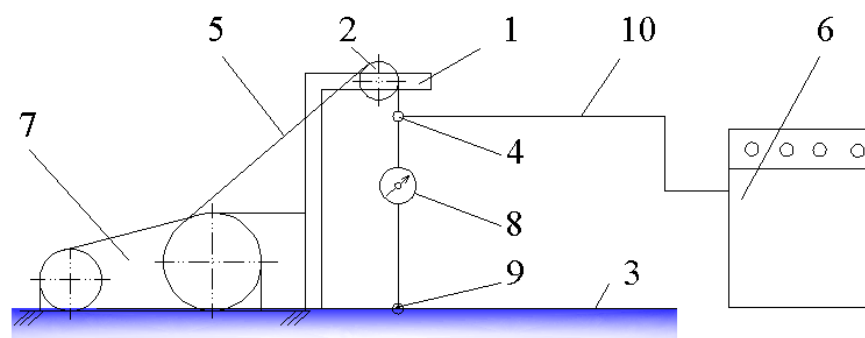


Рисунок 4.17 - Схема экспериментального измерения усилия отрыва каменной частицы от ледяной поверхности при отрицательных температурах окружающей среды: 1 – подъемное устройство; 2 – блок; 3 – ледяной покров; 4 – тензометрическое звено; 5 – натяжной трос; 6 – измерительный аппарат; 7 – механизм подъема каменной частицы; 8 – динамометр; 9 – каменная частица, замороженная в ледяном массиве; 10 – измерительные провода

Устройство работает следующим образом. На исследуемом участке дороги 3, на ее ледяную поверхность устанавливают подъемное устройство 1. Производят зацепление петли каменной частицы с крюком натяжного троса 5, при этом вертикальная ветвь натяжного троса 5 должна находиться над каменной частицей. Включением привода механизма подъема 7 каменной частицы 9 производят ее подъем. Одновременно включается измерительный аппарат 6 для записи усилия отрыва каменной частицы 7 через тензометрическое звено 4 и измерительных проводов 10. Также производят визуальное наблюдение, видеозапись и фотографирование процесса отрыва каменной частицы. Также производят наблюдение усилия отрыва каменной частицы через показания динамометра 8. Измерительный аппарат 6 для записи усилия отрыва каменной частицы 7 останавливается после ее отрыва от замороженного ледяного массива. Производят расшифровку записи на осциллограмме по определению усилия отрыва. Затем цикл эксперимента повторяется.



Исследуемые каменистые частицы обвязывались металлической проволокой (рисунок 4.18) с образованием петли для подъема (отрыва) от ледяного покрытия. Каменистые частицы, предварительно нагретые до определенной температуры, при соприкосновении с ледяным покрытием дороги разогревают ниже находящийся слой ледяного покрытия и под действием собственной силы тяжести подтапливаются. С течением времени, погруженная нижняя половина каменистой частицы (сферы) замораживается в ледяном массиве. В открытой верхней части каменистой частицы остается петля для крюка подъемной машины [73, 74].

Исследование процесса отрыва каменистой частицы от ледяного покрытия начинается с вертикального подъема крюка подъемной машины, зацепленного за петлей каменистой частицы (рисунок 4.18). Затем начинается процесс подъема крюка с помощью механизма подъема каменистой частицы и натяжного троса. Сначала происходит выпрямление проволок петли, в дальнейшем усилие подъема доходит до каменистой частицы. По мере увеличения натяжения троса возрастает напряжение отрыва замороженной каменистой частицы от ледяного массива.



Рисунок 4.18 - Подъем каменистой частицы, замороженной в ледяном массиве

При достижении определенного значения напряжения по поверхности отрыва происходит отрыв каменной частицы (рисунок 4.19).



Рисунок 4.19 - След на ледяном покрытии дороги после отрыва каменной частицы, замороженной в ледяном массиве

На рисунке 4.20 представлены результаты экспериментальных исследований по отрыву замороженных каменных частиц от ледяного массива. Для каменной частицы диаметром  $d_{кч} = 7,6$  мм усилие отрыва составило  $F_{отр} = 0,29$  кН, для каменной частицы диаметром  $d_{кч} = 10,1$  мм усилие отрыва составило  $F_{отр} = 0,37$  кН, а для каменных частиц диаметрами  $d_{кч} = 14,8$  мм,  $d_{кч} = 16,9$  мм и  $d_{кч} = 19,3$  мм усилия отрыва составляли  $F_{отр} = 0,47$  кН,  $F_{отр} = 0,52$  кН и  $F_{отр} = 0,58$  кН соответственно.

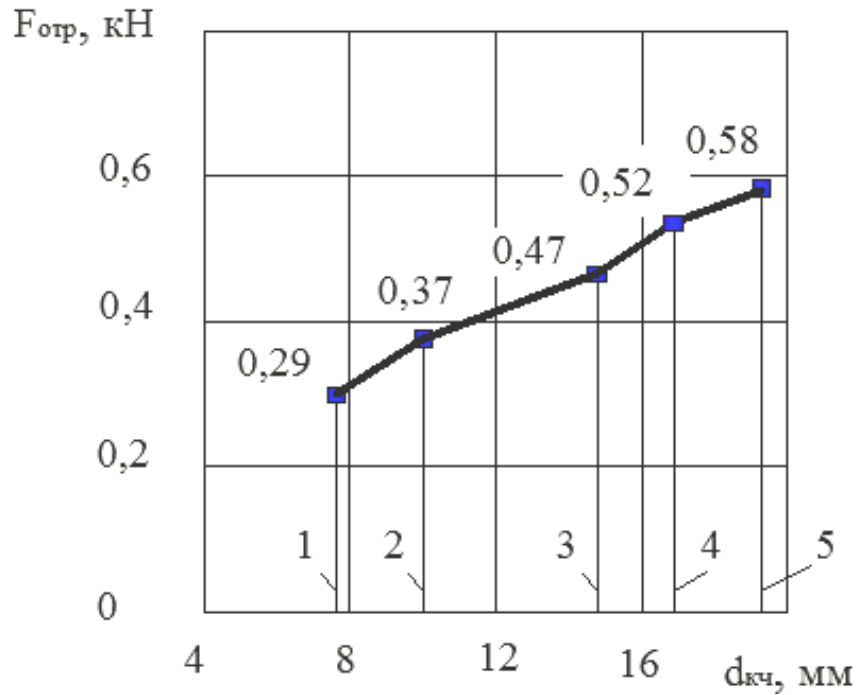


Рисунок 4.20 - Экспериментальные зависимости усилия отрыва каменистых частиц, замороженных в ледяном массиве от размеров каменистых частиц:  
 1 – диаметр  $d_{кч} = 7,6$  мм; 2 – диаметр  $d_{кч} = 10,1$  мм; 3 – диаметр  $d_{кч} = 14,8$  мм;  
 4 – диаметр  $d_{кч} = 16,9$  мм; 5 – диаметр  $d_{кч} = 19,3$  мм

Определяем напряжения отрыва  $\sigma_{отр}$  через усилия отрыва, как

$$\sigma_{отр} = \frac{F_{отр}}{S_{отр}},$$

где  $F_{отр}$  – усилия отрыва;

$S_{отр}$  – площадь отрыва (контактная поверхность между замороженной частью каменистой частицы и ледяным массивом).

Площадь поверхности отрыва равна половине сферы. С учетом наличия в каменистой частице микрошероховатости определяем площадь отрыва, как

$$S_{отр} = \frac{\pi \cdot d_{кч}^2}{2} \cdot k_{ми},$$

где  $d_{кч}$  – диаметр каменной частицы;

$k_{ми}$  – коэффициент, учитывающий увеличение поверхности за счет микрошероховатости каменной частицы. Из опыта принимаем  $k_{ми} = 1,05$ .

Значения усилий, напряжения и площади поверхности отрыва для различных диаметров каменной частицы приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Значения усилий, напряжений и площадей поверхности отрыва для различных диаметров каменной частицы

Диаметр каменной частицы $d_{кч}$ , мм	Площадь поверхности отрыва $S_{отр}$ , мм <sup>2</sup>	Усилие отрыва $F_{отр}$ , Н	Напряжение отрыва $\sigma_{отр}$ , Н/мм <sup>2</sup>
7,6	95,25	290	3,04
10,1	168,22	370	2,19
14,8	361,20	470	1,30
16,9	470,98	520	1,10
19,3	614,25	580	0,94

Как видно из таблицы 4.3, с уменьшением размера (диаметра) каменной частицы напряжения отрыва замороженной каменной частицы от ледяного покрытия увеличиваются. Так, при диаметре каменной частицы  $d_{кч} = 7,6$  мм напряжение отрыва составило  $\sigma_{отр} = 3,04$  Н/мм<sup>2</sup>, при  $d_{кч} = 14,8$  мм напряжение отрыва составило  $\sigma_{отр} = 1,30$  Н/мм<sup>2</sup>, а при  $d_{кч} = 19,3$  мм напряжение отрыва составило лишь  $\sigma_{отр} = 0,94$  Н/мм<sup>2</sup>. Таким образом, напряжение отрыва каменной частицы уменьшилось с 3,04 Н/мм<sup>2</sup> до 0,94 Н/мм<sup>2</sup> (уменьшение в 3 раза) при увеличении диаметра каменной частицы с 7,6 мм до 19,3 мм.

#### **4.7. Экспериментальное определение сцепных параметров пневматических колес в зоне шероховатости ледяного покрытия горной дороги**

На следующем этапе экспериментальных исследований определялись сцепные свойства дороги, засыпанные нагретыми каменистыми частицами и замороженными на ледяном покрове.

Экспериментально установлено, что распределенные по поверхности и замороженные каменистые материалы образуют твердый поверхностный слой с определенной шероховатостью, коэффициент сцепления колеса с дорогой на таких участках дороги повышается не только при движении, но и при торможении мобильных машин.

Для определения тягового усилия транспортного средства на ледяном покрытии горной дороги использовался легковой автомобиль (с передним приводом), к которому с помощью буксира через динамометр закрепляли к неподвижной стойке. Тяговые усилия определялись для двух случаев: на ледяной поверхности дороги (рисунок 4.7) и на ледяной поверхности дороги с «насажанными» каменистыми частицами (рисунок 4.8). Тяговые усилия определялись с помощью динамометра (визуально) и тензозвена, с записью на тензоаппаратуре (рисунок 4.21).



Рисунок 4.21 - Определение тяговых усилий на ледяной поверхности дороги с «насажанными» каменистыми частицами

На рисунке 4.22 показана зона взаимодействия пневматического колеса транспортного средства и ледяного покрытия с шероховатостью, образованной замороженными каменистыми частицами.

На рисунке 4.23 приведены результаты экспериментальных исследований по определению тяговых усилий. В качестве тягового усилия зафиксированы максимальные усилия, которые реализовывались на автомобиле до начала буксования колес (как показала практика, после буксования тяговые усилия резко снизились). Среднее значение тяговых усилий автомобиля на ледяной поверхности составило 1200 Н. Уклон местности составлял 5,8 %. Автомобиль тянул вверх. При тех же условиях эксперимента, но на ледяной поверхности с «насаженными» каменистыми частицами тяговое усилие возросло до 2080 Н. Иными словами, тяговое усилие возросло почти в два раза.



Рисунок 4.22 - Взаимодействие пневматического колеса транспортного средства с ледяным покрытием с шероховатостью, образованную замороженными каменистыми частицами

Экспериментально также были определены сравнительные тормозные пути автомобиля на разных поверхностях дороги (на ледяной поверхности дороги и на ледяной поверхности дороги с «насажанными» каменистыми частицами). Автомобиль разгонялся вниз по уклону дороги до определенной скорости и резким нажатием на педаль тормоза, приводя в неподвижное состояние колес, а был доведен до полной остановки. Происходило торможение автомобиля юзом. Был измерен путь торможения. Как и на предыдущем этапе эксперимента сравнивались два случая торможения: на ледяной поверхности горной дороги и на ледяной поверхности с «насажанными» каменистыми частицами. На рисунке 4.24 представлены результаты экспериментальных исследований процессов торможения автомобилей на ледяной поверхности горной дороги и на ледяной поверхности с «насажанными» каменистыми частицами.

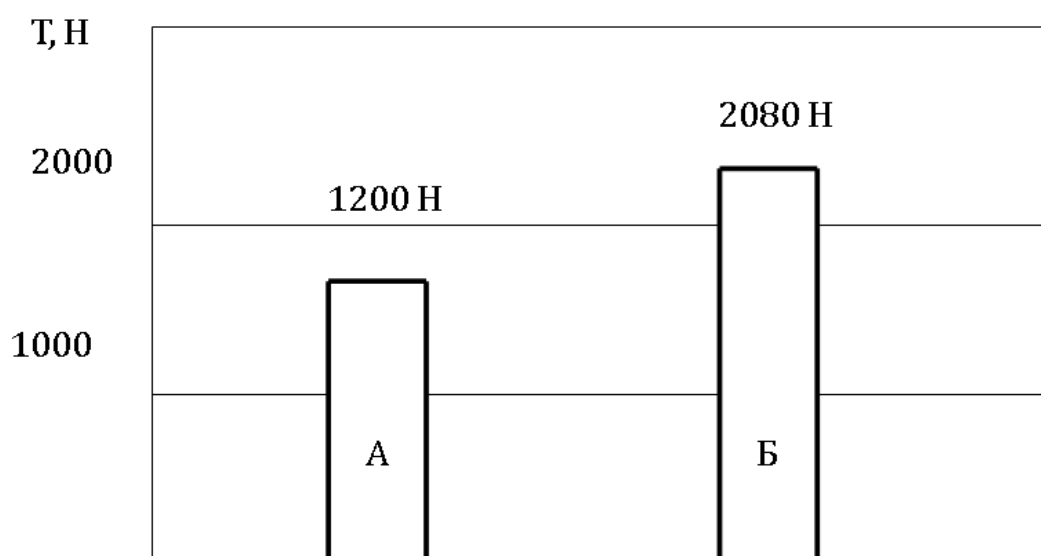


Рисунок 4.23 - Уровни тяговых усилий  $T$  автомобиля на горной дороге: А – на ледяной поверхности; Б – на ледяной поверхности с «насажанными» каменистыми частицами

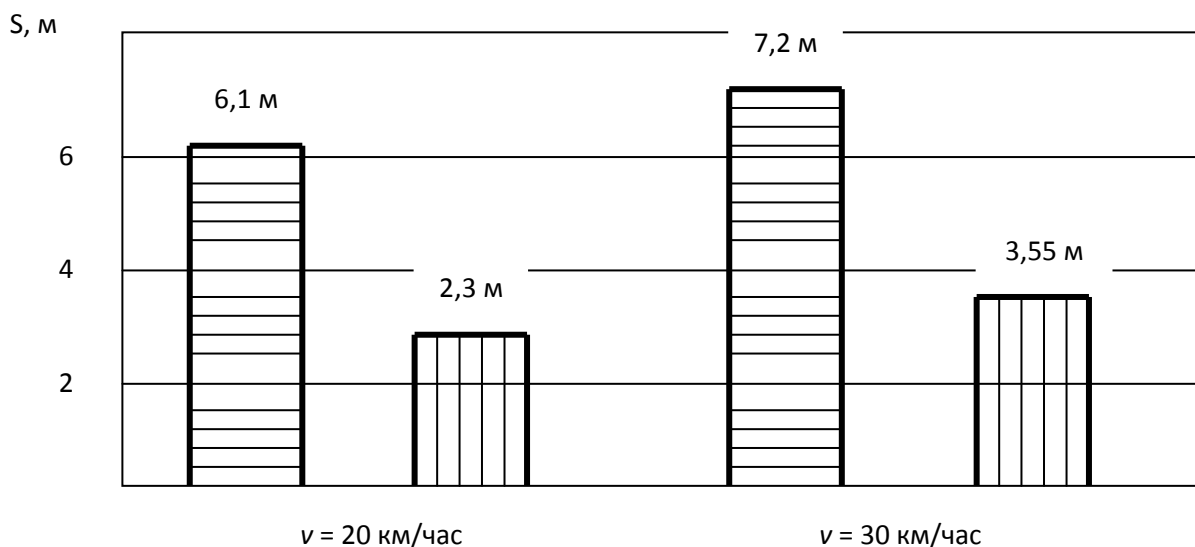


Рисунок 4.24 - Уровни тормозных путей автомобиля на ледяной поверхности и на поверхности с «насаженными» каменными частицами соответственно для скорости 20 и 30 км/час

При первоначальной скорости автомобиля 20 км/час (5,5 м/с) тормозной путь на ледяной поверхности составлял 6,1 м, а на том же участке дороги, но при наличии каменных частиц, тормозной путь составил 2,3 м. При скорости 30 км/час (8,3 м/с) перед торможением тормозной путь автомобиля на «чистой» ледяной поверхности составлял 7,2 м. Когда поверхность ледяного покрова была посыпана горячими каменными частицами, то за счет образованной шероховатости тормозной путь сократился до 3,55 м [13].

В таблице 4.4 указаны сравнительные результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению тягового усилия (касательной составляющей) транспортных средств с пневматическими колесами, взаимодействующими с шероховатой поверхностью снежной горной дороги.



Таблица 4.4 – Сравнительные результаты теоретических и экспериментальных значений

Диаметр каменистой частицы, мм	Напряженное сдвига, Н/мм <sup>2</sup>	Напряжение отрыва, Н/мм <sup>2</sup>	Угол между направлением действия силы $P$ и направлением напряжения сдвига, град	Количество каменистых частиц, находящихся в контактной поверхности, штук	Экспериментальное значение тягового усилия $P, H$	Теоретическое значение тягового усилия $P, H$	Расхождение, %
7,6	3,65	3,04	45	9	2080	1931	7,2

Из анализа данных из таблицы 4.4 следует, что расхождения между значениями тягового усилия транспортных средств с пневматическими колесами, полученными экспериментальным путем и на основе значений, полученных из последней формулы составляет 7,2 % . Это подтверждает адекватность предложенной математической модели определения тягового усилия транспортных средств с пневматическими колесами, взаимодействующими с шероховатой поверхностью снежной горной дороги.

#### Заключение по главе 4

1. Предлагаемое оборудование и технология содержания горной дороги в зимнее время обеспечивает высокий уровень безопасности транспортных средств за счет обеспечения надлежащего сцепления горной дороги с колесами транспортных средств.

2. Экспериментально установлено, что езда автомобиля на участках с каменистыми шероховатостями горной дороги показала высокую эффективность сцепления с пневматическими колесами транспортных средств. Тяговые усилия транспортных средств увеличились почти в 2 раза (2080 Н против 1200 Н) по сравнению с ледяной поверхности без каменистых включений.

3. Результаты экспериментальных исследований показали, что тормозной путь автомобиля сократился в среднем в 2 раза (3,55 м против 7,2 м при скорости автомобиля 30 км/час) на дороге с ледяной поверхностью с каменистыми шероховатостями по сравнению с ледяной поверхностью.

4. Получены уравнения регрессии процесса погружения нагретых каменистых частиц в ледяной покров горной дороги при действии факторов температуры каменистых частиц, температуры окружающей среды (льда) и диаметра каменистых частиц.

5. В результате экспериментальных исследований установлено, что наиболее значимым фактором, влияющим на процесс погружения нагретых каменистых частиц в ледяной покров горной дороги, является температура каменистых частиц, а диаметр каменистых частиц оказывал меньшее влияние.

6. Предложенная теоретическая зависимость определения тягового усилия транспортных средств пневматическими колесами, взаимодействующими с шероховатой поверхностью снежной горной дороги является адекватной. Расхождение между теоретическими и экспериментальными данными не превышает 8 %.

## **ГЛАВА 5. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ НА ЛЕДЯНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

### **5.1. Рекомендации по проектированию устройства для образования шероховатости на ледяной поверхности горной дороги**

Основным принципом проектирования устройства для образования шероховатостей на ледяной поверхности горной дороги является создание конструкции устройства, обеспечивающей минимизацию времени, затраченного на пребывание нагретых каменистых частиц от бункера и до полной остановки их на ледяной поверхности горной дороги, где происходит замораживание частиц в ледяном массивом. Длительность пребывания каменистых частиц на холодном воздухе при полете и при перекачивании их по ледяной поверхности горной дороги, особенно, на участках с большими уклонами ведет к интенсивному охлаждению каменистых частиц. Это приводит к снижению первоначальной температуры каменистых частиц перед таянием их в ледяной слой дорожного покрытия [14, 18].

Применение традиционных пескоразбрасывателей для образования шероховатости на горной дороге обеспечивает максимальное пребывание каменистых частиц на холодном воздухе. Наблюдениями за работой традиционных пескоразбрасывателей на горной дороге установлено, что время полета и перекачивания каменистых частиц до полной остановки составил на горизонтальных участках до 5 с, а на склонах до 12 с. Наблюдениями также установлено, что холодные каменистые частицы не имели сцепления с ледяной поверхностью дороги, особенно на участках дороги с уклонами и при пониженных температурах.

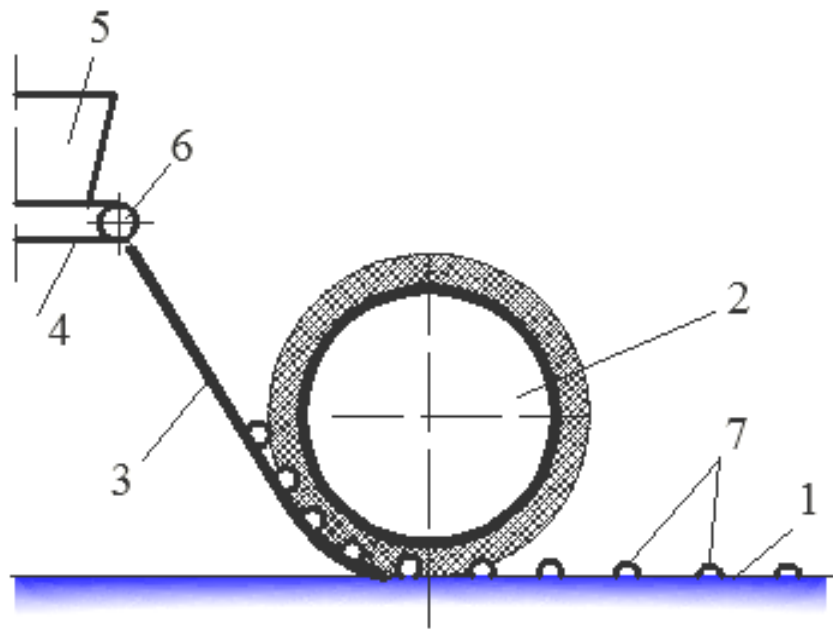
Вместе с тем, в результате проведенных нами экспериментов установлено получение замороженных каменистых шероховатостей на поверхности ледяной горной дороге при обеспечении необходимой начальной температуры каменистых частиц.

Таким образом, конструкция устройства для образования шероховатостей на ледяной поверхности горной дороги, обеспечивающая сокращение время пребывания каменистых частиц на воздухе позволяет повысить эффективность процесса образования каменистых шероховатостей на ледяной поверхности, в том числе на склонах горной дороги [74, 77].

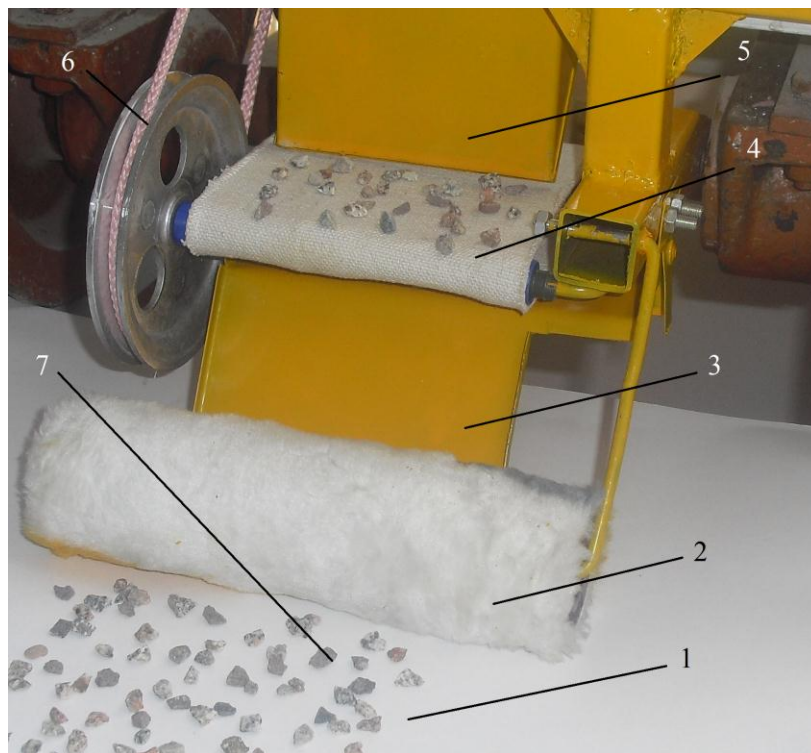
На основании результатов исследования разработана конструкция устройства для образования шероховатостей на ледяной дороге (рисунок 5.1), позволяющая повысить эффективность образования каменистых шероховатостей в том числе и на склонах горной дороги. Устройство для образования шероховатостей на ледяной горной дороге [79] включает теплозащитный бункер 5, транспортер 4 с приводом 6, наклонный лоток 3 и распределительный барабан 2.

Нагретые каменистые частицы 7 поступают от теплозащитного бункера 5 на транспортер 4, далее попадают на наклонный лоток 3. При встрече с распределительным барабаном 2 их скорость гасится, и каменистые частицы вовлекаются в движение вместе с вращающимся распределительным барабаном 2. В точках соприкосновения с ледяной поверхностью горной дороги происходит полная остановка каменистых частиц. Происходит само посадка нагретых каменистых частиц путем их таяния в ледяном массиве горной дороги. За счет воздействия холодной температуры воздуха и льда происходит замораживание каменистых частиц в ледяном массиве.

Таким образом, на поверхности ледяного покрытия горной дороги образуется шероховатость из каменистых частиц.



a)



б)

Рисунок 5.1 - Конструкция предлагаемого устройства:

а) – на схеме; б) – на фото

Существенным преимуществом предлагаемого устройства является то, что контакт каменистых частиц с ледяной поверхностью горной дороги происходит независимо от угла наклона дорожного покрытия. Вместе с тем, горные дороги имеют частые участки дорог со значительными продольными уклонами.

Таким образом, предлагаемое устройство обеспечивает максимальное сокращение пребывания нагретых каменистых частиц на холодном воздухе, снижает потери тепла. При проектировании подобных устройств следует обеспечить минимизацию пребывания нагретых каменистых частиц на открытом холодном воздухе. Особенно следует исключить процесс перекачивания нагретых каменистых частиц по ледяной поверхности горной дороги, так как в этом случае интенсивность охлаждения нагретых каменистых частиц увеличивается, а продолжительность перекачивания нагретых каменистых частиц по ледяной поверхности на участках горной дороги с продольными уклонами возрастает с ростом уклона.

## **5.2. Методика расчета параметров устройства для образования шероховатости на ледяной поверхности горной дороги**

Основными параметрами устройства для образования шероховатости на ледяной поверхности горной дороги являются: угол захвата и соотношения диаметров распределительного барабана и каменистых частиц; время, затраченное на движение каменистых частиц от начала движения их от транспортера бункера до полной остановки на ледяной поверхности горной дороги; тяговая сила транспортных средств, оснащенных пневматическими шинами; теплопроводность теплоизоляционного пакета.

Процесс вовлечения каменистой частицы в распределительный барабан лежит на основе определения угла захвата и соотношения диаметров

распределительного барабана и каменистых частиц и основным фактором в этом процессе является силы трения, возникающая при их взаимодействии. Для улучшения захвата каменистых частиц наружная поверхность распределительного барабана выполнена из резинового материала в виде втулки (рисунок 2.15). Резиновая втулка за счет упругой деформации обеспечивает проникновение каменистых частиц во втулку и надлежащее трение между каменистыми частицами и резиновой втулкой распределительного барабана [20].

Угол захвата распределительного барабана, выраженного через углы трения, определяется по зависимости (см. 2.53)

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left( \frac{\operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi}{1 - \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi} \right),$$

где  $\varphi_1$  – угол трения между каменистой частицей с ледяной поверхностью дороги;

$\varphi$  – угол трения между каменистой частицей и упругой втулкой распределительного барабана.

В соответствии с рисунком 2.15 соотношение диаметров распределительного барабана и каменистой частицы определяется как (см. 2.58):

$$D = \frac{1 + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha} \cdot d,$$

где  $D$  – диаметр упругой втулки распределительного барабана;

$d$  – диаметр каменистой частицы;

$\alpha$  – угол захвата распределительного барабана.

Рассмотрим время прохождения каменистой частицы от начала ее движения по транспортеру бункера до полной остановки на ледяной поверхности горной дороги [82]. Согласно рисунка 2.4, траекторию движения каменистых частиц от выхода транспортера до посадки на ледяной поверхности горной дороги для предлагаемого распределителя можно разделить на 3

участка. Общая продолжительность движения каменистой частицы равно (см. 2.2)

$$t_M = t_{AB} + t_{BC} + t_{CD},$$

где  $t_{AB}$ ,  $t_{BC}$ ,  $t_{CD}$  – время, затраченное на движение каменистой частицы соответственно на участках траектории  $AB$ ,  $BC$  и  $CD$ .

Время падения каменистой частицы от точки  $A$  до точки  $B$  находим как (см. 2.5)

$$t_{AB} = \sqrt{\frac{2h}{g}},$$

где  $h$  – высота падения каменистой частицы;  
 $g$  – ускорение свободного падения.

Время, затраченное на перемещение каменистой частицы по наклонной плоскости от точки  $B$  до точки  $C$  определяем с использованием закона об изменении количества движения (см. 2.13)

$$t_{BC} = \frac{v_C - v_B}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)},$$

где  $v_C$  и  $v_B$  – скорости в точке  $C$  и в точке  $B$ , соответственно;

$\alpha$  – угол установки наклонного лотка;

$\mu$  – коэффициент скольжения каменистой частицы, относительно ледяной поверхности.

Время затраченное на прохождение каменистой частицы от точки  $C$  до точки  $D$  зависит от поступательной скорости  $v_M$  машины для распределения каменистых частиц и равно (см. 2.17)

$$t_{CD} = \frac{\varphi \cdot D_{\phi}}{2 \cdot v_M},$$

где  $\varphi$  – угол поворота распределительного барабана;

$D_{\phi}$  – диаметр распределительного барабана;



$v_M$  – поступательная скорость движения машины для распределения каменистых частиц.

Суммарные значения времени, затраченные на участках  $t_{AB}$ ,  $t_{BC}$ ,  $t_{CD}$  (см. 2.18)

$$t_M = \sqrt{\frac{2h}{g}} + \frac{v_C - v_B}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} + \frac{\varphi \cdot D_{\sigma}}{2 \cdot v_M}.$$

Тяговая сила  $P$  транспортных средств, оснащенных пневматическими шинами определяется по зависимости (см. 2.43)

$$P = \pi \frac{d_{кч}^2}{4} \cdot (\tau_{сд} + \sigma_{отр}) \cdot \cos \alpha \cdot n,$$

где  $d_{кч}$  – диаметр каменистой частицы;

$\tau_{сд}$  – сопротивление ледяного массива сдвигу;

$\sigma_{отр}$  – сопротивление ледяного массива отрыву;

$\alpha$  – угол между направлением действия тяговой силы  $P$  и направлением касательного напряжения  $\tau_{сд}$ ;

$n$  – количество каменистых частиц, находящиеся в контактной поверхности между пневматическим колесом и ледяной поверхностью.

Теплопроводность теплоизоляционного пакета в целом определяется по следующей зависимости (см. 2.51)

$$\lambda = \lambda_H'' \cdot \frac{S_H \cdot N}{S} + \left[ \frac{\delta_{TK} \cdot S}{\lambda_{TK} \cdot \delta_{TK} \cdot (1 - S_H \cdot N)} + \frac{(\delta_F - \delta_{TK}) \cdot S}{\lambda_F \cdot \delta_F \cdot (1 - S_H \cdot N)} \right]^{-1},$$

где  $\lambda_H''$  – теплопроводность элементов прошивки (нити);

$S_H$  – площадь поперечного сечения прошивочного элемента (нити);

$N$  – число прошивок на площади  $S$  тепловой изоляции;

$S$  – площадь тепловой изоляции (войлока)

$\delta_{TK}$  – толщина ткани;

$\delta_F$  – толщина войлока (изоляции);

$\lambda_{TK}$  – теплопроводность элементов ткани;

$\lambda_f$  – теплопроводность элементов войлока.

### **5.3. Оценка экономической эффективности применения устройства для образования шероховатости на ледяной поверхности горной дороги**

Пескоразбрасыватель ПР–53 является широко используемым устройством в нашей стране для борьбы с гололедицей. Эта машина смонтирована на шасси автомобиля ГАЗ–53А. Пескоразбрасывающее оборудование состоит из бункера, питателя, выполненного в виде погружного скребкового транспортера, разбрасывающего диска и узлов трансмиссии привода рабочих органов. Данное оборудование разбрасывает с помощью вращающегося вокруг вертикальной оси диска холодные каменистые частицы на ледяную поверхность дороги, создавая шероховатость на ней.

В качестве эталонного варианта принимаем образование каменистой шероховатости на ледяной поверхности горной дороги пескоразбрасывателем ПР–53, так как эту машину можно использовать и для разбрасывания нагретых каменистых частиц после установки теплоизоляционных покрытий на наружной поверхности бункера.

Недостатком эталонного варианта образования каменистой шероховатости по сравнению с предлагаемым устройством является большая длительность пребывания нагретых каменистых частиц на холодном воздухе и ледяной поверхности дороги. На участках с продольными уклонами нагретые каменистые частицы будут продолжать свои движения вниз по уклону за счет полученной скорости от разбрасывающего диска. В процессе перекачивания нагретых каменистых частиц вниз по ледяной поверхности каменистые частицы интенсивно охлаждаются, и до полной остановки теряют определенную температуру.

Предлагаемое устройство также может устанавливаться на шасси автомобиля ГАЗ–53А, как пескоразбрасыватель ПР–53, и будет иметь одинаковое навесное оборудование (бункер и питатель, выполненного в виде погружного скребкового транспортера). Различными являются конструкции разбрасывающих устройств. традиционный (эталонный) пескоразбрасыватель ПР–53 в качестве разбрасывающего устройства имеет разбрасывающий диск и привод диска с управляющей гидросистемой (гидромотор, гидрораспределитель, дроссель, рукава высокого давления). Предлагаемое устройство имеет наклонный лоток с распределительным барабаном. Стоимость обеих сравниваемых устройств, примерно одинакова. Экономическая эффективность определена в соответствии с методиками, описанными в работах [29, 31, 46].

В ходе экспериментов установлено, что время, затраченное на нахождение каменных частиц на холодной окружающей среде на ледяных участках с продольным уклоном 13 градусов составляет для эталонного пескоразбрасывателя в среднем 8 секунд, а для предлагаемого устройства – 3 секунды. Разница времени распределения для двух распределителей каменных частиц составляет примерно 5 секунд.

Экспериментами на натуре установлено, что потери тепла каменных частиц со средним диаметром 6,5 мм за время 5 секунд составляли 24 градуса по Цельсию. Температура ледяного покрова составляла -9 градусов, температура окружающей среды (воздуха) – минус 5 градусов по Цельсию.

Экономический эффект будет образоваться отпаданием необходимости дополнительного обогрева каменных частиц при использовании традиционного (эталонного) пескоразбрасывателя. Чтобы каменные частицы имели одинаковые температуры при начале замораживания в ледяном массиве для традиционного пескоразбрасывателя необходимо дополнительно нагревать каменные частицы с учетом потери температуры каменных частиц за

дополнительное время, равное разнице времени распределения для двух распределителей, в нашем случае 5 секунд.

В среднем за год один пескоразбрасыватель для образования шероховатости на горных дорогах расходует 1112 тонн каменных частиц. Определяем энергию, необходимую для дополнительного нагрева каменных частиц на 24 градуса по Цельсию, которые они потеряли за 5 секунд при перекачивании по уклону горной дороги при температуре воздуха -5 градусов, ледяного покрова -9 градусов по Цельсию.

$$Q = c \cdot V \cdot \gamma \cdot \Delta t ,$$

где  $c$  – удельная теплоемкость каменной частицы, кДж/кг·°С ;

$V$  – годовой объем используемых каменных частиц, м<sup>3</sup> ;

$\gamma$  – удельный вес каменной частицы, кг/м<sup>3</sup> ;

$\Delta t$  – разница температур, °С.

Подставляя числовые значения получим:

$$Q = c \cdot V \cdot \gamma \cdot \Delta t = 1,1 \cdot 622,2 \cdot 1800 \cdot 24 = 2956800 \text{ кДж} = 8214 \text{ кВт}\cdot\text{час}.$$

Тариф электрической энергии составляет 3 сома.

Тогда экономический эффект от снижения энергии на дополнительный нагрев каменных частиц на одну машину в год составит:

$$\mathcal{E} = 8214 \cdot 3 = 24642 \text{ сома}.$$

## Заключение по главе 5

1. Разработаны рекомендации по проектированию устройства для образования шероховатости на ледяной поверхности горной дороги. При проектировании этих устройств, следует обеспечить минимизации пребывания нагретых каменных частиц на открытом холодном воздухе. Особенно следует исключить процесс перекачивания нагретых каменных частиц по ледяной поверхности горной дороги, так как при перекачивании по ледяной поверхности интенсивность охлаждения нагретых каменных частиц

увеличивается, а продолжительность их перекачивания по ледяной поверхности на участках горной дороги с продольными уклонами возрастает с ростом уклона.

2. Разработана методика расчета основных параметров устройства для образования шероховатости на ледяной поверхности горной дороги, к которым относятся: угол захвата распределительного барабана; соотношение диаметров распределительного барабана и каменистых частиц; время, затраченное на движение каменистых частиц от начала движения их от транспортера бункера до полной остановки на ледяной поверхности горной дороги; тяговая сила транспортных средств, оснащенных пневматическими шинами; теплопроводность теплоизоляционного пакета.

3. Экономический эффект от снижения энергии на дополнительный нагрев каменистых частиц на одну машину в год составит примерно 25 тысяч сомов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе изложены научно - обоснованные технические разработки, обеспечивающие решение актуальной задачи зимнего содержания горных дорог.

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Анализ процесса разбрасывания каменистых частиц традиционными машинами-пескоразбрасывателями показал низкую эффективность их работы на горных дорогах в связи с отскоками каменистых частиц от твердой ледяной поверхности дороги, а продольные уклоны дорог способствуют перекатыванию разбросанных каменистых частиц по наклонной ледяной поверхности.

2. Разработаны математические модели взаимодействия пневматических колес с ледяной поверхностью, которые позволяют определять тяговую силу транспортных средств на горной дороге с каменистыми шероховатостями.

3. Получены теоретические зависимости, позволяющие определять параметры распределительного барабана, углы захвата каменистых частиц и соотношения диаметров каменистых частиц и распределительного барабана устройства для образования шероховатостей на ледяном покрове горной дороги.

4. Получены уравнения регрессии процесса погружения нагретых каменистых частиц в ледяной покров горной дороги, учитывающие температуры каменистых частиц; температуры ледяного покрова и диаметра каменистых частиц.

5. Разработано устройство для распределения нагретых каменистых частиц, позволяющее образовать на ледяной поверхности дороги шероховатость, которая существенно повышает безопасность движения транспортных средств на горных дорогах.

На конструкцию устройства получен патент КР № 1377 «Устройство для образования шероховатости на ледяной поверхности дороги».

6. Экспериментальными исследованиями установлено высокая эффективность движения автомобилей по ледяной поверхности дороги с каменистыми шероховатостями. Тяговые усилия транспортных средств увеличились почти в 2 раза, а тормозные пути автомобиля сократились в среднем в 2 раза по сравнению с ледяной поверхностью без каменистых шероховатостей.

7. Разработана методика расчета параметров и рекомендации по проектированию устройства для распределения нагретых каменистых частиц по ледяной поверхности горной дороги.

Экономический эффект от снижения энергии на дополнительный нагрев каменистых частиц на одну машину в год составит примерно 25 тысяч сомов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Абеков, Т.У.** Пути рационального использования гравийных материалов Киргизии в дорожном строительстве [Текст] / Т.У.Абеков. – Фрунзе: Илим, 1989. – 40 с.
2. **Алабужев, П.М.** Теория подобия и размерностей. Моделирование [Текст] / П.М.Алабужев, В.Б.Геронимус, Л.М.Минкевич. – М.: Высшая школа, 1968. – 208 с.
3. Александров, А.С. Некоторые особенности расчета втапливания шероховатостей в упруговязкопластический материал дорожного покрытия [Текст] / А.С.Александров, Н.П.Александрова // Автомобильные дороги и мосты. - 2003. № 1. - С. 12-19.
4. **Алексеев, Г.Н.** Общая теплотехника [Текст]: учеб. пособие / Г.Н.Алексеев. – М.: Высшая школа, 1980. – 552 с.
5. **Баловнев, В.И.** Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно–строительных машин [Текст] / В.И.Баловнев. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
6. **Барпиев, А.Ж.** Влияние увеличения интенсивности движения автомобилей по горным дорогам на количество ДТП / А.Ж.Барпиев, Г.Дж.Джолдошева // Наука и новые технологии. – Бишкек, 2014. – № 2. – С. 25-27.
7. Борьба с оледенением покрытий дорог в зимнее время [Текст] / под ред. А.П.Васильева // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог. Зарубежный опыт: экспресс–информация. ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. – М.: 1981. – № 2. С. 61–65.
8. Борьба со снегом и гололедом на транспорте [Текст] / [А.П.Васильев, В.Н.Кэрей, Т.Р.Ринджер и др.]. – М.: Транспорт, 1986. – 216 с.
9. **Бялобжеский, Г.В.** Очистка автомобильных дорог от снега [Текст] / Г.В. Бялобжеский, А.Н.Иванов, Д.А.Шалман. – М.: Транспорт, 1972. –



105 с.

10. **Варфомеев, В.П.** Машины для зимнего содержания дорог [Текст] / В.П.Варфомеев // Строительные и дорожные машины, 2007. – № 10. – С. 8–11.
11. **Веюков, Е.В.** Технологии строительства и очистки ото льда лесовозных дорог с антигололедным покрытием [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук : 05.21.01 / Е.В.Веюков; - науч. рук. проф. М.Г.Салихов; Поволж. гос. технол. ун-т. - Йошкар-Ола, 2013. – 20 с.
12. **Гапарова, Ж.Т.** Особенности конструирования устройства для образования шероховатостей на ледяной дороге на Solid Works [Текст] / Ж.Т.Гапарова, Г.Темирбектегин // Известия КГТУ им. И.Раззакова. – Бишкек, 2015. – № 1 (34) – С. 122–125.
13. **Гапарова, Ж.Т.** Обзор и анализ дорожных машин для содержания горных дорог в зимнее время [Текст] / Ж.Т.Гапарова // Известия КГТУ им. И.Раззакова. – Бишкек, 2007. – № 12 – С. 40–43.
14. **Гапарова, Ж.Т.** Разработка и исследование теплосохраниющих текстильных изделий [Текст] / Ж.Т.Гапарова // Материалы всероссийской научно–технической конференции. Проблемы экономики и прогрессивные технологии в текстильной, легкой и полиграфической промышленности. – Санкт–Петербург, 2004. – С. 102–107.
15. **Гапарова, Ж.Т.** Результаты экспериментальных исследований по оценке теплосохраниющих текстильных пакетов для борьбы с гололедицей на горной дороге [Текст] / Ж.Т.Гапарова // Известия КГТУ. Бишкек, 2006. – № 9, т. 1. – С. 177–181.
16. **Гапарова, Ж.Т.** Оценка свойств волокнистых отходов текстильного производства и возможности их использования [Текст] / Ж.Т.Гапарова, С.В.Зырянов // Международная научная программа НАТО «Наука ради Мира». Совершенствование технологии получения и переработки

- льносодержащей пряжи. – Санкт–Петербург, 2004. – С. 70–72.
17. **Гапарова, Ж.Т.** Способы борьбы с зимней скользкостью и результаты экспериментальных исследований по улучшению сцепных свойств [Текст] / Ж.Т.Гапарова, Д.Т.Маматалиев // Материалы 50–й юбилейной научно–технической конференции молодых ученых и студентов «Новая генерация ученых – будущее Кыргызстана». – Бишкек: КГТУ им. И.Раззакова, 2008. – С. 63–68.
  18. **Гапарова, Ж.Т.** Результаты экспериментальных исследований теплосохраниющих текстильных изделий, применяемых в дорожных машинах в зимнее время [Текст] / Ж.Т.Гапарова, Ж.Ж.Тургумбаев // Материалы 47–й научно–технической конференции студентов и молодых ученых «Молодежь и наука – будущее Кыргызстана». – Бишкек: КГТУ им. И.Раззакова, 2005. – С. 118–123.
  19. **Гапарова, Ж.Т.** Обзор и анализ антискользящих устройств для борьбы с гололедом в горных дорогах [Текст] / Ж.Т. Гапарова, Н.Умурзакова // Материалы 51–й юбилейной научно–технической конференции молодых ученых и студентов «Научный потенциал молодежи – будущее Кыргызстана». – Бишкек: КГТУ им. И.Раззакова, 2009. – С. 60–68.
  20. **Гапарова, Ж.Т.** Определение параметров распределительного барабана устройства для образования каменистых шероховатостей на ледяном покрытии дороги [Текст] / Ж.Т.Гапарова, Ж.Ж.Тургумбаев // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ). Выпуск 3 (55). – Омск, 2017. – С. 16-21.
  21. **Гомонай, М.В.** Способы повышения безопасности движения автомобильного транспорта на дорогах с низким коэффициентом сцепления [Текст] / М.В.Гомонай, А.Д.Игнатьев // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 5. – С. 20-22.
  22. **Гусев, Л.М.** Борьба со скользкостью городских дорог [Текст] /

- Л.М.Гусев. – М.: Стройиздат, 1964. – 86 с.
23. **Джефферс, Дж.** Введение в системный анализ: применение в экологии [Текст] / Дж. Джефферс. – М.: Мир, 1981. – 256 с.
24. **Джон, К.** Противогололедная обработка дорожных покрытий [Текст] / К.Джон // Борьба со снегом и гололедом на транспорте: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1986. – С. 58–77.
25. **Драневич, Е.П.** Гололед и изморозь [Текст] / Е.П.Драневич. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 227 с.
26. **Дульнев, Г.Н.** Теплопроводность смесей и композиционных материалов [Текст] / Г.Н.Дульнев, Ю.П.Заричняк. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.
27. **Завьялов, А.М.** Исследование рабочего процесса бульдозерного скрепера [Текст]: автореф. дисс. ... канд. техн. наук 05.05.04 / А.М.Завьялов. – Омск, 1980. – 30 с.
28. **Зырянов, С.В.** Получение пористого материала из вторичного текстильного сырья [Текст] / С.В.Зырянов, Н.Н.Труевцев. // 2-ая международная специализированная выставка–конференция «Отходы в доходы» / Санкт–Петербург, 2004 г. / В сб. докладов, Рециклинг–ЭКСПО. С. 110–111. The International Specialized Exhibition “Recycling EXPO”, 2004, St. Petersburg, Russia / Proceedings. Pp. 110–111.
29. Инструкция по определению экономической эффективности новых строительных, дорожных, мелиоративных машин, противопожарного оборудования, лифтов, изобретений и рационализаторских предложений. Ч. 1. – М.: ЦНИИТЭСтроймаш, 1978. – 367 с.
30. **Кабашев, Р.А.** Дорожные и строительные машины: абразивный износ рабочих органов землеройных машин [Текст] / Р.А.Кабашев. – Алматы: Гылым, 1997. – 434 с.
31. **Канторер, С.Е.** Методы обоснования эффективности применения машин в строительстве [Текст] / С.Е.Канторер. – М.: Стройиздат, 1969.

– 294 с.

32. **Карабан, Г.Л.** Машины для содержания и ремонта автомобильных дорог и аэродромов [Текст] / Г.Л.Карабан, В.И.Баловнев, И.А.Засов. – М.: Машиностроение, 1975. – 368 с.
33. **Карабан, Г.Л.** Новая технология механизированной уборки снежно-ледяной образований на дорогах [Текст] / Г.Л.Карабан, В.Б.Ратинов // Автомобильные дороги. – 1972. – № 12. С. 22 – 23.
34. **Кошакова, М.Ж.** Переработка хлопковых смесей с использованием отходов производства и шерстяного волокна [Текст] / М.Ж.Кошакова, Н.Н.Труевцев // Текстильная промышленность. – 1988. – № 1. – С. 21 – 23.
35. **Красников, А.Б.** Самоходный распределитель каменной мелочи Д–708 [Текст] / А.Б.Красников, В.В.Ботян // Строительные и дорожные машины. – 1970. – № 7. – С. 2 – 3.
36. **Кузнецов, Ю.В.** Сцепление автомобильной шины с дорожным покрытием [Текст] / Ю.В.Кузнецов. – М.: МАДИ, 1985. – 107 с.
37. **Кузнецова, В.Н.** Математическое моделирование рабочих процессов дорожных и строительных машин: имитационные и адаптивные модели [Текст] // А.М.Завьялов, В.Н.Кузнецова и др. - Омск: СибАДИ – 2012. – 408 с.
38. **Кузьмин, П.П.** Физические свойства снежного покрова [Текст] / П.П.Кузьмин. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – 86 с.
39. **Кульгильдинов, М.С.** Математическое моделирование рабочих перемещений распределительных узлов щебнераспределителей [Текст] / М.С.Кульгильдинов, А.В.Кочетков, А.У.Табылов // Вестник КазАТК. – 2006. – № 6. – С. 72–78.
40. **Максимов, Н.В.** Лавиноопасные районы Киргизии [Текст] / Н.В.Максимов, В.В.Зябкин, Ю.Г.Барбаг. – Фрунзе: Кыргызстан, 1975. – 92 с.

41. **Максимов, Н.В.** Лавины и борьба с ними на территории Киргизии [Текст] / Н.В.Максимов, М.П.Щербаков, Б.Ф.Вернер. – Фрунзе: Кыргызстан, 1985. – 37 с.
42. **Малик, С.** Борьба со снегом и гололедом на дорогах и коммуникационных сооружениях в Гималаях [Текст] / С.Малик, Д.Лалджи // Борьба со снегом и гололедом на транспорте: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1986. – С. 77–84.
43. **Мартынов, В.А.** Повышение эффективности защиты горных автомобильных дорог от снежных заносов с применением снегозащитных конструкций [Текст] / В.А.Мартынов, С.Н.Девицкий // Тр.КАДКТИ. – 1986. Вып. 4. – С. 9–10.
44. Машины для городского хозяйства [Текст] / [Г.Л.Карабан, В.И.Баловнев, И.А.Засови др.] – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
45. **Мертвищев, Ю.И.** Технология и оборудование валяльно–войлочного производства [Текст] / Ю.И.Мертвищев, С.Е.Суконников. – М.: Легпромиздат, 1990. – С. 180–183.
46. Методические указания по определению экономической эффективности новой строительной, дорожной и мелиоративной техники: Руководящий документ. РД–22–313–89. – М.: 1992. – 87 с.
47. **Михеев, М.А.** Михеева И.М. Основы теплопередачи [Текст] / М.А.Михеев, И.М.Михеева. – М.: Энергия, 1977.–344 с.
48. **Моут, Т.В.** Отделение льда от поверхностей с помощью источника света высокой интенсивности [Текст] / Т.В.Моут, Р.Л.Саундерс // Борьба со снегом и гололедом на транспорте: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1986. – С. 206–209.
49. **Немчинов, М.В.** Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобилей [Текст] / М.В.Немчинов. – М.: Транспорт, 1985. – 231 с.
50. **Нусупов, Э.С.** Эксплуатационная эффективность автотракторных

- средств в горных условиях [Текст] / Э.С.Нусупов. – Фрунзе: Илим, 1988. – 168 с.
51. **Питер, М.** Современные взгляды в Европе по вопросу улучшения методов борьбы со снегом и льдом [Текст] / М.Питер, В.Элсенар // Борьба со снегом и гололедом на транспорте: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1986. – С. 11–16.
52. Противоскользющее устройство для транспортных средств [Текст] / Р.Маритано // Патент РФ 2381110. Дата опубликования: 10.02.2010. – с. 13.
53. **Раймонд, Н.** Механика снега: взаимодействие машины и снега [Текст] / Н.Раймонд // Борьба со снегом и гололедом на транспорте: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1986. – С. 20–25.
54. Расчет и проектирование строительных машин на ЭВМ [Текст] / [Е.Ю.Малиновский, Л.Б.Зарецкий, Ю.Г.Беренгард и др.]. – М.: Машиностроение, 1980. – 216 с.
55. **Ренский, А.Б.** Тензометрирование строительных конструкций и материалов [Текст] / А.Б.Ренский, Д.С.Баранов, Р.А.Макаров. – М.: Стройиздат, 1977. – 239 с.
56. **Ровенькова, Т.А.** Планирование эксперимента в производстве химических волокон [Текст] / Т.А.Ровенькова. – М.: Химия, 1977. – 176 с.
57. **Самодурова, Т.В.** Исследование условий образования различных видов зимней скользкости на покрытиях автомобильных дорог [Текст] / Т.В.Самодурова // Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 5. – С.91–96.
58. **Сиффели, Н.Дж.** Расчетная модель для определения количества оборудования и рабочей силы, необходимых при зимнем содержании дорог США [Текст] / [Н.Дж.Сиффели, В.Б.Каннингам, Дж.Ф.Данн и др.] // Борьба со снегом и гололедом на транспорте: Пер. с англ. – М.:

- Транспорт, 1986. – С. 52–54.
59. **Скокан, А.И.** Планирование экспериментальных исследований в дорожном и строительном машиностроении: Обзор [Текст] / А.И.Скокан, М.И.Грифф, В.Д.Каран. – М.: ЦНИИТОСтроймаш, 1974. – 74 с.
  60. Снег: Справочник [Текст] / Под ред. Д.М.Грея, Д.К.Мейла. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 751 с.
  61. **Сорока, В.П.** Разбрасыватели соли и песка [Текст] / В.П.Сорока. – М.: Машиностроение, 1967. – 43 с.
  62. **Стецюк, Л.С.** Сцепление колеса с дорогой и безопасность движения [Текст] / [Л.С.Стецюк, М.А.Паршин, И.М.Карпинская и др.]. – М.: Автотраниздат, 1963. – 66 с.
  63. **Табылов, А.У.** Обоснование параметров рабочего органа щебнераспределителя для устройства шумовой полосы автомобильных дорог [Текст]: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / А.У.Табылов. – Алматы: КазАТК, 2007. – 24 с.
  64. Тензометрия в машиностроении [Текст] / Под ред. Р.А.Макарова. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
  65. **Тарг, С.М.** Краткий курс теоретической механики: Учебник для вузов [Текст]: Изд. 18–е перераб. / С.М.Тарг. – М.: Высшая школа, 2010. — 416 с.
  66. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Производство теплозащитных пакетов на базе использования текстильных отходов, в целях транспортировки нагретого гравия повышающего сцепные свойства обледеневших дорог [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев // Международная научная программа НАТО «Наука ради Мира». Совершенствование технологии получения и переработки льносодержащей пряжи. Санкт–Петербург, 2004. – С. 73–75.
  67. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Результаты исследований теплосохраниющих

- текстильных изделий, применяемых в дорожных машинах [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова, А.Камчыбеков // Энергосбережение – проблемы, современные технологии и управление: Материалы Международной научно–технической конференции, посвященной 2200–летию Кыргызской государственности и 70–летию д.т.н., профессора А.С.Джаманбаева / КГУ им. И.Раззакова. – Бишкек, 2003. – С. 200–207.
68. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Анализ состояний перевальных участков горных дорог Кыргызстана [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова // Известия КГУ им. И.Раззакова. – Бишкек, 2007. – № 12. – С. 156–159.
69. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Мобильное устройство для образования шероховатости на ледяной поверхности дороги [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова // КГУ им. И.Раззакова. – Бишкек, 2012. – № 26. – С. 69–72.
70. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Повышение безопасности движения транспортных средств на горных дорогах в зимнее время [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова // Материалы Международной научно–технической конференции «Совершенствование конструкций и системы эксплуатации транспортной техники», посвященной 20–летию диссертационного совета ОД 14.11.01 и 70–летию профессора, академика международной академии транспорта Р.А.Кабашева Алматы, 2010. – С. 132–135.
71. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Пути использования отходов текстильного производства в Кыргызстане [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова // Материалы международной научно–технической конференции «Инновационные технологии: теория и практика», Алматы: Алматинская академия бизнеса «СЫМБАТ», 2004. – С. 67–73.
72. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Разработка теплосохраниющих текстильных изделий для транспортного комплекса – актуальная задача [Текст] /



- Ж.Ж. Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова // Известия ОшТУ. – Ош, 2002. – № 1. – С. 94–99.
73. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Результаты исследований процесса погружения нагретых каменных частиц в снежный покров дороги [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова // Известия КГТУ им. И.Раззакова. – Бишкек, 2009. – № 16. – С. 145–148.
74. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Результаты экспериментальных исследований по улучшению сцепных свойств ледяной поверхности горной дороги [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова // Известия КНТУ им. И.Раззакова. – Бишкек, 2005. – № 7. – С. – 24–29.
75. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Теоретический анализ к определению теплотерь в текстильных пакетах, используемых в дорожных машинах [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова // Известия КГТУ им. И.Раззакова. – Бишкек, 2006. – № 9, т. 1. – С. 169–172.
76. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Технология и оборудование для улучшения сцепных свойств снежной поверхности горной дороги [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова // Вестник Сибирской государственной автомобильно–дорожной академии (СибАДИ). Выпуск 2. – Омск, 2005. – С. 81–85.
77. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Результаты лабораторных исследований по оценке физико-механических свойств снега [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова, И.Т.Башиков // Известия КГТУ им. И.Раззакова. – Бишкек, 2012. – № 27. – С. 106–109.
78. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Аутригер грузоподъемной машины [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова, С.Женишбек // Патент КР № 1480, 2012. Бюл. № 8. – С. 10 .
79. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Устройство для образования шероховатости на ледяной поверхности дороги [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова, С.Дж.Тургумбаев // Патент КР № 1377, 2011. Бюл. № 8. – С. 9

80. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Взаимодействие пневматических колес со снежной поверхностью горной дороги при наличии каменистой шероховатости [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова // Наука и новые технологии. – Бишкек, 2014. – № 2. – С. 41–44.
81. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Новая технология улучшения сцепления колес мобильных машин с ледяной поверхностью дороги [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, А.Камчыбеков // Известия ОшГУ.– Ош, 2002. –№ 1. – С. 22–25.
82. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Определение эффективности распределения каменных частиц на ледяную поверхность горной дороги модернизированным распределительным оборудованием [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова // Труды международной научной конференции, посвященной памяти академика М.Я.Леонова «Современные проблемы механики сплошной среды». – 2012. – С. 408–412.
83. **Тургумбаев, Ж.Ж.** Экспериментальное определение глубины погружения нагретых каменных частиц в ледяной слой горной дороги Кыргызстана [Текст] / Ж.Ж.Тургумбаев, Ж.Т.Гапарова // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (СибАДИ). – Омск, 2016. № 5 (51). – С. 130-134.
84. **Убышев, Ж.** Развитие дорожного хозяйства Киргизии [Текст] / Ж.Убышев // Автомобильные дороги. – 1989. –№ 2. – С. 6.
85. **Урманяев, С.И.** Задачи совершенствования машин и механизмов для расчистки обвалов и лавин от стихийных бедствий [Текст] / С.И.Урманяев // Повышение эффективности транспортных, строительно–дорожных машин и оборудования в условиях высокогорья: сб. научн. тр. КГУСТА. – Бишкек, 1999. – С. 200–205.
86. **Федосьев, В.И.** Сопротивление материалов [Текст] / В.И.Федосьев. – М.: Наука, 1974. – 560 с.

87. **Хартман, К.** Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов [Текст] / К.Хартман, Э.Лецкий, В.Жефер. – М.: Мир, 1977. – 552 с.
88. **Хархута, Н.Я.** Дорожные машины [Текст] / Н.Я.Хархута, М.И.Капустин, В.П.Семенов. – М. – Л.: Машиностроение, 1968. – 416 с.
89. **Шалман, Д.А.** Снегоочистители [Текст] / Д.А.Шалман. – М.–Л.: Машиностроение, 1967. – 192 с.
90. Шаршембиев, Ж.С. Анализ природно-климатических факторов, влияющих на показатели эксплуатационных свойств колесных машин в горных условиях / Ж.С.Шаршембиев // Известия ВУЗов. – Бишкек, 2011. – № 7. – С. 17–21.
91. **Шенк, Х.** Теория инженерного эксперимента [Текст] / Х.Шенк. – М.: Мир, 1972. – 318 с.
92. A Practical Guide for Snow and Ice Control: The Snowfighter’s Handbook. – Alexandria, Virginia, USA: The Salt Institute, 2013. – 24 p.
93. Anti-slip device and method / G.Timothy // Patent of USA 5993936. Timothy G. Date of patent: Nov. 30, 1999. – P. 11.
94. **Ashton, G.D.** River and Lake Ice Engineering / G.D. Ashton // Water Ressources Publications, Littelton, Colorado. – USA, 1986. – 485 p.
95. **Dai, Yeu J.** Antislipping device for cars in a stationary state / Dai, Yeu J. // United States Patent 4942949. International Classes: B60T7/12; B60T11/10; B60K41/20. Publication Date: 07.24.1990. – P. 9.
96. **Gardner, T.** Anti-slip device and method / T.Gardner // United States Patent 5993936. International Class B32B 003/24. Publication Date: November 30, 1999. – P. 10.
97. **Glasmacher, K.** Pressure control device for an anti-lock and/or anti-slip system / K.Glasmacher // United States Patent 5236253. International Classes: B60T 008/40, B60T 017/04, 119.2. Publication Date: August 17,

1993. – P. 10.
98. **Goodwin, I.E.** A study of Erosion by Solid Particles / I.E.Goodwin, W.Sage, G.P.Tilly // Progr. Inst.Mech. Engin. – London, 1969. – P. 279–292.
99. **Joseph Stromberg.** What Happens to All the Salt We Dump On the Roads? Smithsonian.com. January 6, 2014. Read more: <http://www.smithsonianmag.com/science-nature/what-happens-to-all-the-salt-we-dump-on-the-roads-180948079/#4Ckkj7jb4xBd9971.99>.
100. **Lyszczek, J.** Streichgarnherstellung direkt von krepelbandern / J.Lyszczek, F.Piatek // «Internationatellung». – 1986, 32. – № 1. – P. 73–76.
101. Method and apparatus for detaching coatings frozen on to surfaces / W.Thomas // Patent of USA 3964183. Date of patent: June 22, 1976. – P. 9.
102. **Michel, B.** Ice accumulation at freeze–up or break up. Proc. IAHR Symp. On Ice Problems, Lulea, 1978, Part 2, p.301–307.
103. Möglichkeiten zur besseren Rohstoffnutzung durch Aufbereitung und Beimischung von gerissenen Garnresten in der Spinnerei / «Textil– Praxis International». – 1987. – № 4. – P. 363–366.
104. **Peterson, D.E.** Final Proposal for Economic Impact of Highway Snow Removal and Ice Control / D.E.Peterson, B.H.Welch // HPR – 2(117); National Pooled Fund Study. – April 21, 1974. – P. 165–170.
105. **Schmidt, R.A.** A system that Measures Blowing Snow / R.A.Schmidt // USDA Forest Service Res. Pap. RN–194. – 1977. – 80 p.
106. **Walus K.J.** Analysis of Tire-road Contact Under Winter Conditions / K.J.Walus, Z.Oslewski // Proceedings of the World Congress on Engineering. Vol. III, July 6 – 8, 2011, London, UK. – P. 2381-2384.